



Evaluación de la Huella de Carbono con enfoque de Análisis de Ciclo de Vida para 12 Sistemas Constructivos

REPORTE FINAL

(versión 2.0 que incluye correcciones de block cerámico)

Dra. Leonor Patricia Güereca Hernández
Investigadora Responsable

M.C. Chantal Carius Estrada
Dr. Alejandro de Jesús Padilla Rivera
M.C. Hugo Daniel Herrera Paz.

Julio 2016

ÍNDICE

ÍNDICE	I
ÍNDICE DE TABLAS	III
ÍNDICE DE FIGURAS	IV
INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES.....	2
LA VIVIENDA EN MÉXICO.....	2
EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS EN MÉXICO.....	4
a) Sistema constructivo tradicional.....	5
b) Sistema constructivo tradicional racionalizado o híbrido.....	5
c) Sistema constructivo prefabricado industrial.....	5
d) Sistema constructivo industrializado “a pie de obra”.....	5
CAMBIO CLIMÁTICO.....	6
HUELLA DE CARBONO	10
SOFTWARE openLCA versión 1.4.2	13
METODOLOGÍA.....	14
FASES DEL ESTUDIO.....	14
DEFINICIÓN DE OBJETIVOS Y ALCANCE.....	17
OBJETIVO DEL ACV DE 12 SISTEMAS CONSTRUCTIVOS EN MÉXICO.....	17
FUNCIONES DEL SISTEMA.....	17
UNIDAD FUNCIONAL.....	17
LÍMITES DEL SISTEMA	18
1. Límites Temporales.....	18
2. Límites Geográficos	19
CATEGORÍAS DE IMPACTO.....	19
SOFTWARE UTILIZADO.....	19
PROCEDIMIENTO DE RECOPIACIÓN DE DATOS.....	19
CONSIDERACIONES DEL ESTUDIO.....	19
ANÁLISIS DEL INVENTARIO DE HUELLA DE CARBONO PARA LOS MATERIALES UTILIZADOS EN LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS.....	20
EXTRACCIÓN DE MATERIA PRIMA PARA CADA MATERIAL.....	20
FABRICACIÓN DE CADA MATERIAL.....	20
CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS.....	20
1. Muro de block hueco con aislante EPS 1”.....	22
INVENTARIO DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE AISLANTE DE EPS.....	23
2. Muro de block hueco con aislante de perlita mineral expandida con silicón.....	25
INVENTARIO DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE AISLANTE DE PERLITA MINERAL EXPANDIDA CON SILICÓN.....	26
3. Muro de block hueco con aislante en espuma para mampostería.....	28
INVENTARIO DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE AISLANTE DE POLÍMERO.....	29
4. Muro de block de adobe industrializado.....	30
INVENTARIO DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE BLOCK DE ADOBE DE 10x15x30.....	31
5. Muro de block de ladrillo cerámico.....	33

INVENTARIO DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE BLOCK CERÁMICO 11.5x20x32.5 cm.....	34
6. Muro de block de ladrillo cerámico con EPS	36
INVENTARIO DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE BLOCK CERÁMICO CON EPS de 15x20x40 cm.....	37
7. Muro de Block de Concreto Celular	38
INVENTARIO DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE BLOCK DE CONCRETO CELULAR 61x20x40 cm.	39
8. Muro de COVINTEC.	41
INVENTARIO DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE COVINTEC.	42
9. Losa de Bovedilla de EPS.	45
INVENTARIO DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE BOVEDILLA DE EPS.....	46
10. Ventana de PVC (Conformado de marco de PVC y vidrio de 6mm).	48
INVENTARIO DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE PERFIL DE PVC.	49
INVENTARIO DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE VIDRIO DE 6 MM51	
11. Ventana de Perfil de Aluminio (Conformado por perfil de aluminio y vidrio de 3mm).	53
INVENTARIO DE MATERIALES COMPONENTES DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS EN KILOGRAMO VIDRIO DE 3 MM.	¡Error! Marcador no definido.
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	58
EVALUACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO CON ENFOQUE DE CICLO DE VIDA.	58
CAMBIO CLIMÁTICO.	58
COMPARACIÓN ENTRE LÍNEA BASE Y SISTEMAS CONSTRUCTIVOS ANALIZADOS	61
1. Caso de estudio: Muros.	61
2. Caso de estudio: Losa	72
3. Caso de estudio: Ventana.	73
EVALUACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DEL TRANSPORTE.....	76
CAMBIO CLIMÁTICO.	76
HERRAMIENTA PARA CALCULAR LA HUELLA DE CARBONO CON ENFOQUE DE CICLO DE VIDA PARA LOS SISTEMAS CONSTRUCCION	84
VISUAL BASIC.....	84
HUELLA DE CARBONO DEL LA LINEA BASE Y EL PROGRAMA ECOCASA.....	84
CONCLUSIONES.....	87
RECOMENDACIONES.	89
REFERENCIAS.....	90
ANEXO “A”.....	96
Anexo 1. FICHAS TÉCNICAS DE PROVEEDORES.	97
12. Ficha 1. Novaceramic, Block Cerámico Novablock Multiperforado 11.5.....	97
13. Ficha 2. Ladrillera Santa Clara. Block Cerámico con EPS.	98
Ficha 3. Termolita: Termosil perlita mineral expandida con silicón.....	99
14. Ficha 4. Fanosa: Placa Aislante de EPS.	100
Ficha 5. Novidesa. Bovedilla de EPS	101
15. Ficha 6. Xella. Concreto celular Hebel.....	102
Ficha 7. Mortero para concreto celular Hebel	103
16. Ficha 8. Covintec.	104
17. Ficha 9. BlockMex. Block de concreto.	105
ANEXO B.....	106
Comparativo del Desempeño Térmico de los Sistemas Constructivos	107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Contribución por etapa de ciclo de vida (kg de CO ₂ eq.) (Centro Mario Molina para estudios estratégicos sobre energía y medio ambiente A.C., 2015).....	3
Tabla 2. Listado de principales gases de efecto invernadero y sus principales fuentes. Basado en (Frohman & Olmos, 2013) y (IPCC, 2013a).....	6
Tabla 3. Emisiones totales de GEI por parte de la Ciudad de México en el 2012. (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT, 2013).	8
Tabla 4. Peso en kg/m ² de cada sistema constructivo.	14
Tabla 5. Inventario de 1 kg de Aislante EPS.....	23
Tabla 6. Inventario de 1 kg de Perlita mineral expandida con silicón.	26
Tabla 7. Inventario de 1 kg de Aislante de Aislante de polímero.....	29
Tabla 8. Inventario de 1kg de block de adobe.	31
Tabla 9. Inventario de 1 kg de Block cerámico.	34
Tabla 10. Inventario de 1 kg de Block cerámico con EPS.	37
Tabla 11. Inventario de 1 kg de Concreto Celular.....	39
Tabla 12. Inventario de 1 kg de Covintec.....	42
Tabla 13. Inventario de 1 kg de Bovedilla de EPS.....	46
Tabla 14. Inventario de 1 m ² de Perfil de PVC.....	49
Tabla 15. Inventario de 1 kg de Vidrio de 6 mm.....	51
Tabla 16. Inventario de 1 m ² de perfil de aluminio.	54
Tabla 17. Inventario de 1 kg de Vidrio de 3 mm.....	56
Tabla 18. Cambio climático. kg de CO ₂ eq por kilogramo de cada material, considerando un enfoque de ciclo de vida.....	58
Tabla 19. Peso en kg/m ² de cada sistema constructivo y kg de CO ₂ eq.....	60
Tabla 20. Comparación entre muro de block de concreto macizo y muro de concreto.....	62
Tabla 21. Comparación entre muro de block de concreto macizo y muro de concreto hueco.....	63
Tabla 22. Comparación entre muro de block de concreto macizo y muro de block de concreto hueco con aislante EPS 1”.....	65
Tabla 23. Comparación entre muro de block de concreto macizo y muro block de block de concreto hueco con perlita mineral expandida con silicón.....	66
Tabla 24. Comparación entre muro de block de concreto macizo y muro block de concreto con aislante Aislante de polímero.	67
Tabla 25. Comparación entre muro de block de concreto macizo y muro block de adobe.	68
Tabla 26. Comparación entre muro de block de concreto macizo y muro block cerámico.	69
Tabla 27. Comparación entre muro de block de concreto macizo y muro block cerámico con EPS.	70
Tabla 28. Comparación entre muro de block de concreto macizo y muro block de concreto celular.	71
Tabla 29. Comparación entre muro de block de concreto macizo y muro de prefabricado.	72
Tabla 30. Comparación entre losa de concreto y losa de viga de concreto y bovedilla de EPS.	73
Tabla 31. Comparación entre ventana de aluminio y ventana de PVC.	74
Tabla 32. Distancias entre los lugares de fabricación de materiales y las ciudades de construcción.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evaluación sectorial de las emisiones GEI en México, 1990-2010. (Gobierno de la República, 2013)	2
Figura 2. Distribución de las emisiones GEI según IPCC. Basado en (IPCC, 2013b).	7
Figura 3. Los 15 países con mayor emisión de gases de efecto invernadero producto de la cama de combustibles fósiles. Basado en International Energy Agency.	8
Figura 4. Consumo de Energía 2014 Fuente: Sistema de Información Energética, Secretaría de Energía (SENER). Emisiones Nacionales de GEI por sector 2013 Fuente: Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). SHF con datos de SENER y SEMARNAT	9
Figura 5. Fases de un análisis de ciclo de vida. Fuente Adaptación de ISO 14040/44 (ISO, 2006)	12
Figura 6. Análisis de Ciclo de Vida.	18
Figura 7. Imagen representativa de block con EPS. Fuente: FANOSA, 2015.	22
Figura 8. Diagrama de Flujo de aislante EPS	24
Figura 9. Imagen representativa de muro de block hueco con Termosil. Fuente: Termolita, 2013.	25
Figura 10. Diagrama de Flujo de perlita mineral expandida.	27
Figura 11. Imagen representativa de muro de block hueco con Aislante de polímero. Fuente: Proveedor.	28
Figura 12. Imagen representativa de muro de adobe. Fuente: Google Images, 2015.	30
Figura 13. Diagrama de Flujo del block de adobe	32
Figura 14. Imagen representativa de block cerámico multiperforado 11.5, Fuente: Novaceramic, 2015.	33
Figura 15. Diagrama de Flujo del block cerámico.	35
Figura 16. Imagen representativa de BioBlock 15 EPS. Fuente: Santa Clara, 2015.	36
Figura 17. Imagen representativa de un muro de block de concreto celular. Fuente: Grupo XELLA, 2015.	38
Figura 18. Diagrama de Concreto Celular	40
Figura 19. Imagen representativa de muro de Covintec. Fuente: CONVINTEC, 2015.	41
Figura 20. Diagrama de Flujo de Covintec.	43
Figura 21. Ampliación del Diagrama de Flujo de Covintec.	44
Figura 22. Imagen representativa de bovedilla de EPS y vigueta de concreto. Fuente: Google Images.	45
Figura 23. Diagrama de Flujo de bovedilla de EPS.	47
Figura 24. Imagen representativa de ventana de PVC. Fuente: SODIMAC, 2015.	48
Figura 25. Diagrama de Flujo de perfil de PVC.	50
Figura 26. Diagrama de Flujo de vidrio de 3mm y 6mm	52
Figura 27. Imagen representativa de perfil de aluminio. Fuente: SODIMAC, 2015.	53
Figura 28. Diagrama de Flujo de perfil de aluminio.	55
Figura 29. Diagrama de Flujo de vidrio de 3mm y 6mm.	57
Figura 30. Gráfica comparativa de impactos de cambio climático de muros (m ²) por kg de CO ₂ eq.	60
Figura 31. Gráfica comparativa de impactos de cambio climático de losas (m ²) por kg de CO ₂ eq.	61
Figura 32. Gráfica comparativa de impactos de cambio climático de ventanas (m ²) por kg de CO ₂ eq.	61
Figura 33. Gráfica de impactos de cambio climático de muro de block de concreto macizo y muro de concreto (m ²) por kg de CO ₂ eq.	63
Figura 34. Gráfica de impactos de cambio climático de muro de block de concreto macizo y muro de block de concreto hueco (m ²) por kg de CO ₂ eq.	64
Figura 35. Gráfica de impactos de cambio climático de muro de block macizo y muro de block hueco con aislante EPS 1" (m ²) por kg de CO ₂ eq.	65
Figura 36. Gráfica de impactos de cambio climático de muro de block de concreto macizo y muro de block de concreto hueco con perlita mineral expandida con silicón (m ²) por kg de CO ₂ eq.	66

Figura 37. Gráfica de impactos de cambio climático de muro de block de concreto macizo y muro block de concreto con aislante de polímero (m ²) por kg de CO ₂ eq.	67
Figura 38. Gráfica de impactos de cambio climático de muro de block de concreto macizo y muro block de adobe (m ²) por kg de CO ₂ eq.	68
Figura 39. Gráfica de impactos de cambio climático de block de concreto macizo y muro de block cerámico (m ²) por kg de CO ₂ eq.	69
Figura 40. Gráfica de impactos de cambio climático de muro de block de concreto macizo y muro block cerámico con EPS (m ²) por kg de CO ₂ eq.	70
Figura 41. Gráfica de impactos de cambio climático de muro de block de concreto macizo y muro block de concreto celular (m ²) por kg de CO ₂ eq.	71
Figura 42. Gráfica de impactos de cambio climático de muro de block de concreto macizo y muro de prefabricado (m ²) por kg de CO ₂ eq.	72
Figura 43. Gráfica de impactos de cambio climático de losa de concreto y losa de vigueta de concreto y bovedilla de EPS (m ²) por kg de CO ₂ eq.	73
Figura 44. Gráfica de impactos de cambio climático de ventana de aluminio y ventana de PVC (m ²) por kg de CO ₂ eq.	74
Figura 45. Pantalla de inicio con instrucción para visualizar las huellas de carbono	84
Figura 46. Pantalla principal.	85
Figura 47. Ejemplo de simulación completa.	85

INTRODUCCIÓN.

Durante los últimos años la población mexicana ha aumentado considerablemente superando los 110 millones de habitantes, posicionándose dentro de los 15 países más poblados del mundo (Banco Mundial, 2015). Esta creciente población cuya tercera parte son adolescentes y jóvenes de entre 10 y 29 años de edad (Toribio, 2015; Macías, 2015; INEGI, 2015; Poó Rubio, 2007) busca independizarse y poseer o rentar un inmueble para establecerse ejerciendo presión a la demanda de una vivienda adecuada y bien localizada.

El número de hogares en la República Mexicana se ha incrementado 6.4% en 2 años, al pasar de 29.5 millones en 2010 a 31.4 millones en 2012 (Fundación CIDOC, SHF, 2014), por lo que se ha buscado crear incentivos para adquirir viviendas y al mismo tiempo se han tomado medidas para que éstas posean menos impactos ambientales que las convencionales mexicanas.

Sociedad Hipotecaria Federal (SHF), preocupada por impulsar la construcción de viviendas sustentables, desarrolla junto con el Banco de Desarrollo Alemán (KfW) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el “Programa EcoCasa”, el cual busca transformar el sector de la vivienda social de México incorporando medidas que reduzcan al menos 20% las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

En el marco de este Programa, se considera la elegibilidad de los proyectos arquitectónicos a partir de su reducción de emisiones de GEI en relación con una referencia o línea de base. En la primera fase del Programa, la cual se implementa a la fecha de terminación de este estudio, la reducción se calcula mediante la implementación de técnicas constructivas y arquitectónicas que permitan reducir el consumo de energía durante la vida útil de la casa por sus ocupantes, en particular en acondicionamiento de aire y calefacción. Para la segunda fase del Programa, se incorporarán criterios adicionales que contemplen la utilización de tecnologías que permitan reducir el consumo de agua durante la vida útil de la casa, la localización de la casa de manera que reduzca el consumo de energía en el transporte de sus ocupantes durante la vida útil de la casa y, por último, la utilización de materiales y procesos constructivos con menores emisiones de GEI en su ciclo de vida.

Es por ello que el BID, a través de la SHF; solicitó la colaboración del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) para estimar, la Huella de Carbono, mediante un enfoque de Análisis de Ciclo de Vida (ACV o LCA, por sus siglas en inglés), para 12 de los sistemas de construcción más utilizados en la edificación de EcoCasas.

La Huella de Carbono adopta un enfoque de ACV cuando considera las emisiones GEI generadas a lo largo de toda la cadena de valor; desde la obtención de las materias primas y tomando en cuenta todos los flujos de entradas y salidas en cada uno de los procesos unitarios.

En este trabajo, la Huella de Carbono se cuantifica desde la extracción de las materias primas necesarias para la fabricación de los materiales y de los sistemas de construcción, tomando en cuenta la producción distribución y construcción del sistema constructivo en el área en donde se vaya a utilizar, considerando todos los flujos entrantes y salientes en cada uno de los procesos unitarios; lo que permite determinar los impactos que la producción de estos sistemas constructivos ejercen sobre el medio ambiente en materia de cambio climático.

En este documento se presenta la Huella de carbono de 12 sistemas constructivos y sus correspondientes materiales de construcción, seleccionados por el Instituto de Ingeniería y Sociedad Hipotecaria Federal, por ser algunos de los más utilizados por los desarrolladores en la construcción de EcoCasas en México.

ANTECEDENTES.

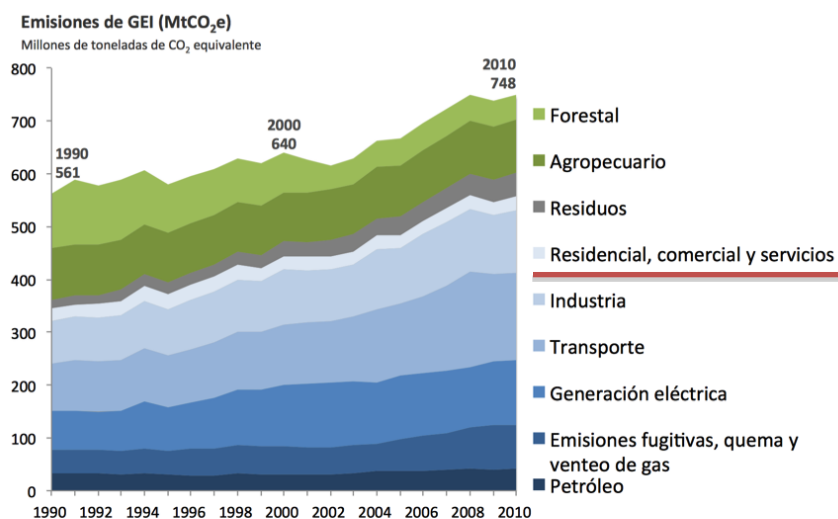
LA VIVIENDA EN MÉXICO.

En México existen tres tipos de construcción de vivienda: vivienda de interés social, vivienda de interés medio y vivienda de interés residencial (Poó Rubio, 2007). La diferencia entre estas tres radica en la cantidad de espacio construido que poseen, los acabados y la ubicación y los precios de venta de las mismas. Como mínimo la vivienda de interés social requiere 70m², la vivienda de interés medio requiere como mínimo 160 m² y la vivienda de interés residencial como mínimo necesita 300m² (Macías, 2015).

La vivienda de interés social, también llamada vivienda popular o tradicional, es la vivienda que más impactos genera al ser la más demandada y construida por su bajo costo. Esta vivienda muchas veces es realizada sin una adecuada planeación, provocando grandes impactos ambientales y sociales (Figura 1).

En México existen muy escasos estudios sobre vivienda y sistemas de construcción y la información que se tiene de las emisiones de GEI de la vivienda es específica de la etapa de uso, es decir cuando los hogares ya son habitados. Incluso los sistemas de certificación sustentable como por ejemplo LEED v.4. que ya utiliza ACV se basan más en el uso del inmueble que en las etapas de diseño y construcción.

Se sabe que una correcta selección de los materiales con los que se construye una edificación pueden ser detonantes para la disminución de los impactos generados en las etapas de vida de una vivienda principalmente en las etapas de preuso, construcción y uso, por lo cual la evaluación de la huella de carbono de los materiales de construcción, es una herramienta estratégica para mitigar el impacto en Cambio Climático.



Fuente: INE (2012) México, Quinta Comunicación Nacional ante la CMNUCC.

Figura 1. Evaluación sectorial de las emisiones GEI en México, 1990-2010. (Gobierno de la República, 2013)

El Centro Mario Molina (Centro Mario Molina para estudios estratégicos sobre energía y medio ambiente A.C., 2015) realizó un estudio sobre “La huella de carbono en materiales de

construcción”, en la cual se analizaron diferentes sistemas constructivos para cuatro diferentes tipos de vivienda: vivienda horizontal tradicional, vivienda horizontal alternativa, vivienda vertical tradicional y vivienda vertical alternativa, las cuales fueron ubicadas en cuatro zonas principales en el país: cálida húmeda, cálida seca, templada y semifría; cada una representada por cuatro ciudades: Mérida, Monterrey, Querétaro y la Ciudad de México, obteniendo los resultados que se presentan en la Tabla 1:

Tabla 1. Contribución por etapa de ciclo de vida (kg de CO₂ eq.) (Centro Mario Molina para estudios estratégicos sobre energía y medio ambiente A.C., 2015).

	Preuso		Mantenimiento		Uso (energía)		Demolición		Total
Mérida									
Horizontal tradicional	18,853	14.3 %	700	0.5 %	112,266	85.0 %	204.4	0.2 %	132,023
Horizontal alternativa	28,020	21.6 %	700	0.5 %	101,076	77.8 %	75.7	0.1 %	129,871
Vertical tradicional	10,930	8.8 %	794	0.6 %	112,075	90.4 %	222.6	0.2 %	124,023
Vertical alternativa	53,133	33.7 %	794	0.5 %	103,732	65.7 %	154.3	0.1 %	157,813
México									
Horizontal tradicional	18,853	21.1 %	700	0.8 %	69,549	77.9 %	204.4	0.2 %	89,306
Horizontal alternativa	28,020	29.9 %	700	0.7 %	64,919	69.3 %	75.7	0.1 %	93,714
Vertical tradicional	10,930	13.1 %	794	1.0 %	71,600	85.7 %	222.6	0.3 %	83,547
Vertical alternativa	53,133	42.6 %	794	0.6 %	70,629	56.6 %	154.3	0.1 %	124,710
Monterrey									
Horizontal tradicional	18,853	15.5 %	700	0.6 %	102,190	83.8 %	204.4	0.2 %	121,947
Horizontal alternativa	28,020	23.8 %	700	0.6 %	88,930	75.5 %	75.7	0.1 %	117,725
Vertical tradicional	10,930	9.5 %	794	0.7 %	102,833	89.6 %	222.6	0.2 %	114,781
Vertical alternativa	53,133	36.0 %	794	0.5 %	93,543	63.4 %	154.3	0.1 %	147,624
Querétaro									
Horizontal tradicional	18,853	17.9 %	700	0.7 %	85,810	81.3 %	204.4	0.2 %	105,567
Horizontal alternativa	28,020	25.1 %	700	0.6 %	82,816	74.2 %	75.7	0.1 %	111,610
Vertical tradicional	10,930	11.1 %	794	0.8 %	86,749	87.9 %	222.6	0.2 %	98,696
Vertical alternativa	53,133	38.0 %	794	0.6 %	85,609	61.3 %	154.3	0.1 %	139,690

Para la etapa de preuso se consideran la extracción y el transporte de la materia prima para los materiales de construcción, producción y fabricación de los mismos y el transporte al sitio de la obra. En la etapa de mantenimiento se incluyen aplanados de yeso y mortero así como la energía y los insumos para la construcción de la casa o edificio. En la etapa de uso se considera la energía requerida en el hogar de cuatro personas habitado durante 50 años, En la etapa de postuso o demolición se considera la energía usada por los equipos y maquinarias, así como el transporte de los residuos al sitio de disposición final. (Centro Mario Molina para estudios estratégicos sobre energía y medio ambiente A.C., 2015)

De acuerdo a lo observado en la tabla anterior, podemos concluir lo siguiente:

1. Las viviendas tradicionales tienen menos impactos que las viviendas alternativas en la etapa de preuso, no obstante, las viviendas tradicionales poseen más impactos que las viviendas alternativas en la fase de uso.
2. Las viviendas horizontales poseen más impactos que las viviendas verticales.
3. La fase que más impacto genera es la fase de uso, por el uso de electricidad que en el caso del Mix Eléctrico de México, implica energías fósiles (gas natural, gas lp y electricidad).
4. Si bien la fase de preuso, la cual estima de 9.5% a 43% de emisiones dependiendo de la localidad, posee menos impactos que la fase de uso que tiene entre el 56.6% y 87.9% de los emisiones de kg de CO₂eq, la correcta selección de los materiales con respecto a cada localidad, puede ayudar a disminuir los impactos creados en la fase de uso. (Centro Mario Molina para estudios estratégicos sobre energía y medio ambiente A.C., 2015).

EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS EN MÉXICO.

Se denomina sistema constructivo a las modalidades de ejecución utilizadas para la realización de los elementos estructurales y de cada una de las partes constitutivas de una edificación, incluyendo los materiales (Tronconi, 2009).

La elección de un procedimiento constructivo depende de varios factores, entre ellos: aspectos ambientales, nivel tecnología local, economía y financiamiento, tiempos de ejecución, materiales y acabados de construcción que se deseen emplear y su suministro (Tronconi, 2009).

En la época prehispánica los indígenas construían observando la naturaleza que los rodeaba, eran diestros constructores y artesanos que utilizaban lo que tenían a la mano para crear y construir, es por ello que aún podemos encontrar vestigios de casas hechas de piedra, maguey y tierra. Sus herramientas eran cinceles, piedras y navajas de obsidiana principalmente.

En el caso del Valle de México, al ser una zona lacustre, los aztecas se preocupaban por la solidez de sus edificios y por ello utilizaron ampliamente el tezontle como mortero y para dar estabilidad a sus edificaciones y prevenir sus hundimientos provocados por el tipo de subsuelo. De igual manera inventaron los pilotes de madera en la tierra como cimientos para colocar encima plataformas con sus edificaciones.

Las casas y pirámides fueron construidas utilizando madera, cal, piedra del sitio (piedra, basalto, tezontle y andesita), carrizo, estuco, lodo o arcilla, algunos forrajes. La madera se utilizó para sostener techumbres, en dinteles y como armado de muros; el bajareque (estructura de varas entretejidas recubiertas de lodo y barro mezclado con paca) se utilizó en muros y techumbres. El adobe se utilizó para construir muros y como núcleo de basamento. La cal se utilizó de muchas y diferentes maneras, principalmente como aglutinante en morteros, para pintura y para secar materiales como el adobe. La paja y ramas de palma se utilizaban en techos o para dar consistencia al adobe. La piedra se utilizó para construir muros de contención para plataformas, escalinatas, paredes columnas, pilares, dinteles y cresterías (UANL, 2008).

Si bien los sistemas constructivos varían de lugar en lugar, dependiendo de las características de cada zona; todas las casas fueran aztecas, mayas, zapotecas, teotihuacanas y/o toltecas, tenían una estructura generalmente realizada de madera de pino o roble, muros fabricados de piedra con estuco, adobe o bajareque, huecos para las ventanas (exceptuando la vivienda maya y azteca), y techumbre de paja, forraje, palmeras o pencas de maguey. Por lo general las casas eran de un piso pero había viviendas de dos pisos. (Alvarez, 2009)

Después de la conquista las primeras muestras de arquitectura española fueron las construcciones de los templos misioneros, las cuales en un inicio se hacían a base de lodo y maderas, similar a lo que se hacía en el sistema constructivo prehispánico, posteriormente fueron realizándose de adobe y piedra, muros mixtos de cal y canto con pedacería de tabique (Peraza Guzmán, 2000).

Los ladrillos, canteras y tejas fueron introduciéndose lentamente primero traídas de España y luego fabricándose en la nueva España enseñando a los indígenas a fabricar y tallar dichos materiales de construcción.

Posteriormente se comenzaron a incluir los componentes industrializados. En la época prehispánica no se conocían los metales, pero a partir del siglo XIX y XX se comenzaron a construir haciendas y casas realizadas con vigas de acero para sostener techumbres ya que poseían más resistencia y duración que las maderas, estas vigas se revestían con yeso y se pintaban para dar una apariencia más rústica, de igual manera se usaban columnas de hierro fundido con capiteles clásicos, marcos ornamentales en paredes y celosías de barro prefabricados mediante hornos localizados en zonas cercanas a las haciendas (Lorenzo Monterrubio, 2007).

Durante la época prehispánica y colonial se construyó con un sistema constructivo tradicional y tradicional mixto, posteriormente se crearon nuevos materiales prefabricados e industrializados creando los demás tipos de sistemas constructivos.

TIPOS DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS.

En la actualidad se cuentan con cuatro sistemas constructivos:

- a. Sistema constructivo tradicional.
- b. Sistema constructivo tradicional racionalizado o híbrido.
- c. Sistema constructivo prefabricado industrial.
- d. Sistema constructivo industrializado “a pie de obra”.

A continuación se explica cada uno de ellos.

a) Sistema constructivo tradicional.

Son aquellos sistemas que prevén cada una de las partes constructivas de la obra utilizando técnicas, equipos e instalaciones consideradas tradicionales. Antiguamente el sistema constructivo tradicional solía utilizar materiales de la región; actualmente un sistema constructivo tradicional se refiere al proceso constructivo cuyo objetivo es la realización de muros de carga de ladrillo o material cerámico y de piedra, aunque sólo en casos muy limitados, sostenidos por encofrado de madera que sirve para otorgar estructura. Este procedimiento, de bajo contenido tecnológico y de alto contenido de mano de obra, permite realizar edificios de tipología muy variada y de dimensiones modestas; utilizando criterios constructivos difundidos en la cultura occidental (Tronconi, 2009).

b) Sistema constructivo tradicional racionalizado o híbrido.

El sistema constructivo racionalizado o híbrido se basa en el uso de estructuras portantes de concreto armado vertido en el sitio y de distintos tipos de estructuras de entramado, porticadas, de tabiques, y otros sistemas constructivos como sistemas prefabricados, tradicionales, entre otros. (Tronconi, 2009). Es decir es un sistema que se construye a partir de la mezcla de concreto y otros sistemas.

c) Sistema constructivo prefabricado industrial.

Este tipo de sistema incluye la gestión y control de los procesos productivos de un material industrializado. Es un sistema complejo que puede dividirse en subsistemas estructurales y a su vez se puede subdividir en componentes como pilares, vigas, forjados, muros, muretes o losas las cuales ya no necesitan formarse o construirse en sitio sino que vienen ya hechas y listas para su colocación. (Tronconi, 2009).

d) Sistema constructivo industrializado “a pie de obra”.

Con este sistema los elementos estructurales se realizan en obra, utilizando diferentes encofrados metálicos y varillas como armadura para el concreto y vertiendo el concreto para después vibrarlo y compactarlo (Tronconi, 2009). Se trata de un sistema únicamente realizado en concreto.

CAMBIO CLIMÁTICO

Desde el comienzo de la era industrial, el hombre comenzó a cambiar su estilo de vida y su medio ambiente, necesitando grandes cantidades de recursos naturales que le permitieron alcanzar el desarrollo tecnológico e industrial que posee actualmente. Este desarrollo ha traído como consecuencia un crecimiento poblacional desmedido, generación de residuos y creación de emisiones en aire, agua y suelo asociadas al aumento de producción y consumo de recursos.

Mucho se habla del efecto invernadero y del cambio climático pero se tiene muy poco conocimiento respecto al tema.

Los gases de efecto invernadero son parte natural de las condiciones climáticas del planeta, éstos propician las condiciones óptimas de vida en el planeta tierra, garantizando una temperatura ideal para la realización de los procesos naturales, sin estos el planeta tendría temperaturas inferiores las cuales no permitirían el desarrollo y crecimiento de los seres vivos. (Florides, Christodoulides, & Messaritis, 2013). Los gases de efecto invernadero que se presentan de manera natural en la atmósfera son: vapor de agua, dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄), y ozono (O₃), éstos son los responsables de absorber y emitir ciertas radiaciones provenientes de la superficie terrestre, la atmósfera y las nubes. El problema ocurre cuando hay un aumento en la concentración de estos gases, ya que la radiación absorbida y emitida por la atmósfera es mayor ocasionando que el exceso de radiación se disipe fuera del planeta y aumente la temperatura en la superficie terrestre y en la tropósfera. (IPCC, 2013a).

Las actividades humanas, principalmente la industrialización, ha traído como consecuencia el aumento de las concentraciones de GEI alterando de esta manera la composición de la atmósfera. Además de los GEI anteriormente mencionados, existen otros tales como los hidrofluorocarbonos (HFC), los perfluorocarbonos (PFC), Hexafluoruro de Azufre (SF₆) los cuales también han aumentado su concentración desde el desarrollo industrial (IPCC, 2013a). En la Tabla 2 se muestran las principales fuentes de emisión que provocan estos GEI.

**Tabla 2. Listado de principales gases de efecto invernadero y sus principales fuentes.
Basado en (Frohman & Olmos, 2013) y (IPCC, 2013a).**

Nombre de GEI	Fórmula Química	Potencial de Calentamiento Global (CO ₂ -e)	Fuente de emisión
Dióxido de carbono	CO ₂	1	Uso de combustibles fósiles, deforestación, uso de suelo, producción de cemento.
Metano	CH ₄	28	Rellenos sanitarios, fermentación natural, combustibles fósiles, tratamiento de aguas residuales, desperdicios orgánicos.
Óxido nitroso	N ₂ O	298	Combustibles fósiles, fertilizantes, fabricación de fibras sintéticas, estiércol.
Hidrofluorocarbonos	HFC	3,500-14,800	Gases refrigerantes, producción de aluminio y semiconductores.
Perfluorocarbonos	PFC	7,390-12,200	Producción de aluminio y de semiconductores.
Hexafluoruro de Azufre	SF ₆	22,800	Transmisión y distribución de electricidad, producción de magnesio.

El CO₂ es el GEI más conocido y ciertamente aproximadamente el 75% de las emisiones antropogénicas vienen de este gas, ver Figura 2. Sin embargo, como se puede observar en la Tabla 2, potencial de calentamiento global es mayor en los demás GEI. El potencial de calentamiento global representa la intensidad del poder de radiación o calentamiento y el tiempo promedio de la vida de un GEI en particular en la atmósfera; se obtiene de manera matemática y se expresa en relación con el potencial de calentamiento global del CO₂, es decir el potencial de calentamiento global de un 1 molécula o unidad de gas metano es equivalente al potencial de calentamiento global de 28 moléculas o unidades de dióxido de carbono, es por ello que tiene como medida el dióxido de carbono equivalente (CO₂e).

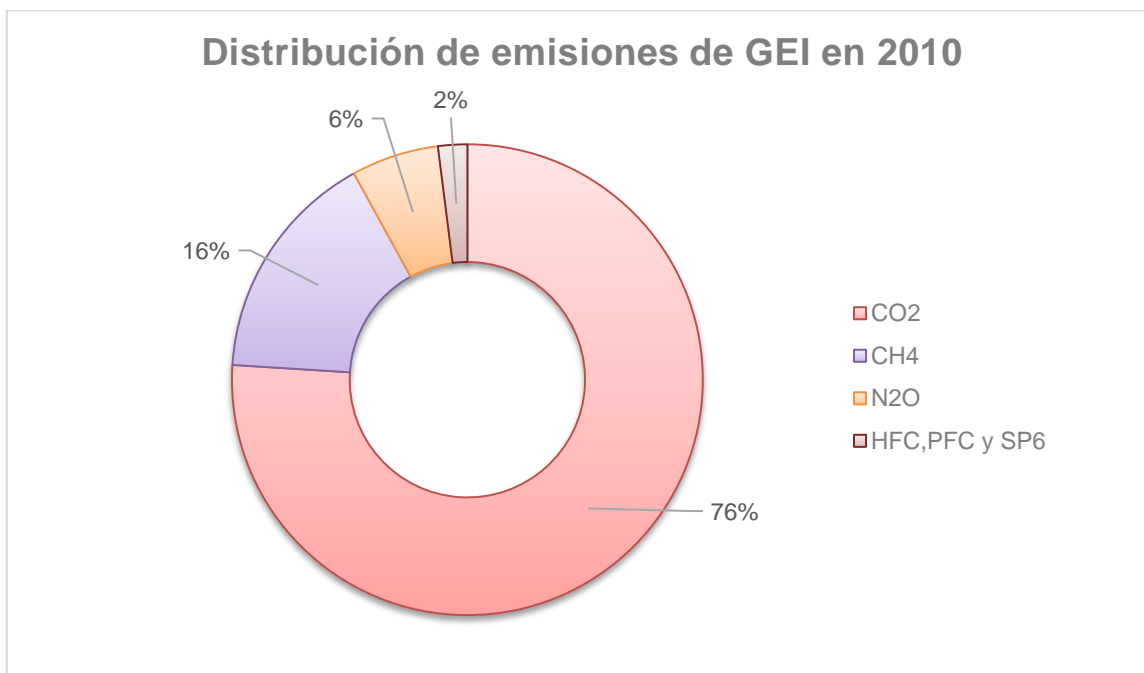


Figura 2. Distribución de las emisiones GEI según IPCC. Basado en (IPCC, 2013b).

En la medida en la que ha existido un aumento en las emisiones de GEI, la temperatura global ha aumentado notablemente. Las últimas tres décadas han sido las más calientes sucesivamente siendo el periodo del 2000-2009 el más cálido de todos. En promedio el planeta ha aumentado su temperatura 0.85°C entre 1880-2012 (IPCC, 2013a). Este fenómeno es conocido como Cambio Climático, definido formalmente por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático como “Cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables.” (IPCC, 2013a).

El aumento de la temperatura global y la concentración de los GEI en la atmósfera provocan impactos adicionales en el planeta tierra, entre los cuales están: Fluctuaciones en las precipitaciones derivando en sequías e inundaciones, deshielo en los glaciares y aumento del nivel del mar, intensificación de la temperatura y acidificación de los mares, efectos directos e indirectos a la salud de los seres vivos. Cada uno de estos impactos trae diferentes consecuencias como son la reducción en disponibilidad de agua y su calidad, inundaciones en ciudades y asentamientos costeros ocasionando pérdidas en ecosistema, biodiversidad y económicas, muerte de biodiversidad marina como corales y mariscos, huracanes intensificados, deterioro de cultivos y escasez de alimentos, trastornos cardiopulmonares, fallecimientos atribuidos a las olas de calor, vectores de enfermedades influenciados por el cambio de clima en el planeta tierra, solo por mencionar algunos.

Al ser el Cambio Climático un fenómeno inminente, se han presentado una serie de estrategias, convenios y mecanismos que puedan ayudar al ser humano a adaptarse y mitigar los efectos de esta problemática global. Las mayores emisiones de GEI producidas por actividades antropogénicas se generan en China, Estados Unidos, India, Rusia y Japón. En el caso de América Latina y el Caribe, la suma de sus emisiones solo represento el 5% del total de GEI en el 2011. (Frohman & Olmos, 2013). No obstante, Brasil y México se encuentran dentro de los 15 países con mayores emisiones GEI durante el 2013 ver Figura 3.

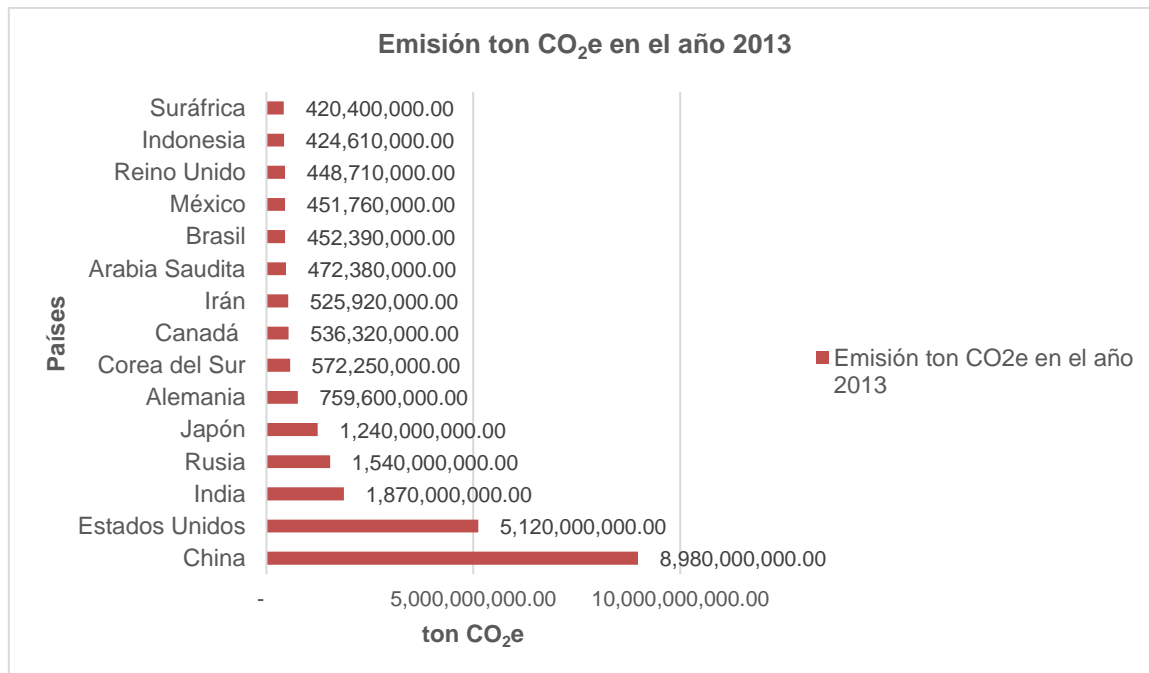


Figura 3. Los 15 países con mayor emisión de gases de efecto invernadero producto de la cama de combustibles fósiles. Basado en International Energy Agency.

México aporta el 1.7% de las emisiones de GEI globalmente y después de Brasil es el país Latinoamericano con mayores emisiones de CO₂e. La Ciudad de México (CDMX) a través de la Secretaria de Medio Ambiente (SEDEMA) realizó en el 2013 un inventario de emisiones general de la ciudad describiendo las principales fuentes de emisiones GEI las cuales son referidas en la Tabla 3.

Tabla 3. Emisiones totales de GEI por parte de la Ciudad de México en el 2012. (Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT, 2013).

Tipo de Fuente de emisión de GEI	Toneladas de CO ₂ e	Porcentaje de emisiones
Fuentes puntuales (industrias)	10,708,786	21.63%
Fuentes de área (comercio, sector residencial, rellenos sanitarios, aeropuerto)	14,369,344	29.01%
Fuentes móviles (vehículos)	24,424,880	49.32%
Total	49,503.010	100%

La principal fuente de emisión GEI de la CDMX es causada por los vehículos, es decir, es producto del proceso de combustión de gasolina en los automóviles, camiones, motocicletas, peseras, entre otros medios de transporte generando cerca del 50% de emisiones en la ciudad.

Las fuentes de área^a son la segunda fuente de emisiones de GEI con cerca del 29% total de emisiones en la CDMX. Hablando de manera global, las edificaciones son responsables del 18.4% de las emisiones GEI, ocasionadas principalmente por el consumo de energía eléctrica en diferentes aparatos, servicios eléctricos y electrónicos y por el empleo de combustibles fósiles en el uso de calefacción, agua caliente y preparación de alimentos. (IPCC, 2013b).

En el caso de México, de acuerdo a cifras de la Secretaría de Energía (SENER), en 2014, el sector de la vivienda en México consumió el 15% del total de la energía (754.14 PJ). Durante el año 2013, y de acuerdo a su uso final, las emisiones de CO₂ representaron el 75.1% del total nacional, de las cuales el sector residencial fue responsable del 7.4%.

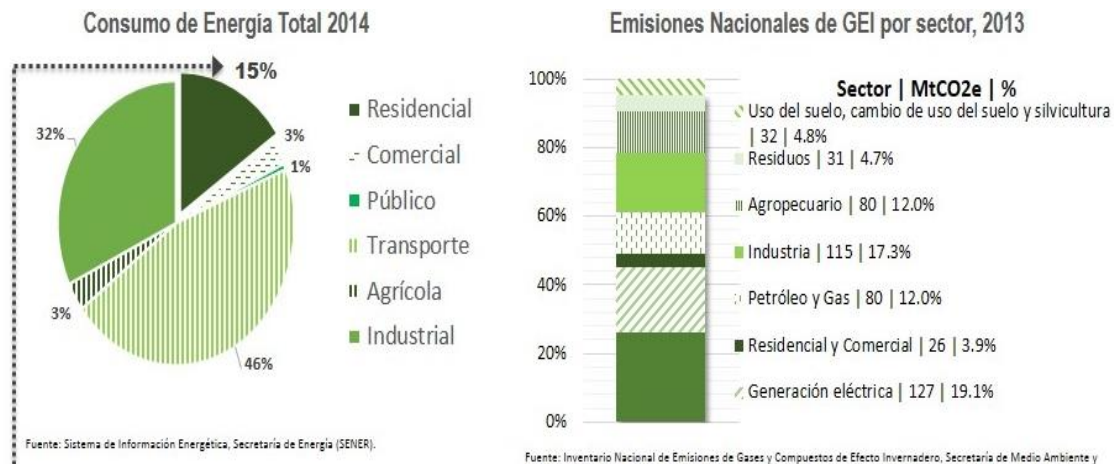


Figura 4. Consumo de Energía 2014 Fuente: Sistema de Información Energética, Secretaría de Energía (SENER). **Emisiones Nacionales de GEI por sector 2013** Fuente: Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). SHF con datos de SENER y SEMARNAT

Debido al interés sobre la protección ambiental y a los beneficios adicionales obtenidos por reducir emisiones de GEI, múltiples institutos y organizaciones han implementado inventarios de GEI y huellas de carbono y algunas constructoras han implementado políticas referentes a la eficiencia energética incluyendo estrategias educativas para el consumo energético responsable así como manejo de materiales de construcción con bajos impactos ambientales.

Dentro de las metodologías empleadas para el cálculo de las emisiones de GEI y huella de carbono se encuentra el Análisis de Ciclo de Vida, el cual realiza una cuantificación de emisiones de GEI desde la obtención de la materia prima para la creación de un producto hasta la entrega o deshecho del producto. Esta metodología fue la seleccionada para realizar este estudio.

^a Las fuentes de área se refiere a una serie de fuentes pequeñas, numerosas y dispersas, que no pueden ser incluidas de manera eficiente en un inventario de fuentes puntuales, pero que en conjunto pueden afectar la calidad del aire en una región, por ejemplo: el uso de madera para cocinar o calentar la casa, las imprentas, las estaciones de servicio, y las tintorerías, etc. tomado de <http://www.inecc.gob.mx/calair-info/537-calair-fuentes> recuperado el día 25/02/2016.

HUELLA DE CARBONO

La Huella de Carbono (HC) corresponde a una medida del impacto de las emisiones de gases de efecto invernadero emitidas directa o indirectamente desde la obtención de las materias primas hasta el desecho generado, producidos por un producto, servicio, organización o evento.

La huella de carbono es un indicador que tiene en cuenta los principales gases de efecto invernadero contemplados en el Protocolo de Kioto y otros gases adicionales con alto potencial de calentamiento global; este indicador es medido en unidades de masa (kilogramos, toneladas, gramos, etc.) de CO₂e.

Este indicador relaciona la emisión de gases de efecto invernadero por cada unidad de producto, servicio u organización, es decir, que la huella de carbono puede ser expresada por las siguientes tasas o relaciones:

- Productos: masa del total de emisiones de gases de efecto invernadero equivalente sobre masa de producto fabricado (kg CO₂eq / kg de producto).
- Ciudades o poblaciones: Total de emisiones de gases de efecto invernadero equivalente emitidas por la ciudad o población sobre cantidad de hogares o número de habitantes de ciudades o poblaciones (kg o t CO₂eq / # hogares o # habitantes).
- Organizaciones e instituciones: Total de emisiones de gases de efecto invernadero equivalentes emitidas por la organización o institución por número de trabajadores o cantidad de área de la organización (kg o t CO₂eq / # trabajadores o área: m², ha, etc.).

La cuantificación de la Huella de Carbono implica un enfoque de ACV, lo cual consiste en cuantificar el impacto en cambio climático considerando toda la cadena de valor de un producto o servicio, todos los insumos y todas las emisiones GEI generadas.

El ACV ha sido considerado una de las metodologías más apropiadas para el estudio interactivo entre productos y servicios de la industria de la construcción y el medio ambiente, ya que se han utilizado numerosos objetivos y referencias metodológicas para su desarrollo; (Naked, de Moraes, de Macedo, Evangelista, & ThomasBoer, 2013). El ACV permite determinar las cargas ambientales asociadas a los productos, procesos o actividades, (Condeixa, Haddad, & Boer, 2014), y se desarrolla a través de la identificación y cuantificación de la energía, de los materiales usados y de los desechos vertidos al ambiente, (Domínguez & Juárez, 2011).

Estokova y Porhincak, 2015 denotan que el sector de la construcción se ha convertido en el principal consumidor de materias primas siendo actualmente el responsable del agotamiento del 40% de piedra, grava y arena, así como del 25% de la madera y 16% del agua dulce. Como ejemplo de ello, Koroneos y Dompros, (2007) describen que las industrias productoras de ladrillo requieren una gran cantidad de recursos como insumos para el proceso de fabricación. Así mismo señalan que esta industria genera varios efectos ambientales negativos, además de proveer un gran impacto en relación con el uso de energías y las emisiones de carbono emitidas al medio ambiente. Quinteiro, et al., 2014, señalan que la industria de la cerámica juega un papel clave en el desarrollo sostenible, teniendo en cuenta sus tres componentes principales: medio ambiente, economía y sociedad, y reconociendo la necesidad de mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero y al mismo tiempo aumentar la eficiencia energética de estas industrias.

En el mismo contexto, el sector de la edificación representa uno de los sectores con mayor incidencia en las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera, que en su mayor parte es debido al elevado consumo energético derivado del proceso de fabricación de los materiales utilizados en la construcción (García & Pena, 2014). La mitigación de estos impactos, puede lograrse a través de la realización de una evaluación de impacto ambiental en todo el ciclo de vida del producto (Quinteiro et al., 2014), cuantificando la energía consumida y las emisiones ambientales en el proceso de fabricación de los materiales, construcción, uso y reciclaje (García & Pena, 2014), para la aplicación de medidas de mejora del medio ambiente y de energía dentro del proceso de fabricación y el resto de las etapas de la cadena de suministro.

De todas las metodologías, el ACV se ha perfilado como una herramienta cuyo uso puede ser de gran relevancia en la producción y consumo sustentable. Dada su definición, el ACV toma en cuenta los impactos tanto directos (el proceso) como indirectos (material primas, insumos, deposición de residuos, entre otros); GEI, emisiones de fuentes puntuales, de área o de volumen, carga orgánica vertida en el recurso hídrico y demás, dependiendo del proceso a considerar.

Históricamente la industria de la construcción ha requerido altos consumos de materiales y energía, que en consecuencia generan grandes emisiones al medio ambiente. El sector de la construcción moviliza el 10% de la economía mundial y se estima que consume el 40% de la energía producida en el mundo, (Rincón, Pérez, Medrano, & Cabeza, 2011). Sin embargo, para Koroneos & Dompros, 2007, la industria de la construcción puede desempeñar un papel vital para el desarrollo sostenible, pudiendo conseguir este objetivo con la aplicación de herramientas que tienen que ver con la evaluación del ciclo de vida, la planificación del sitio y la organización, la selección de materiales, la reutilización y el reciclaje de materiales, residuos y minimización de la energía.

Hoy en día se reconoce generalmente que las actividades humanas aumentan la concentración de gas de efecto invernadero antropogénico, lo cual ha llevado a un aumento en la temperatura global, conocido como cambio climático. En un contexto industrial, el concepto huella de carbono (HC) ha ido surgiendo como una herramienta importante para apoyar el desarrollo e implementación de estrategias en la gestión y reducción de gases de efecto invernadero durante el ciclo de vida de productos o servicios a lo largo de la cadena de suministro, (Quinteiro, Almeida, Dias, Araújo, & Arroja, 2014). El concepto de HC va más allá de la medición única del CO₂ emitido, ya que se tienen en cuenta todos los GEI que contribuyen al calentamiento global, para después convertir los resultados individuales de cada gas a equivalentes de CO₂, (IHOBE, S.A., 2009).

El presente informe incluye el proceso de producción de cada material constructivo, desde la extracción de las materias primas hasta el embalaje y entrega del material al lugar de uso.

El ACV se estandariza por la Norma ISO 14040/44 (ISO, 2006) y consiste en determinar los impactos ambientales de un producto o servicio, compilando un inventario de las entradas y salidas relevantes al sistema (agua, luz, combustible, entre otras), e interpretando los resultados de las fases del inventario e impacto con relación a los objetivos del estudio.

El ACV permite identificar áreas de mejora en el proceso de producción o en los procesos asociados al ciclo de vida. Es una metodología que permite la evaluación objetiva de la Huella de Carbono y que se conforma por etapas.

- Definición de objetivo y alcance
- Análisis del inventario de ciclo de vida.
- Evaluación del impacto del ciclo de vida.
- Interpretación del ciclo de vida.

En la Figura 5 se ilustran las etapas de ACV, así como la conexión entre ellas, lo que permite reconocer que se trata de un proceso iterativo, el cual permite incrementar el nivel de detalle en sucesivas iteraciones.

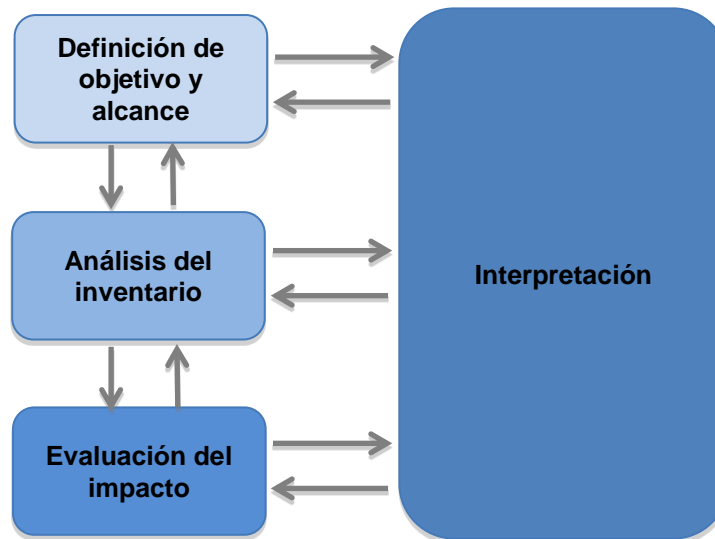


Figura 5. Fases de un análisis de ciclo de vida. Fuente Adaptación de ISO 14040/44 (ISO, 2006)

Definición del Objetivo y Alcance: Se debe establecer el propósito del análisis, el objetivo y la extensión del mismo, así como también:

- **Sistemas estudiados:** Productos o servicios que se analizarán y compararán.
- **Unidad funcional:** Es el elemento clave del estudio, debe ser precisa y suficientemente comparable para ser utilizada como referencia. Debe definir la cantidad de productos o servicios necesarios para cumplir el objetivo del estudio en función a los bienes que se comparan, y a partir de esto se cuantifican las entradas y salidas de cada sistema.
- **Límites del sistema:** Se debe determinar claramente qué unidades de procesos se incluirán en el estudio, con base en el objetivo establecido. En virtud de que el ACV es un estudio holístico, puede resultar muy extenso y complicado de llevar a cabo; es por esto que los límites del sistema deben ser claros y precisos, identificando qué procesos unitarios deberán incluirse dentro del ACV, respecto a la aplicación prevista del estudio (Güereca Hernández, 2006).

Inventario de ciclo de vida. Comprende la obtención de datos para cuantificar las entradas y salidas relevantes del sistema, tomando como referencia la Unidad Funcional.

Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV): En virtud a los resultados obtenidos en el análisis del inventario, la EICV valora los impactos ambientales generados por cada proceso unitario en la fabricación de los productos analizados. En este estudio el enfoque es específico para el Cambio Climático, lo cual constituye una Huella de Carbono.

Interpretación del Ciclo de Vida: La última etapa de ACV es la interpretación, en la cual se evalúan los resultados y se plantean conclusiones y recomendaciones para la toma de decisiones, de forma consistente con el objetivo y alcance del estudio (ISO, 2006). Consiste en la evaluación de las necesidades y posibles mejoras para reducir las cargas ambientales asociadas con el consumo de energía, de materias primas y el cambio climático que se genera durante el Ciclo de Vida de un sistema constructivo.

SOFTWARE openLCA versión 1.4.2

El uso de softwares de Ciclo de Vida para evaluación de los impactos, incluyendo la categoría de Cambio Climático y con ello huella de carbono; es de gran apoyo para lograr resultados en menor tiempo.

En este sentido, este proyecto utiliza el software de libre acceso openLCA para la evaluación de la Huella de Carbono.

Debido a lo anterior, en esta sección se describen los antecedentes de dicho software.

La idea del proyecto y software openLCA emergió en el 2006, la idea de Andreas Ciroth, Michael Srocka, and Jutta Hildenbrand era simple y básicamente se desarrollaba en tres principios. (GreenDelta GmbH, 2014).

1. Diseñar y construir un sistema modular para la valoración de la sustentabilidad y modelado de ciclo de vida, rápido, confiable y de alto rendimiento que permita un modelado visualmente atractivo y flexible para realizar modelos simples y sofisticados, en un lenguaje de programación estándar, utilizando únicamente Software de fuentes públicas disponibles.
2. Crear una comunidad de programación contributiva.
3. Crear módulos para el sistema, que permita que los usuarios creen sus propios módulos.

Un software libre y disponible para el ACV puede abrir muchas y diferentes nuevas aplicaciones en los campos de ciencias, educación, entrenamiento o revisión por pares. Además, publicar el código fuente permitirá la comparación profunda de los cálculos de los procedimientos.

Desde el inicio y hasta ahora el proyecto ha corrido a cargo exclusivamente de GreenDelta en Berlín, con un equipo central de desarrollo del openLCA. Siempre ha existido un alto interés público y una amplia comunidad externa que apoya las pruebas. También ha existido soporte externo proveniente de un consorcio de financiación y de diferentes investigaciones y proyectos industriales.

El sistema openLCA y el convertidor de formato openLCA son un software de código abierto, a disposición del público gracias a la licencia de Mozilla Public Licence, MPL 2.0.

El programa sirve para cualquier propósito y adaptarlo a las necesidades de cada quien, pueden distribuirse copias del programa y mejorar el programa siempre y cuando éstas mejoras sean públicas para que toda la comunidad se beneficie.

El programa es multiplataforma, la aplicación funciona en Windows, MacOS y Linux, no requiere conexión a internet y es completamente gratuito.

Está orientado a realizar Análisis de Ciclo de vida de un producto, huella de carbono y huella de agua, pero además da la posibilidad de desarrollar modelos económicos.

Dispone de la selección más amplia de bases de datos disponibles. Básicamente, cualquier base de datos en formato de datos EcoSpold o ILCS se puede importar al software y se pueden usar bases de datos no libres como GaBi y Ecoinvent, bajo pago por licencia de uso.

También es compatible con otros programas, ya que por medio de una extensión es posible exportar e importar el análisis correspondiente.

La base de datos del CMM se realizó en una versión previa a la utilizada en este estudio, sin embargo mediante el convertidor fue posible seguir actualizándola.

METODOLOGÍA

La descripción de las fases de investigación se explica a continuación.

FASES DEL ESTUDIO.

1. Recopilación de datos: Esta fase consistió en recopilar información proveniente de los proveedores seleccionados por la Sociedad Hipotecaria Federal (SHF), además de realizar la consulta de publicaciones especializadas o con base científica relacionadas con estudios de ACV de materiales constructivos. Esta primera fase requirió de más tiempo y dio como resultado el inventario de GEI, uso de electricidad, combustibles y materiales de fabricación; que se introduce en el software para modelar el impacto de cambio climático con un enfoque de ciclo de vida.
2. Generación del Inventario de materiales: Los datos obtenidos por parte de los proveedores fueron revisados y normalizados estableciendo un flujo de referencia de un kilogramo de cada material. De esta manera se podría observar el comportamiento del material antes de que fuese colocado en un sistema constructivo. En los casos del vidrio de 3mm, vidrio de 6mm, perfil de aluminio de 1 ½" y perfil de PVC de 1 ½", sus inventarios fueron obtenidos de estudios de ACV ajenos a este trabajo (Centro Mario Molina, 2013; para vidrio y Asif, Muneer, & Kubie, 2005; para aluminio y PVC), ya que no se pudo obtener la base de datos por parte de algún proveedor, ver Tabla 18.
3. Modelación en Software OPEN LCA: Se ingresaron los datos obtenidos en el inventario de los materiales al software OPEN LCA, en el cual se utilizó la base de datos para México del Centro Mario Molina (CMM) para obtener la huella de carbono de cada material. Los resultados se obtuvieron bajo la metodología CML 2001 y son expresados en kg de CO₂ eq. Se muestran en la Tabla 18.
4. Creación de Inventario de Sistemas Constructivos. Con base a los datos obtenidos en los materiales y junto con el inventario del Centro Mario Molina se crearon los sistemas constructivos. Para convertir de kilogramos a metros cuadrados se calculó la cantidad de kilogramos necesarios de cada material para construir un metro cuadrado de sistema (muro, losa y ventana), estas cantidades se obtuvieron directamente de proveedores, fichas técnicas y de las memorias de los inventarios realizados por el Centro Mario Molina; de esta manera se generaron los resultados de la Tabla 4.

Tabla 4. Tabla de equivalencias, peso en kg/m² de cada sistema constructivo.

LÍNEA BASE			
SISTEMAS CONSTRUCTIVOS	MATERIALES COMPONENTES DEL SISTEMA	kg/m ²	PESO DEL SISTEMA kg/m ²
Muro de concreto 10 cm de espesor	Acero	24.85	254.08
	Concreto en sitio de construcción $f'c=200$ kg/cm ³	226.60	
	Agua	2.63	
Losa de concreto	Acero	24.85	254.08
	Concreto en sitio de construcción $f'c=200$ kg/cm ³	226.60	
	Agua	2.63	
Ventana de aluminio	Perfil de aluminio	2.17	9.00
	Vidrio de 3mm	6.83	

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS	MATERIALES	kg/m ²	PESO DEL SISTEMA kg/m ²
Muro de block de concreto macizo 12*20*40	<i>Cemento Block</i>	200.00	228.51
	<i>Mortero</i>	19.28	
	<i>Acero</i>	0.73	
	<i>Mortero aplanado</i>	8.50	
Muro de block de concreto hueco 15x20x40 cm	<i>Cemento Block</i>	162.50	191.75
	<i>Mortero</i>	19.28	
	<i>Acero</i>	1.47	
	<i>Mortero aplanado</i>	8.50	
Muro de block de concreto hueco 15x20x40 cm con aislante EPS 1"	<i>Cemento Block</i>	162.50	192.15
	<i>Mortero</i>	19.28	
	<i>Acero</i>	1.47	
	<i>Mortero aplanado</i>	8.50	
	<i>Aislante EPS</i>	0.4064	
Muro de block de concreto hueco 15x20x40 cm con perlita mineral expandida con silicón.	<i>Cemento Block</i>	162.50	196.41
	<i>Mortero</i>	19.28	
	<i>Acero</i>	1.47	
	<i>Mortero aplanado</i>	8.50	
	<i>Perlita mineral expandida con silicón</i>	4.6625	
Muro de block de concreto hueco 15x20x40 con Aislante de polímero aminoplasto de espuma inyectado	<i>Cemento Block</i>	162.50	193.39
	<i>Mortero</i>	19.28	
	<i>Acero</i>	1.47	
	<i>Mortero aplanado</i>	8.50	
	<i>Aislante de polímero</i>	75	
Muro de block cerámico 11.5 x 20 x 32.5	<i>Ladrillo Cerámico</i>	93.79	125.82
	<i>Mortero</i>	21.6	
	<i>Mortero aplanado</i>	8.5	
Muro de block cerámico con EPS	<i>Ladrillo Cerámico</i>	65	100.45
	<i>Mortero</i>	21.6	
	<i>Mortero aplanado</i>	8.5	
	<i>Aislante EPS</i>	6.25	
Muro de block de adobe	<i>Adobe (Fabricado con cemento, tepetate, arena y calhidra)</i>	247.5	321.5
	<i>Mortero</i>	65.5	
	<i>Mortero aplanado</i>	8.5	
Muro de block de concreto celular 61x20x15	<i>Block de concreto celular</i>	69.12	102.6
	<i>Mortero</i>	4.1	
	<i>Mortero aplanado</i>	8.5	
Muro prefabricado con estructura de alambre y alma de poliestireno expandido	<i>Muro prefabricado</i>	2.67	102.67
	<i>Mortero aplanado (estuco)</i>	100	
Losa de vigueta de concreto y bovedilla de EPS*	<i>Bovedilla de EPS y canaleta</i>	5.70	205.00
	<i>Concreto en sitio de construcción f'c=200 kg/cm3</i>	197.30	
	<i>Agua</i>	2.00	
Ventana de PVC	<i>Perfil PVC</i>	1.88	14.18
	<i>Vidrio de 6mm</i>	12.30	

Para realizar este estudio se requirieron inicialmente datos reales de producción y transporte de las materias primas, manufactura de cada uno de los materiales, transporte, uso y construcción; es por ello que los datos del inventario se trataron de obtener en su mayoría por medio de algunos proveedores seleccionados. La información de los proveedores que no pudieron enviarnos los datos en tiempo y forma, fue sustituida por referencias bibliográficas con fortaleza científica y bases de datos de ciclo de vida internacionales.

Posterior al inventario cuantificado para cada material, se definieron los sistemas constructivos, se adaptó el inventario y se realizó la Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida para cada sistema constructivo, teniendo como unidad funcional un metro cuadrado (m²) por cada sistema.

Para poder realizar las comparaciones entre el sistema constructivo EcoCasa y el sistema constructivo tradicional mexicano se estableció una línea base, basándose en lo establecido en el Documento NAMA de Vivienda Sustentable (CONAVI 2011), para cada uno de los once sistemas constructivos utilizando un inventario de ACV realizado durante el año 2014 por el Centro Mario Molina (CMM) y mediante una herramienta computacional se pueden obtener los impactos de cada sistema con relación a los de la línea base ya con el transporte al lugar en donde será construida la EcoCasa.

DEFINICIÓN DE OBJETIVOS Y ALCANCE.

OBJETIVO DEL ACV DE 12 SISTEMAS CONSTRUCTIVOS EN MÉXICO.

Evaluar la huella de carbono del ciclo de vida de distintos sistemas constructivos en comparación con los de un sistema constructivo tradicional con el fin de distinguir el sistema constructivo óptimo para la edificación de viviendas que ayude a reducir emisiones de CO₂ eq.

FUNCIONES DEL SISTEMA.

Se analizará el desempeño en cambio climático, de los sistemas constructivos seleccionados y se realizará una comparación con un sistema tradicional, al cual se le denominará: línea base.

La línea base fue definida siguiendo lo establecido en el documento NAMA de Vivienda Sustentable (CONAVI, 2011).

Las funciones que realizan los sistemas de este análisis son como muro, como losa y como ventana.

UNIDAD FUNCIONAL.

La unidad funcional seleccionada para la evaluación de los sistemas constructivos fue de un metro cuadrado (1m²) de muro, 1m² de losa y 1m² de ventana.

Sin embargo, para poder trabajar con esta unidad funcional primero se evaluaron los materiales por kilogramo (kg) exceptuando aquellos obtenidos de bases científicas que son vidrio, aluminio y PVC, cuyos inventarios se identificaron directamente en m².

A continuación se describirán los doce sistemas constructivos seleccionados dentro de los cuales, los diez primeros son muros, el onceavo es losa y el doceavo es ventana. Los muros se compararán con el muro línea base, la losa con la losa línea base y la ventana con la ventana línea base:

1. 1 m² de muro de block de concreto macizo 12x20x40cm con mortero.
2. 1 m² de muro de block de concreto hueco 15x20x40cm con mortero.
3. 1 m² de muro de block de concreto hueco 15x20x40cm con aislante EPS de 1"
4. 1 m² de muro de block de concreto hueco 15x20x40cm relleno de perlita mineral con silicón.
5. 1 m² de muro de block de concreto hueco 15x20x40cm con aislante de polímero aminoplasto de espuma inyectado.
6. 1 m² de muro de block de adobe tradicional 10x15x30cm con mortero.
7. 1 m² de muro de block cerámico 11.5x20x32.5cm con mortero.
8. 1 m² de muro de block cerámico con EPS 15x20x40 y mortero.
9. 1 m² de muro de block de concreto celular 61x20x15cm
10. 1 m² de muro prefabricado de alambre y alma de poliestireno expandido de 2".
11. 1 m² de losa de viga de concreto y bovedilla de EPS con 20 cm de espesor.
12. 1 m² de ventana de PVC de 6.2 cm de espesor con vidrio de 6mm.

La línea base es la siguiente.

1. 1 m² de muro de concreto de 10 cm de espesor
2. 1 m² de losa de concreto maciza de 10 cm de espesor.
3. 1 m² de ventana de aluminio 1½" con vidrio de 3mm de espesor.

LÍMITES DEL SISTEMA

La huella de carbono analizada en este estudio considera un enfoque de ciclo de vida, cuyos límites van desde la extracción de materias primas hasta la construcción de los sistemas en los sitios seleccionados (Figura 6).

La extracción de materias primas comprende desde la extracción del material que se utiliza para crear un elemento determinado hasta el transporte a la fábrica incluyendo los impactos por uso de combustibles en este proceso, la manufactura implica todos aquellos procesos o requerimientos por el que tiene que pasar la materia prima junto con químicos y otros elementos como electricidad, agua, combustibles y químicos para crear el nuevo material, el empaquetado no se utilizó ya que la mayoría de los proveedores no nos entregaron lo relacionado con el empaquetado de sus productos, el transporte es la salida del sistema construido, por ejemplo muro de block de concreto macizo, a la zona en donde se va a construir y el sistema de construcción incluye el uso del material producto de fábrica con otros elementos para crear el sistema constructivo.

Es importante destacar que el transporte de los materiales de construcción desde las ciudades donde se fabrican hasta el lugar donde se realizará la construcción de cada sistema, constituye una parte fundamental de este análisis, sin embargo, se manejó como un módulo externo desarrollado en una herramienta con programación de visual basic en donde se puede elegir la distancia de la construcción con el objetivo de permitir al usuario que pueda sumar las emisiones GEI generadas por transporte que corresponden a la ciudad de construcción (o a la ubicación más cercana) ver Figura 6. En la Figura 45, Figura 46 y Figura 47 se muestra mediante el uso de un ejemplo el funcionamiento de la herramienta.



Figura 6. Análisis de Ciclo de Vida.

Límites Temporales

El año de referencia para los datos utilizados en la elaboración del inventario de ciclo de vida corresponderán a la información representativa de la producción de cada material proveniente de la fábrica durante el año 2014, y las referencias bibliográficas poseen distintos rangos siendo 2002 la más antigua y 2015 la más nueva.

Límites Geográficos

Se delimita como área de estudio el territorio nacional mexicano.

CATEGORÍAS DE IMPACTO.

En este estudio nos enfocaremos al análisis de la huella de carbono, utilizando la categoría de cambio climático (Climate Change – Global Warming Potential) de la **metodología CML2001**, modelada en el software de libre acceso en openLCA.

SOFTWARE UTILIZADO.

El software utilizado fue el openLCA versión 1.4.2, creado y mantenido desde el 2006 por GreenDelta© Berlín.

La base de datos principal fue la otorgada por el Centro Mario Molina (CMM), la cual posee datos de ecoinvent adaptados para la república mexicana y base de datos U.S. Life Cycle Inventory Database (uslci).

PROCEDIMIENTO DE RECOPIACIÓN DE DATOS.

Para realizar este estudio se requirieron datos reales de producción y transporte de las materias primas, manufactura cada uno de los materiales seleccionados, transporte, uso, mantenimiento, desmantelamiento y disposición final.

En su mayoría los datos recopilados provienen de proveedores seleccionados por la SHF, sin embargo, aquellos que no tenían registro de sus emisiones al ambiente fueron sustituidos por material bibliográfico, principalmente artículos científicos en ésta área.

CONSIDERACIONES DEL ESTUDIO.

Con respecto al reparto del consumo energético, se incluyó el proceso de producción dejando fuera la energía de oficinas, construcción de edificios corporativos, fábricas o talleres y construcción de maquinaria (tal como lo recomienda la metodología de ACV).

Los flujos obtenidos para los impactos de cambio climático fueron principalmente de Energía, el mix eléctrico 2014 otorgado por el CMM ya posee los impactos por producción y consumo, sin embargo los flujos de los combustibles fósiles como gas natural poseen los impactos por producción y no por consumo es por ello que éstos se obtuvieron mediante la CONUEE, 2009 y están referidos en cada tabla de material.

Las consideraciones realizadas en la elaboración del Inventario de Ciclo de Vida se presentan en cada una de las etapas correspondientes, dentro de la sección Análisis de Inventario.

ANÁLISIS DEL INVENTARIO DE HUELLA DE CARBONO PARA LOS MATERIALES UTILIZADOS EN LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS.

En el cálculo del inventario se consideraron tres etapas: extracción de materia prima, fabricación de materiales y construcción de sistemas constructivos las cuales se describen a continuación y se presentan los datos utilizados para la modelación de la huella de carbono en el software openLCA.

Para calcular el impacto de los sistemas constructivos, se analizaron primeramente los materiales que los constituyen y en este sentido, los datos proporcionados por los proveedores no fueron uniformes, ya que hubo quienes reportaron insumos a partir de la producción anual o por tonelada producida. En el caso de energía en ciertos casos reportaron en kWh, MJ o GJ.

Para realizar un correcto análisis se procedió a estandarizar toda la información de los materiales tomando como referencia un kilogramo (kg) de material y usando el mismo sistema de unidades para homogeneizar los datos de los procesos, generar el inventario y posteriormente evaluar el impacto en el openLCA.

EXTRACCIÓN DE MATERIA PRIMA PARA CADA MATERIAL.

Esta etapa incluye la extracción de cada una de las materias primas que conforman los materiales que posteriormente serán sistemas constructivos, así como también incluye datos de electricidad, agua empleada, transporte vehicular y marítimo, así como las salidas del proceso.

FABRICACIÓN DE CADA MATERIAL.

Se refiere al proceso de fabricación de cada material, con las correspondientes entradas y salidas. Éstos se obtuvieron con base en los datos proporcionados por los proveedores seleccionados por SHF y se realizaron los cálculos pertinentes para obtener las cantidades de entradas y salidas correspondientes a la referencia de un kilogramo. Todos estos datos se presentan en los inventarios de ciclo de vida mostrados de la Tabla 5 a la Tabla 17.

Dentro de la fabricación de los materiales las principales fuentes de energía son la electricidad y gas natural, sin embargo en algunos otros se encuentran combustóleo, Diesel, gas LP, Gasolina y Aceite. La electricidad es calculada utilizando el flujo de mix eléctrico para México proporcionado por el CMM ya que dentro de sus procesos posee producción y consumo, mientras que el gas natural y los demás combustibles fósiles son calculados utilizando la misma base de datos pero se calcula el consumo aparte ya que no está incluida en la base de datos.

CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS.

Con base en los resultados obtenidos en la fabricación de cada material (inventarios de ciclo de vida de materiales de la Tabla 5 a la Tabla 17), se obtiene mediante fichas técnicas la cantidad de piezas necesarias para fabricar un metro cuadrado de cada material, por ejemplo para un muro de adobe del proveedor seleccionado se requieren 33 piezas con un peso de 7.5 kg cada pieza y un total de 65.5 kg de mortero; para un muro de block cerámico del proveedor seleccionado se requieren 14.21 piezas con un peso de 6.6 kg por pieza con un mortero total de 23.53 kg y así para cada uno de los materiales. De esta manera se obtiene el peso por metro cuadrado (kg/m^2) y este dato es introducido al software para realizar los cálculos. Es importante destacar que los elementos necesarios para la construcción de un metro cuadrado de cada sistema (muro, losa o ventana), se especifican en la Tabla 4.

La siguiente sección presenta la descripción de los sistemas constructivos y las fuentes de información. Cabe mencionar que los diagramas de flujo fueron proporcionados por los proveedores y únicamente se les dio formato, aquellos materiales que no posean un diagrama es porque el proveedor no lo otorgó.

Muro de block hueco con aislante EPS 1”.

Proveedor de aislante EPS: FANOSA S.A. de C.V.

Ubicación de Planta: Hermosillo, Sonora.

Material seleccionado: Block de cemento hueco 15x20x40cm con 1 m² aislante de EPS de 1” de 16 kg/m³

Peso: 0.4064 kg/m² (fuente: Erika Ruiz Jiménez Investigación y desarrollo Fanosa, correo electrónico 03/11/2015)

Pzas/m²: 1 pza de (1.00x 1.00). Tomado del Anexo."A" Ficha 4.

Mortero para Aplanado: 8.5 kg/m² (fuente: CMM 2014)

Peso promedio del muro con mortero y aplanado: 192.15 kg/m²

Materiales utilizados para EPS:

Las materias primas son: monómero de estireno y pentano, la materia prima proviene de Altamira Tamaulipas, de la planta de Styropeck de Grupo Alfa.

La mezcla utilizada para la fabricación de EPS es: 96% pentano y 4% monómero de estireno.

Emisiones producto de la fabricación de EPS: Las emisiones GEI se obtuvieron mediante el consumo reportado de gas natural utilizando la metodología para la cuantificación de GEI de la CONUEE, 2009.

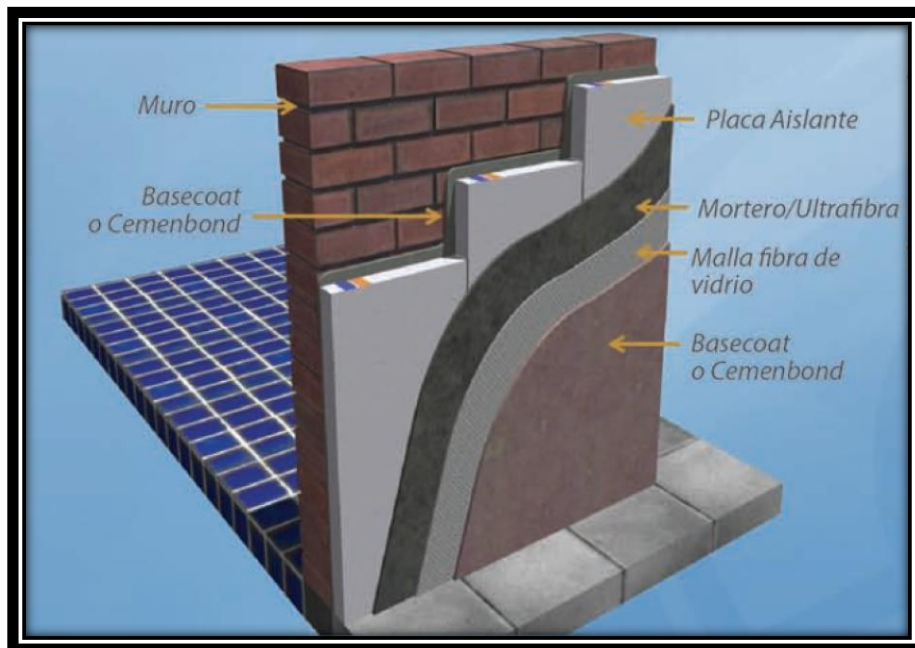


Figura 7. Imagen representativa de block con EPS. Fuente: FANOSA, 2015.

INVENTARIO DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE AISLANTE DE EPS.

Tabla 5. Inventario de 1 kg de Aislante EPS.

ENTRADA	UNIDAD	CANTIDAD	FUENTE DE INFORMACIÓN	FUENTE (material-base de datos)
Electricidad Usada	MJ	1.11	Electricity, national mix 2014 - MX	Proovedor- CMM
Agua	kg	2.88	Water, from well – MX	Proveedor- CMM
Gas natural	MJ	11.35	Natural gas, at industrial user - MX	Proveedor- CMM
Monómero de estireno	kg	0.94	Ethylbenzene styrene, at plant - RNA	Proveedor- Uslci
Pentano	kg	0.06	Pentane	Proveedor- CMM
Camión de monómero de estireno de Tamaulipas a Hermosillo Sonora, 1993.4 km	tkm	1.993400	Transport, mix, diesel powered (road, train and water)-MX	Proveedor- CMM
SALIDA*	UNIDAD	CANTIDAD	FUENTE DE INFORMACIÓN	FUENTE
Dióxido de Carbono*	kg	0.636735	Carbon dioxide	Proveedor- CMM
Metano*	kg	0.00001135	Methane	Proveedor- CMM
Óxido Nitroso*	kg	0.000001135	Nitrogen oxides	Proveedor- CMM
*Estos datos fueron obtenidos en base al uso del gas natural mediante el uso de CONUEE, 2009. http://www.conuee.gob.mx/work/files/metod_gei_cons_evit.pdf				

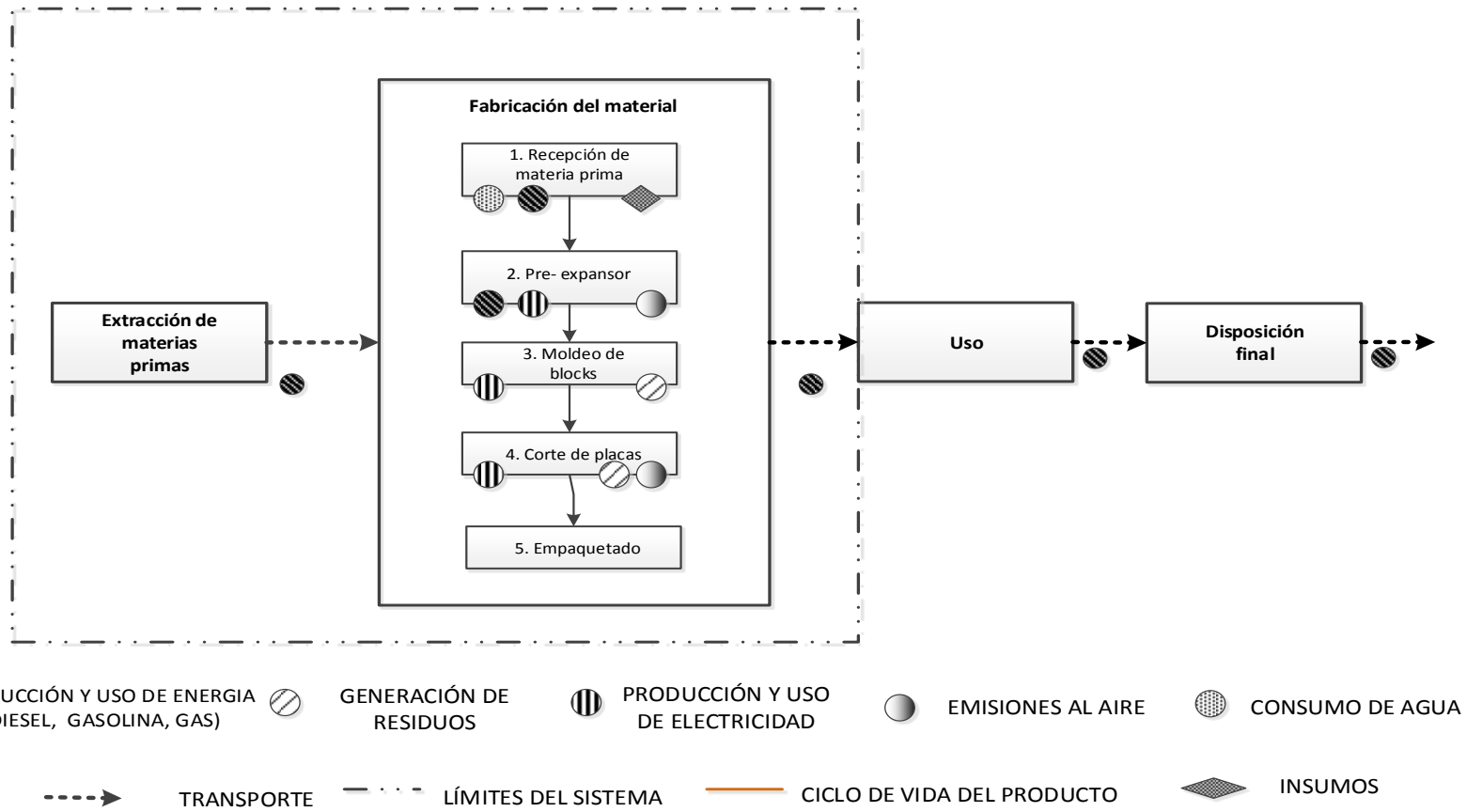


Figura 8. Diagrama de Flujo de aislante EPS

Muro de block hueco con aislante de perlita mineral expandida con silicón.

Proveedor de perlita mineral expandida con silicón: TERMOLITA S.A. de C.V.

Ubicación de Planta: Santa Catarina, Nuevo León.

Material seleccionado: Block de cemento hueco 15x20x40cm (12.5 pzas/m² fuente:CMM) con 1 m² aislante de perlita mineral expandida con silicón (termosil) equivalente.

Peso: 0.373 kg de termosil/pza (fuente Ignacio Belloc mensajes de celular 16/12/2015).

Peso/m²: 4.6625 kg/m² Tomado del Anexo "A" **Ficha 3**.

Mortero para Aplanado: 8.5 kg/m² (fuente: CMM 2014).

Peso promedio del muro con mortero y aplanado: 196.41 kg/m².

Materiales utilizados para la producción de termosil:

Las materias primas son silicón, perlita, y polipropileno. Las minas de perlita se localizan en el estado de Durango de donde son extraídas hacia la planta que se encuentra en el municipio de Santa Catarina, Nuevo León.

La perlita tiene vida útil indeterminada, ya que es un mineral que no se degrada. El proceso de expansión consta de extraer el agua química atrapada en el mineral crudo, así que el producto expandido tiene la misma composición química que cuando se encuentra en el suelo en su estado natural. No se pudre ni se degrada, es incoloro e inerte. La perlita mineral expandida con silicón tiene como nombre comercial "Termosil", ésta distribuye 50% en las plantas y 50% se surte directo al cliente. Los clientes de la zona Pacifico, son surtidos desde la planta de Mexicali que es aproximadamente un 10% del volumen total, sin embargo como es muy poco el porcentaje se asume que todo parte de la planta de Santa Catarina Nuevo león.

La mezcla utilizada para la producción de termosil es: 99%Silicón + 1% perlita mineral expandida.

Emisiones producto de la fabricación de Termosil: Las emisiones GEI se obtuvieron mediante el consumo reportado de gas natural utilizando la metodología para la cuantificación de GEI de la CONUEE, 2009.



Figura 9. Imagen representativa de muro de block hueco con Termosil. Fuente: Termolita, 2013.

INVENTARIO DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE AISLANTE DE PERLITA MINERAL EXPANDIDA CON SILICÓN.

Tabla 6. Inventario de 1 kg de Perlita mineral expandida con silicón.

ENTRADA	UNIDAD	CANTIDAD	FUENTE DE INFORMACIÓN	FUENTE (material-base de datos)
Electricidad Usada	MJ	0.2016	Electricity, national mix 2014 - MX	Proveedor- CMM
Agua	kg	0.12	Water, from well – MX	Proveedor- CMM
Gas natural	MJ	5.6835	Natural gas, at industrial user - MX	Proveedor- CMM
Silicón	kg	0.00932	Silicon	Proveedor- CMM
Perlita	kg	1.052631579	Perlite, in ground	Proveedor- CMM
Camión de Perlita de Durango a Santa Catarina Nuevo León, 659 km*	tkm	0.6937	Transport, mix, diesel powered (road, train and water)-MX	Proveedor- CMM
SALIDA	UNIDAD	CANTIDAD	FUENTE DE INFORMACIÓN	FUENTE
Dióxido de Carbono**	kg	0.31884435	Carbon dioxide	Proveedor- CMM
Metano**	kg	0.0000056835	Methane	Proveedor- CMM
Óxido Nitroso**	kg	0.00000056835	Nitrogen oxides	Proveedor- CMM
<p>*El proveedor posee otra planta en Mexicali, sin embargo, esta planta sólo se ocupa del 10% de la producción anual total por lo que el estudio únicamente se enfocó en la planta de Santa Catarina Nuevo León, Monterrey. ** Estos datos fueron obtenidos en base al uso del gas natural mediante el uso de CONUEE, 2009. http://www.conuee.gob.mx/work/files/metod_gei_cons_evit.pdf</p>				

Perlita mineral

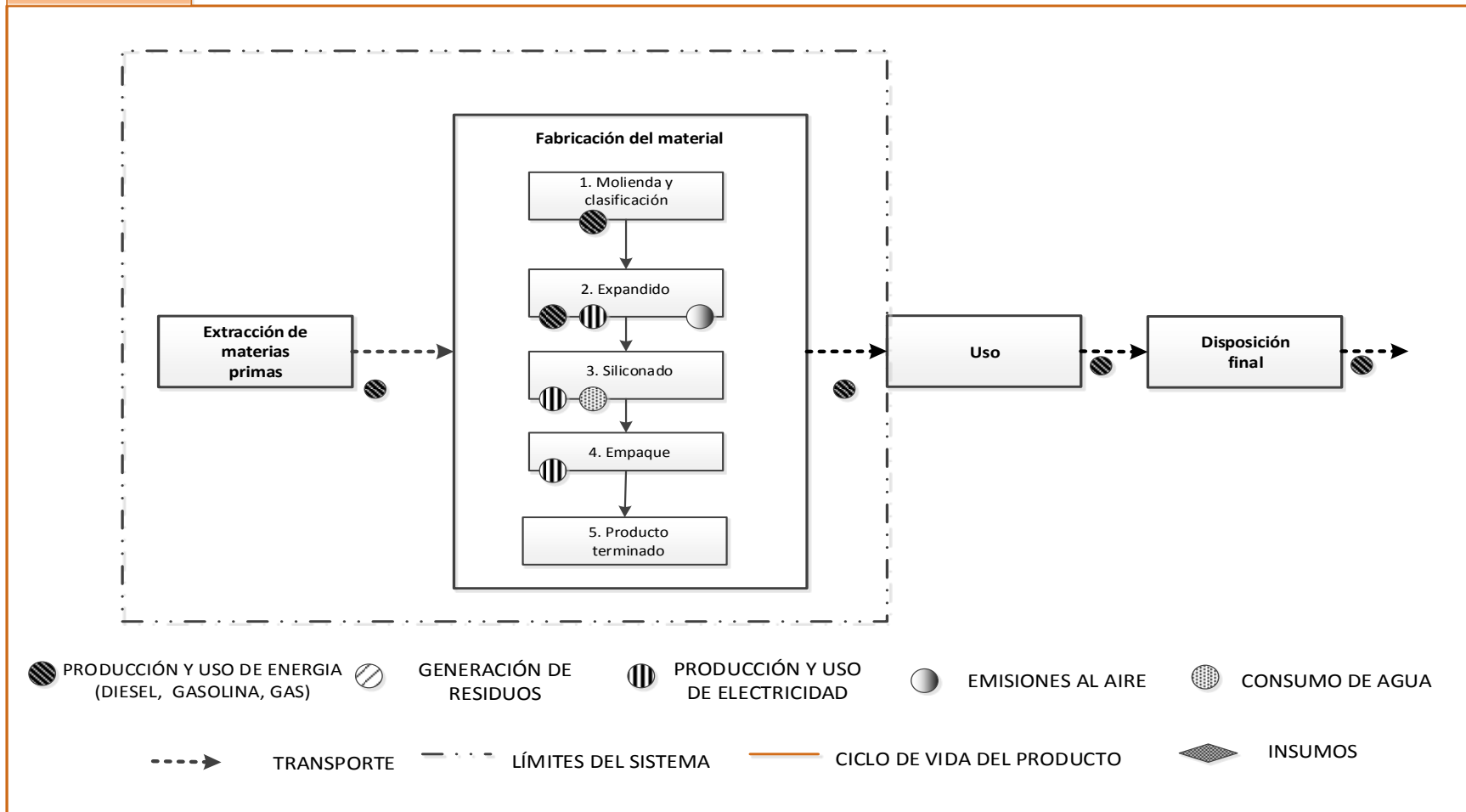


Figura 10. Diagrama de Flujo de perlita mineral expandida.

Muro de block hueco con aislante en espuma para mampostería.

Proveedor de aislante en espuma: Core Foam.

Ubicación de la Planta: Knoxville, Tennessee.

Proveedor en México: PT Ezfe S.A. de C.V. Sonora Hermosillo.

Material seleccionado: Block de cemento hueco 15x20x40cm con 1 m² aislante de polímero

Peso (kg/m²): 0.403226 kg/m² de aislante de polímero en block de 15x20x40.

Mortero para Aplanado: 8.5 kg/m² (fuente: CMM, 2014).

Peso promedio del muro con mortero, aplanado y aislante: 193.39 kg/m².

Materiales utilizados en la producción de aislante de polímero:

Aislante de polímero Masonry Foam Insulation es un aislante en espuma categorizado como un aislante de aminoplastos ya que está basado en aminos químicos, o en nitrógenos que contienen polímeros (no hidrocarburos).

La resina de aminoplastos contiene: 40% de Methanol, 30% de Urea y 20% Agua. Esta resina se fabrica en forma de polvo y es enviada junto con el catalizador espumante a los clientes, los cuales reconstituyen la resina y el catalizador con agua, entonces producen el aislante espumante en el sitio de trabajo en donde se seca/cura al mismo tiempo que su instalación en el ensamblaje del muro.

El catalizador espumante está formado por 50% de agua, 30% de ácido sulfónico y 20% de ácido fosfórico. 2.3 kg de catalizador sin agua son utilizados para procesar 25 kg de Aislante de polímero, es decir, se utiliza 0.1 kg de catalizador por kilogramo de resina en polvo Aislante de polímero.

Las materias primas son enviadas desde Knoxville, Tennessee a México a la fábrica PT Ezfe S.A. de C.V. Sonora, Hermosillo en donde el proveedor mexicano de Aislante de polímero se encarga de llevar el producto al sitio de los trabajos y mezclarlo con agua dentro de un compresor de aire que utiliza gasolina y colocarlo en dentro del muro de block hueco 15x20x40.

Emisiones producto de la fabricación de Aislante de polímero Las emisiones GEI se obtuvieron mediante el consumo reportado de gas natural utilizando la metodología para la cuantificación de GEI de la CONUEE, 2009.



Figura 11. Imagen representativa de muro de block hueco con Aislante de polímero. Fuente: Proveedor.

INVENTARIO DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE AISLANTE DE POLÍMERO.

Tabla 7. Inventario de 1 kg de Aislante de Aislante de polímero.

ENTRADA	UNIDAD	CANTIDAD	FUENTE DE INFORMACIÓN	FUENTE (material-base de datos)
Agua	kg	0.2	Tap water at construction site, production and supply, adapted-MX	Proveedor – CMM
Metanol	kg	0.4	Methanol, at plant - MX	Proveedor- CMM
Urea	kg	0.3	Urea formaldehyde resin, neat, 65% solids-RNA	Proveedor- uslci
Hidróxido de amonio	kg	0.091	Tetramethyl ammonium hydroxide	Proveedor- CMM
Hidróxido de sodio	kg	0.0033	Sodium hydroxide, 50% in H2O, production mix at plant- RER	Proveedor –
Sílica Amorfa	kg	0.0033	Silicone product, at plant (copy)	Proveedor - CMM
Sulfato de Amonio	kg	0.0033	Dummy_Ammonium sulfat, at plant- RNA	Proveedor- uslci
Gas Natural	kg	10.5587	Natural gas, at industrial user - MX	Proveedor- CMM
Camión de Transporte	kg	3.298966	Transport, mix, diesel powered (road, train and water)-MX	Proveedor- CMM
SALIDA *	UNIDAD	CANTIDAD	FUENTE DE INFORMACIÓN	FUENTE
Dióxido de Carbono*	kg	0.59234307	Carbon dioxide	Proveedor - CMM
Óxido Nitroso*	kg	1.05587E-06	Nitrogen oxides	Proveedor - CMM
Metano*	kg	1.05587E-05	Methane	Proveedor - CMM

* Estos datos fueron obtenidos en base al uso del gas natural mediante el uso de CONUEE, 2009.
http://www.conuee.gob.mx/work/files/metod_gei_cons_evit.pdf

Muro de block de adobe industrializado.

Proveedor de adobe: Paquimé

Ubicación de oficina: Cuernavaca, Morelos

Material seleccionado: Tabique de Adobe hecho en sitio (dimensiones 10x15x30)

Peso: 7.5 kg (fuente: Paquimé correos electrónicos)

Pzas/m² con junta de mortero de 1cm: 33 pzas (fuente: Paquimé correos electrónicos)

Mortero para juntas de 1 cm de espesor: 65.50 kg/m² (fuente: Paquimé correos electrónicos)

Mortero para Aplanado: 8.5 kg/m² (fuente: CMM 2014)

Peso promedio del muro con mortero y aplanado: 321.50 kg/m²

Materiales utilizados para la fabricación del adobe:

Los materiales principales son: tepetate de banco, arena de mina, calhidra y cemento. Además se utilizan diésel, aceite y agua para esta mezcla. Los bancos de tepetate utilizado se encuentran a 25 km a la redonda del sitio en el que se va a realizar el block. Todos los materiales utilizados provienen de lugares cercanos dentro de la República Mexicana.

Las mezcla utilizada es: 79% tepetate de banco, 12% arena de mina, 7% cemento y 2% calhidra.

Emisiones producto de la fabricación del adobe: Las emisiones GEI se obtuvieron mediante el consumo reportado de diésel utilizando la metodología para la cuantificación de GEI de la CONUEE, 2009. Asimismo, el proveedor envió datos de papel (deshecho de bultos) sin embargo, no pudimos obtener información del uso que se le da a esta materia por lo que no fue incluido en el estudio de huella de carbono.



Figura 12. Imagen representativa de muro de adobe. Fuente: Google Images,2015.

INVENTARIO DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE BLOCK DE ADOBE DE 10x15x30.

Tabla 8. Inventario de 1kg de block de adobe.

ENTRADA	UNIDAD	CANTIDAD	FUENTE DE INFORMACIÓN	FUENTE (material-base de datos)
Agua	kg	0.205965909	Water, from well – MX	Proveedor- CMM
Diesel	MJ	0.0645	Diesel, combusted in industrial boiler.	Proveedor- CMM
Aceite	MJ	0.003108333	Heavy fuel oil, burned in industrial furnace 1MW	Proveedor- CMM
Tepetate de banco	kg	1.2	Limestone at quarry	Proveedor- CMM
Arena	kg	0.175	Sand at mine	Proveedor- CMM
Calhidra	kg	0.034375	Quicklime at plant	Proveedor- CMM
Cemento	kg	0.104166667	Portland cement, at plant	Proveedor - CMM
Camión de Tepetate de banco, 25 km a zona de construcción *	tkm	0.03000000	Transport, mix, diesel powered (road, train and water)-MX	Proveedor- CMM
SALIDA *	UNIDAD	CANTIDAD	FUENTE DE INFORMACIÓN	FUENTE
Óxido de nitrógeno	kg	0.00477945	Nitrogen oxides	Proveedor- CMM
Dióxido de Carbono	kg	3.87E-08	Carbon dioxide	Proveedor- CMM
Metano	kg	1.935E-07	Methylene diphenyl diisocyanate	Proveedor- CMM
<p>* El proveedor comenta que el adobe se realiza en el mismo sitio en el que se construirá el inmueble por lo que buscan algún banco de tepetate que este a menos de 25 km a la redonda para poder generar su materia prima.</p> <p>**El proveedor no dio datos de su horno por lo que la información relacionada con los combustibles fue utilizada para obtener las emisiones de Cambio Climático mediante el uso de la metodología de la CONUEE, 2009 http://www.conuee.gob.mx/work/files/metod_gei_cons_evit.pdf</p>				

Block adobe

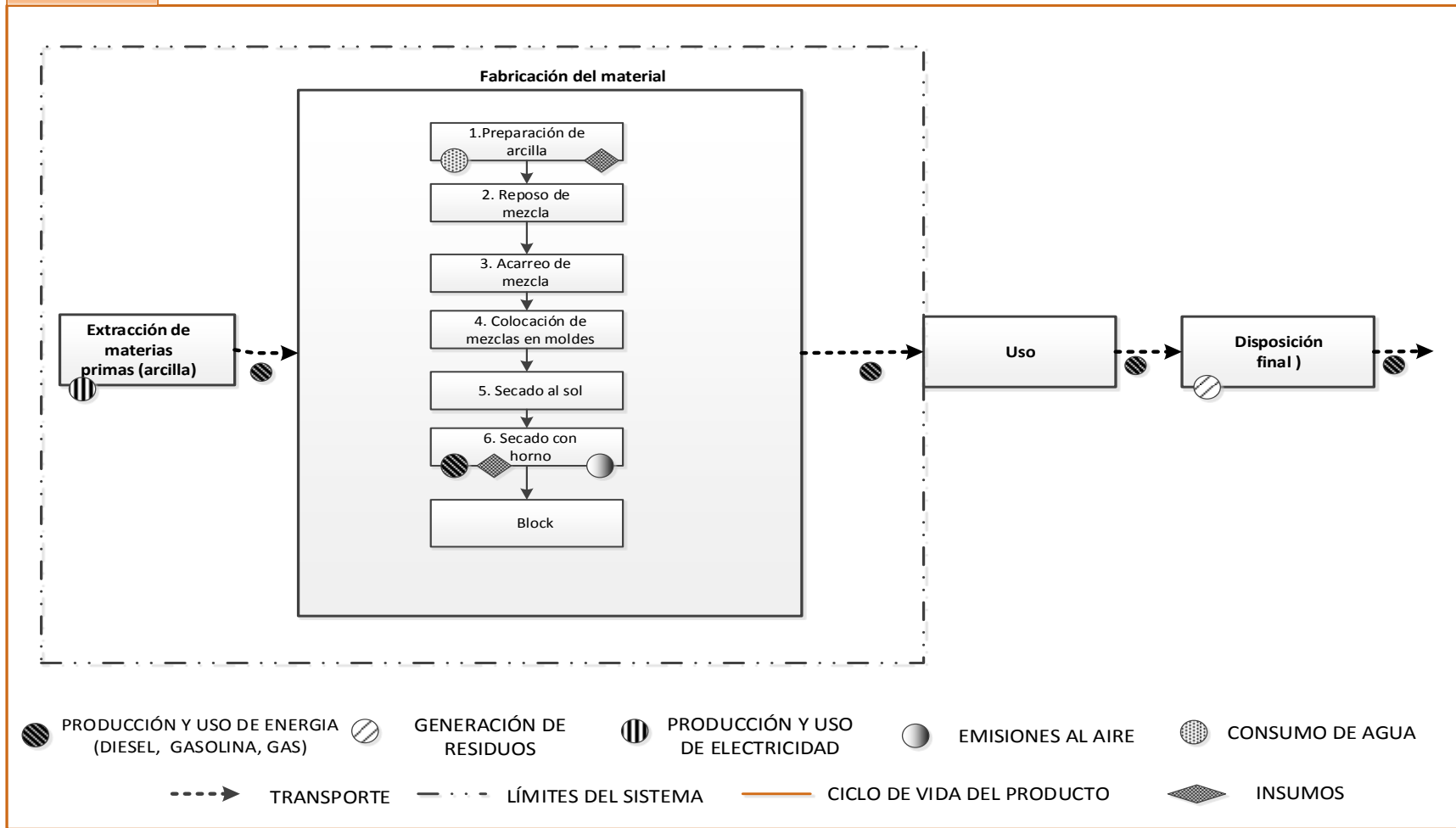


Figura 13. Diagrama de Flujo del block de adobe

Muro de block de ladrillo cerámico.

Proveedor: Novaceramic

Ubicación de la Planta: Tlaxcala.

Material seleccionado: Novablock Multiperforado 11.5 (11.5x20x32.5 cm).

Peso: 6.6 kg tomado del Anexo "A"

Ficha 1.

Pzas/m² con junta de mortero de 1cm: 14.21 pzas. Tomado del Anexo "A"

Ficha 1.

Mortero para juntas de 1 cm de espesor: 14.12 l/m² = 19.58 kg/m² Tomado del Anexo "A"

Ficha 1.

Mortero para juntas de 1 cm de espesor: 14.12 l/m² = 23.53 kg/m² (valor 25 kg de mortero húmedo= 15 litros). (fuente: <http://www.todoexpertos.com/categorias/casa-y-jardin/albanileria/respuestas/2375166/peso-del-mortero>).

Mortero para Aplanado: 8.5 kg/m² (fuente: CMM, 2014).

Peso promedio del muro con mortero y aplanado: 121.87 kg/m² Tomado del Anexo "A"

Ficha 1. Peso promedio del muro con mortero y aplanado (suma de otras fuentes): 125.82 kg/m².

Materiales utilizados en la fabricación del ladrillo:

Los materiales principales son la Arcilla Genérica la cual se encuentra a 15 km de la planta, la Arcilla Honey la cual se encuentra a 12.5 km de la planta, y la Arcilla Ahuacatlán que se encuentra a 97 km de la planta (estas tres distancias se suman y dan un total de 124.5 km de distancia total para todas las arcillas). La arcilla genérica es la de mayor uso y le da consistencia a la mezcla a la vez que sirve para poder extruir y secar mejor el ladrillo, Las dos arcillas plásticas sirven para darle plasticidad y manejabilidad al ladrillo. También es la arcilla que una vez cocida da la resistencia necesaria al ladrillo así como la baja absorción.

Las mezclas más utilizadas por Novaceramic son:

70% arcilla genérica, 15% Honey y 15% Ahuacatlán y 80% arcilla genérica, 10% Honey y 10% Ahuacatlán.

Otro de los materiales importantes es el papel el cual se utiliza en un 5% como materia prima (aditivo) en la mezcla de arcillas para fabrica el ladrillo, es decir se introduce en la mezcla al principio del proceso, se seca y se quema junto con la arcilla. Este "lodo de papel" se trae de una papelera en ciudad Sahagún, en el estado de Hidalgo, a unos 80 km de la planta. Su función es doble: proporcionar un mejor secado al ladrillo gracias a las fibras de celulosa ya que en los hornos aportan cierto poder calorífico que permite el ahorro del Gas Natural y mejorar el proceso de fabricación de Novaceramic.

Emisiones producto de la fabricación del ladrillo: Las emisiones GEI se obtuvieron mediante el consumo reportado de gas natural utilizando la metodología para la cuantificación de GEI de la CONUEE, 2009.

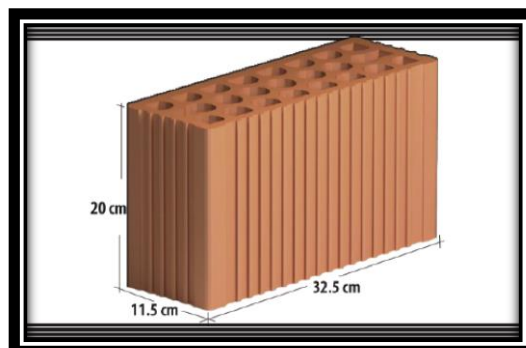


Figura 14. Imagen representativa de block cerámico multiperforado 11.5, Fuente: Novaceramic, 2015.

INVENTARIO DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE BLOCK CERÁMICO 11.5x20x32.5 cm.

Tabla 9. Inventario de 1 kg de Block cerámico.

ENTRADA	UNIDAD	CANTIDAD	FUENTE DE INFORMACIÓN	FUENTE (material-base de datos)
Electricidad Usada	MJ	0.158450704	Electricity, national mix 2014 - MX	Proveedor- CMM
Vapor de agua	kg	0.06338028	Water vapour	Proveedor- CMM
Agua	kg	0.078169	Water, from well – MX	Proveedor- CMM
Gas natural	MJ	1.848591549	Natural gas, at industrial user - MX	Proveedor- CMM
Arcilla Total *	kg	0.394190141	Clay at quarry – MX	Proveedor- CMM
Arena *	kg	1.082746479	Sand at mine – MX	Proveedor- CMM
Papel **	kg	0.031690140845	Paper, recycling, with deinking, at plant/RER U	Proveedor- Ecoinvent
Camión de arcilla total de distintas ubicaciones a Tlaxcala, 124.5 km ***	tkm	0.120673376623	Transport, mix, diesel powered (road, train and water)-MX	Proveedor- CMM
SALIDA *0*	UNIDAD	CANTIDAD	FUENTE DE INFORMACIÓN	FUENTE
Dióxido de Carbono	kg	0.104	Carbon dioxide	Proveedor -CMM
Metano	kg	1.84859E-06	Methane	Proveedor -CMM
Óxido Nitroso	kg	1.84859E-07	Nitrogen oxides	Proveedor -CMM
<p>* Este tipo de block se compone en un 73% de Arcilla arenosa, en un 26% por tres diferentes arcillas plásticas y en 1% por Caolin. Ya que no se hallaron base de datos tan específicos, la arcilla arenosa se suplió por arena en su totalidad, la Arcilla Plástica y el caolín se sumaron y suplieron por arcilla con base de datos del CMM.</p> <p>** El papel juega un papel importante en la producción, sin embargo no se sabe qué tipo de papel es por lo que se optó por papel reciclado entintado traído de la base de datos de Ecoinvent.</p> <p>*** Al ser diferentes las arcillas provienen de distintos puntos por lo que se establece un promedio de 25 km. Para poder insertar el kilometraje por toneladas, primero se realizó la conversión de las distancias por la tonelada de cada arcilla y posteriormente se realizó una sumatoria quedando el transporte total como se encuentra en la tabla.</p> <p>*0* Con la información proveniente del uso de gas natural de sus calderas y hornos se obtuvieron los impactos de Dióxido de Carbono, óxido nitroso y gas metano por medio de CONUEE, 2009 http://www.conuee.gob.mx/work/files/metod_gei_cons_evit.pdf</p>				

Block cerámico

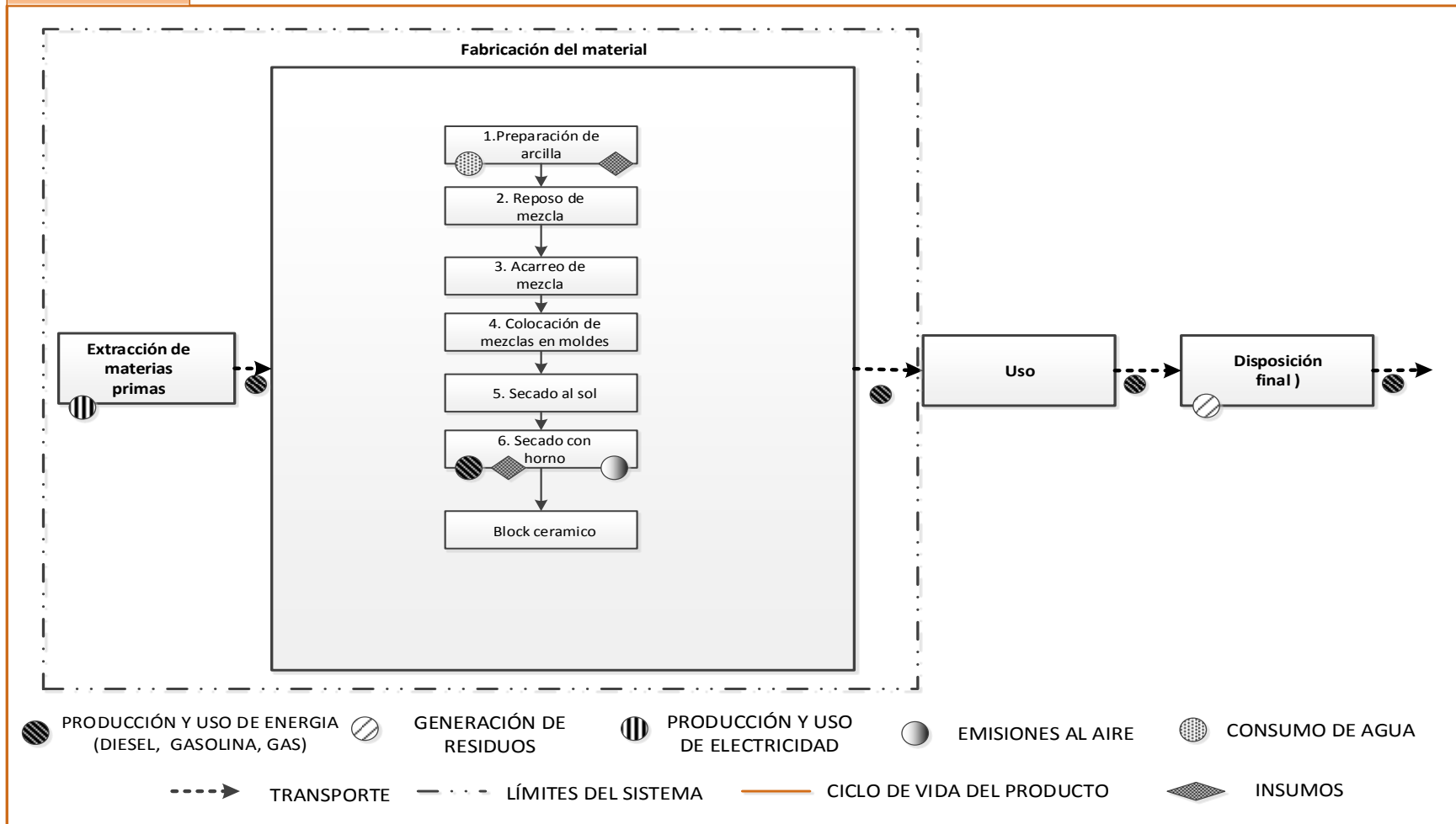


Figura 15. Diagrama de Flujo del block cerámico.

Muro de block de ladrillo cerámico con EPS

Proveedor: Ladrillera Santa Clara S.A. de C.V.

Ubicación de Oficina y Ventas: Garza García, Nuevo León.

Material seleccionado: Block de Cerámico con EPS Bioblock verde 15_(12.5 pzas/m² Tomado de Anexo "A" Ficha 2.

Peso: 5.7 kg/pza tomado de Anexo "A" Ficha 2.

Peso/m²: 71.25 kg/m² Tomado de Anexo "A" Ficha 2.

Mortero para Aplanado: 8.5 kg/m² (fuente: CMM, 2014).

Peso promedio del muro con mortero y aplanado: 100.45 kg/m².

Materiales utilizados para la producción de ladrillo cerámico con EPS:

Los materiales son de origen nacional. La mezcla utilizada es: 91% de block cerámico y 9% de EPS.

Emisiones producto de la fabricación de ladrillo con EPS: A falta de información por parte del proveedor se adaptaron los resultados del block cerámico y del aislante EPS. Las emisiones GEI se obtuvieron mediante el consumo reportado de gas natural utilizando la metodología para la cuantificación de GEI de la CONUEE, 2009.



Figura 16. Imagen representativa de BioBlock 15 EPS. Fuente: Santa Clara, 2015.

INVENTARIO DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE BLOCK CERÁMICO CON EPS de 15x20x40 cm.

Tabla 10. Inventario de 1 kg de Block cerámico con EPS.

ENTRADA	UNIDAD	CANTIDAD	FUENTE DE INFORMACIÓN	FUENTE (material-base de datos)
Fabricación de ladrillo cerámico Novaceramic	kg	0.9123	Fabricación de ladrillo cerámico	Proveedor- CMM
Fabricación de aislante EPS de Fanosa	kg	0.0877	Fabricación de aislante EPS	Proveedor- CMM
SALIDA*	UNIDAD	CANTIDAD	FUENTE DE INFORMACIÓN	FUENTE
Ladrillo cerámico con aislante EPS	kg	1	Proveedores anteriores.	Proveedor- CMM
<ul style="list-style-type: none"> Las entradas y salidas necesarias para fabricar éstos materiales se describieron en las Tablas 9 y 5. <p>Nota: Ya que no fue posible obtener información de éste proveedor, se tomó la información proveniente de la fabricación del ladrillo cerámico de Novaceramic y del aislante EPS de Fanosa, adecuando el peso según la ficha técnica adquirida del ladrillo cerámico bioblock15 verde Santa Clara de Ladrillera Santa Clara.</p> <p>Este material no presenta salidas ya que se están tomando en cuenta las mismas emisiones del ladrillo y del EPS, que incluyen: Diesel, Gas natural y transporte.</p>				

Muro de Block de Concreto Celular

Proveedor de Block de Concreto Celular: XELLA de México S.A. de C.V.

Ubicación de Planta: Garza García, Nuevo León.

Material seleccionado: Block de concreto celular 61 x 20 X 15 (8.2 pzas/m² fuente: Block ficha técnica tomada de Anexo "A" Ficha 6).

Peso: 10.98 kg/pza (8.2 pzas) (fuente: Block ficha técnica tomada de Anexo "A" Ficha 6).

Peso/m²: 90 kg/m² (fuente: Block ficha técnica tomada de Anexo "A" Ficha 6).

Mortero para Aplanado: 8.5 kg/m² (fuente: CMM, 2014).

Peso promedio del muro con aplanado: 102.6 kg/m²

Materiales utilizados en la fabricación de Block de Concreto Celular: La mayoría de las materias primas son de origen nacional, sin embargo, el aluminio es traído de Roth Alemania.

La mezcla utilizada es: 58% de arena, 20% de cemento, 15% de cal, 6% de Yeso y 1% de aluminio.

Emisiones producto de la fabricación de Block de Concreto Celular: Las emisiones GEI se obtuvieron mediante el consumo reportado de gas natural, diésel y gas LP, utilizando la metodología para la cuantificación de GEI de la CONUEE, 2009.



Figura 17. Imagen representativa de un muro de block de concreto celular. Fuente: Grupo XELLA, 2015.

INVENTARIO DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE BLOCK DE CONCRETO CELULAR 61x20x40 cm.

Tabla 11. Inventario de 1 kg de Concreto Celular.

ENTRADA	UNIDAD	CANTIDAD	FUENTE DE INFORMACIÓN	FUENTE (material-base de datos)
Electricidad usada	MJ	0.26	Electricity, medium voltage, consumer mix, at grid - MX	Proveedor- CMM
Agua usada	kg	2.076864384	Water, from well - MX	
Gas natural	kg	1.561242886	Natural gas, at industrial user -MX	Proveedor- CMM
Diesel	MJ	0.063599761	Diesel, at service station - MX	Proveedor- CMM
Gas LP	kg	0.000464185	Liquefied petroleum gas (GLP), at refinery	Proveedor- uslci
Cemento	kg	0.219769689	Portland cement at plant -MX	Proveedor- CMM
Cal	kg	0.162684149	Lime at mine - MX	Proveedor- CMM
Arena	kg	0.627053962	Sand at mine - MX	Proveedor- CMM
Aluminio	kg	0.001001538	Aluminium, primary, at plant - RER	Proveedor- CMM
Yeso	kg	0.069024639	gypsum, mineral, at mine	Proveedor- CMM
Transporte	tkm	0.292069229	Transport, mix, diesel powered (road, train and water)-MX	Proveedor- CMM
SALIDA	UNIDAD	CANTIDAD	FUENTE DE INFORMACIÓN	FUENTE
Dióxido de Carbono**	kg	0.092327758	Carbon Dioxide	Proveedor- CMM
Óxido Nitroso**	kg	2.10553E-07	Nitrogen Oxides	Proveedor- CMM
Metano**	kg	0.0000019147	Methane	Proveedor- CMM
**El proveedor no tiene registradas sus salidas en cuanto a cambio climático por lo que el cálculo se hace con base en el uso de gas natural reportado y con factores de CONUEE (2009) http://www.conuee.gob.mx/work/files/metod_gei_cons_evit.pdf se obtuvieron estos datos.				

Concreto celular

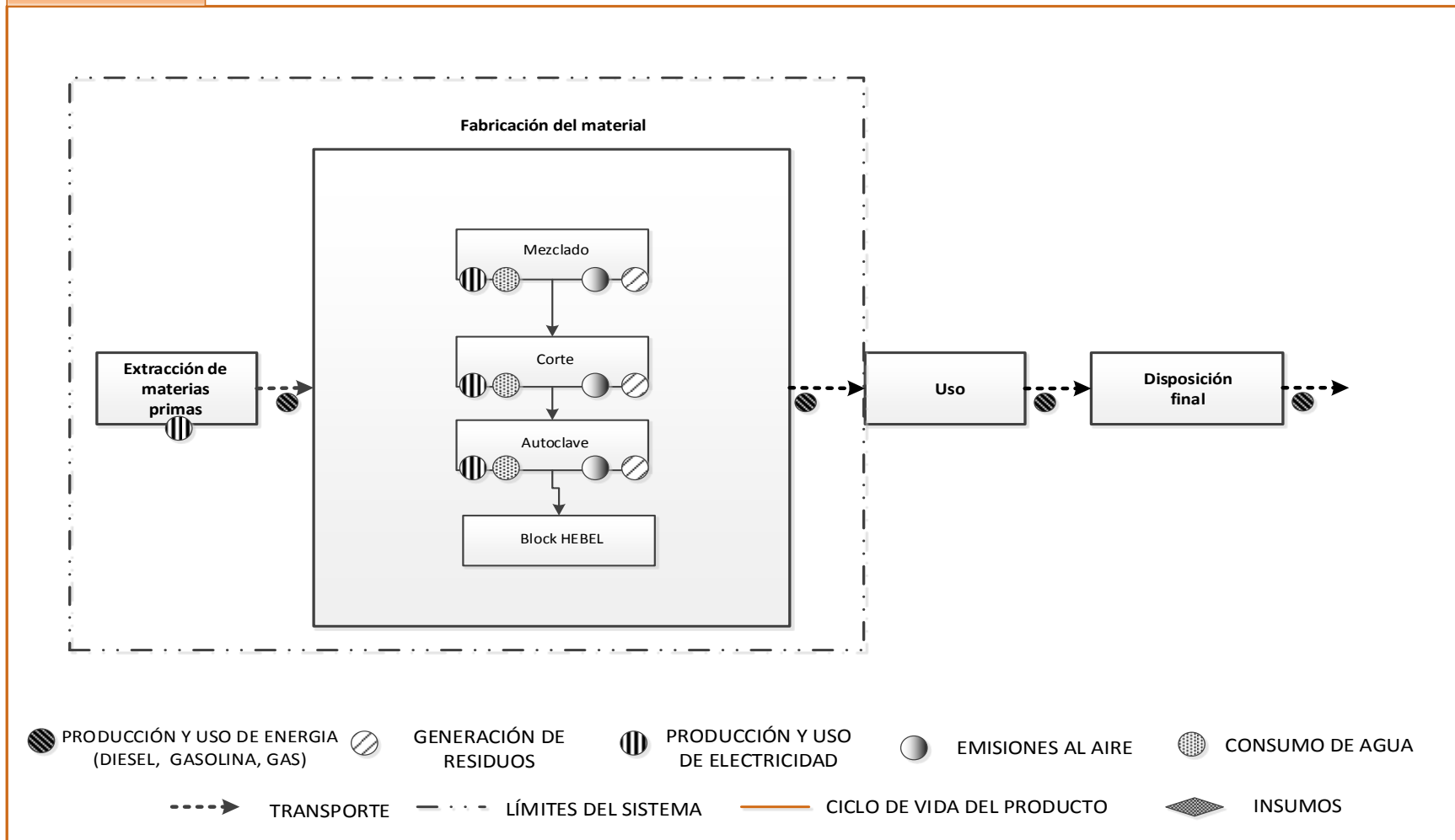


Figura 18. Diagrama de Concreto Celular

Muro de COVINTEC.

Proveedor: COVINTEC S.A. de C.V.

Ubicación de Planta: Parque Industrial Cerrillos II Lerma, Estado de México.

Material seleccionado: Estructura COVINTEC 2" (medida del panel 1.22m x 2.44m - medida a analizar: 1.00m x 1.00m) 1pza/m² (fuente: ficha técnica COVINTEC tomada de Anexo "A" Ficha 8)

Peso/m²: 2.67 kg/m² (fuente: ficha técnica COVINTEC tomada de Anexo "A" Ficha 8)

Mortero para Aplanado (estuco): 100 kg/m² (fuente: ficha técnica COVINTEC tomada de Anexo "A" Ficha 8)

Peso promedio del muro con aplanado de estuco: 102.67 kg/m² (fuente: ficha técnica COVINTEC tomada de Anexo "A" Ficha 8).

Materiales utilizados en la fabricación de Covintec:

Los materiales utilizados en la producción de COVINTEC es el poliestireno proveniente de NOVIDESA ubicado en Apizaco, Tlaxcala y el acero proveniente de Celaya Guanajuato.

El porcentaje de estos dos materiales es de: 51% poliestireno y 49% acero.

Emisiones producto de la fabricación de Covintec: Las emisiones GEI se obtuvieron mediante el consumo reportado de gas natural utilizando la metodología para la cuantificación de GEI de la CONUEE, 2009.



Figura 19. Imagen representativa de muro de Covintec. Fuente: COVINTEC, 2015.

INVENTARIO DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE COVINTEC.

Tabla 12. Inventario de 1 kg de Covintec.

ENTRADA	UNIDAD	CANTIDAD	FUENTE DE INFORMACIÓN	FUENTE (material-base de datos)
Electricidad Usada	MJ	3.345588	Electricity, national mix 2014 - MX	Proveedor- CMM
Vapor de Agua	kg	0.313935	Water vapour	Proveedor- CMM
Agua	kg	0.392	Water, from well – MX	Proveedor- CMM
Gas natural	MJ	1.67003964	Natural gas, at industrial user - MX	Proveedor- CMM
Poliestireno	kg	0.705	Polystyrene, expandable, at plant	Proveedor- uslci
Acero	kg	0.295	Commercial steel at plant, EAF+LRF	Proveedor- CMM
Transporte total de acero y poliestireno.*	tkm	0.2058060	Transport, mix, diesel powered (road, train and water)-MX	Proveedor- CMM
SALIDA**	UNIDAD	CANTIDAD	FUENTE DE INFORMACIÓN	FUENTE
Dióxido de Carbono	kg	0.093689224	Carbon dioxide	Proveedor- CMM
Metano	kg	1.67004E-06	Methane	Proveedor- CMM
Óxido nitroso	kg	1.67004E-07	Nitrogen oxides	Proveedor- CMM
<p>*El acero y el poliestireno provienen de dos estados distintos pero para ser sometidos los datos al software OPEN LCA se obtuvieron las tkm de cada material en base a la distancia y se sumaron, el resultado es el que está contenido en esta tabla. **El proveedor no tiene registradas sus salidas por lo que en base a su uso de gas natural y el uso de CONUEE, 2009. http://www.conuee.gob.mx/work/files/metod_gei_cons_evit.pdf se obtuvieron estos datos.</p>				

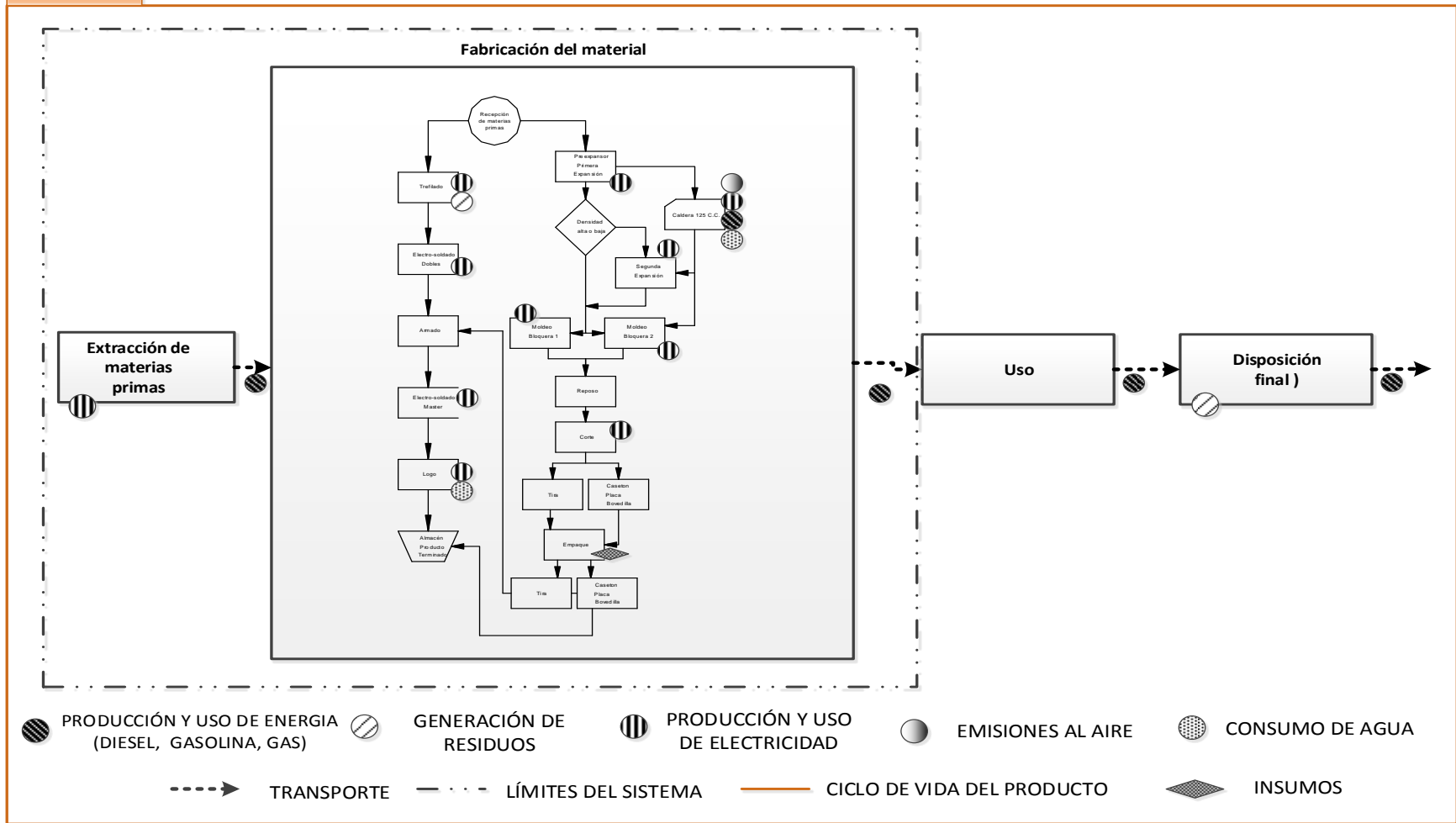


Figura 20. Diagrama de Flujo de Covintec.

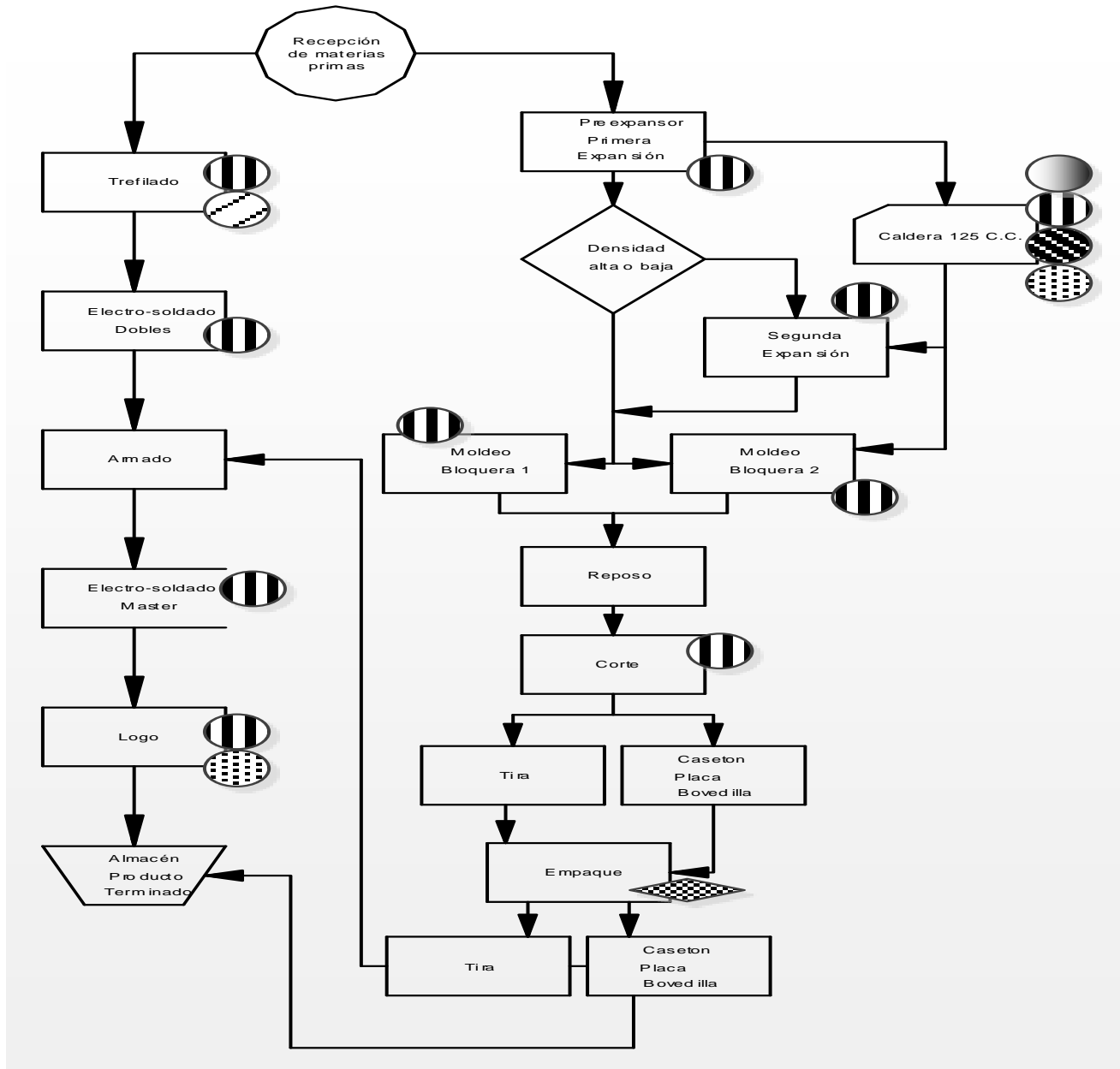


Figura 21. Ampliación del Diagrama de Flujo de Covintec.

Losa de Bovedilla de EPS.

Proveedor de la Bovedilla de EPS: NOVIDESA S.A de C.V.

Ubicación de Planta: Apizaco, Tlaxcala.

Material seleccionado: Makros Panel para entrepiso aislante peralte 18, 1pza./m² (fuente: ficha técnica NOVIDESA tomado de Anexo "A" **Ficha 5**).

Peso/m²: 5.70 kg/m² Peso de EPS + canaleta (fuente: ficha técnica NOVIDESA tomado de Anexo "A" **Ficha 5**).

Cantidad de concreto (m³/m²): 0.081 m³/m² (fuente: ficha técnica NOVIDESA tomado de Anexo "A" **Ficha 5**).

Peso promedio de la losa con concreto f'c=200 kg/cm³: 205 kg/m² (fuente: ficha técnica NOVIDESA tomado de Anexo "A" **Ficha 5**).

Materiales utilizados en la fabricación de la Bovedilla de EPS:

Este panel para entrepiso se fabrica con espuma rígida de poliestireno expandido (EPS) compuesto en un 35% por estireno y un 3% por pentano, más dos canaletas de acero galvanizado G60 sección tipo "C" calibre 22 con troquelados nominales que ocupa el 62% restante, los cuales están separados entre sí a cada 30 cm y funcionan como soporte del sistema para recibir el peso del concreto al ser colocado, recibiendo el acabado en la parte inferior. (fuente: ficha técnica NOVIDESA tomado de Anexo "A" **Ficha 5**). Cabe mencionar que además el producto posee un aditivo piroretardante libre de alógenos que ocupa el .05% del material, sin embargo, no se tiene en la biblioteca del software algún compuesto similar y por lo mismo quedó excluido del estudio.

El estireno proviene de dos estados distintos, el 30% proviene de Houston Texas, desembarcando en Veracruz y de ahí moviéndose mediante pipas a Apizaco, Tlaxcala, y el 70% proviene de Coatzacoalcos y se mueve mediante pipas a Apizaco, Tlaxcala.

Emisiones producto de la fabricación de la Bovedilla de EPS: Las emisiones GEI se obtuvieron mediante el consumo reportado de gas natural utilizando la metodología para la cuantificación de GEI de la CONUEE, 2009.



Figura 22. Imagen representativa de bovedilla de EPS y vigueta de concreto. Fuente: Google Images.

INVENTARIO DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE BOVEDILLA DE EPS.

Tabla 13. Inventario de 1 kg de Bovedilla de EPS.

ENTRADA	UNIDAD	CANTIDAD	FUENTE DE INFORMACIÓN	FUENTE (material-base de datos)
Electricidad Usada	MJ	0.731465660	Electricity, national mix 2014 - MX	Proveedor- CMM
Vapor de Agua	kg	1.499773585	Water vapour	
Agua	kg	0.000969182	Water, from well – MX	Proveedor- CMM
Gas natural	MJ	2.253465560	Natural gas, at industrial user - MX	Proveedor- CMM
Estireno	kg	0.599886792	Styrene	Proveedor- uslci
Pentano	kg	0.045144654	Pentane	Proveedor- CMM
Acero	kg	1.055509434	Commercial steel mix, at plant - MX	
Transporte total de estireno.*	tkm	0.3	Transport, mix, diesel powered (road, train and water)-MX	Proveedor- CMM
SALIDA	UNIDAD	CANTIDAD	FUENTE DE INFORMACIÓN	FUENTE
Dióxido de Carbono**	kg	0.126419418	Carbon Dioxide	Proveedor- CMM
Metano**	kg	2.25347E-06	Methane	Proveedor- CMM
Óxido nitroso**	kg	2.25347E-07	Nitrogen Oxides	Proveedor- CMM
*El estireno proviene de dos estados distintos se asume que el 30% viene de Houston, Texas y el 70% de Veracruz, México.				
**El proveedor no tiene registradas sus salidas en cuanto a cambio climático por lo que en base a su uso de gas natural y el uso de CONUEE, 2009. http://www.conuee.gob.mx/work/files/metod_gei_cons_evit.pdf se obtuvieron estos datos.				

Bovedilla EPS

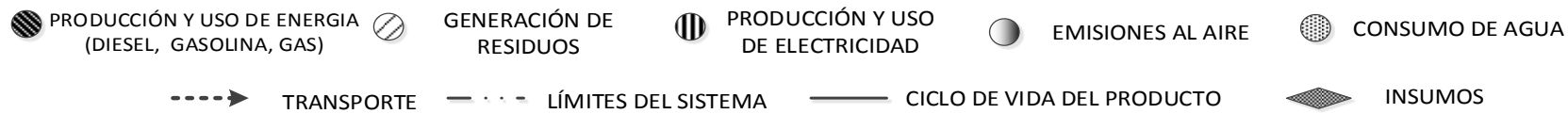
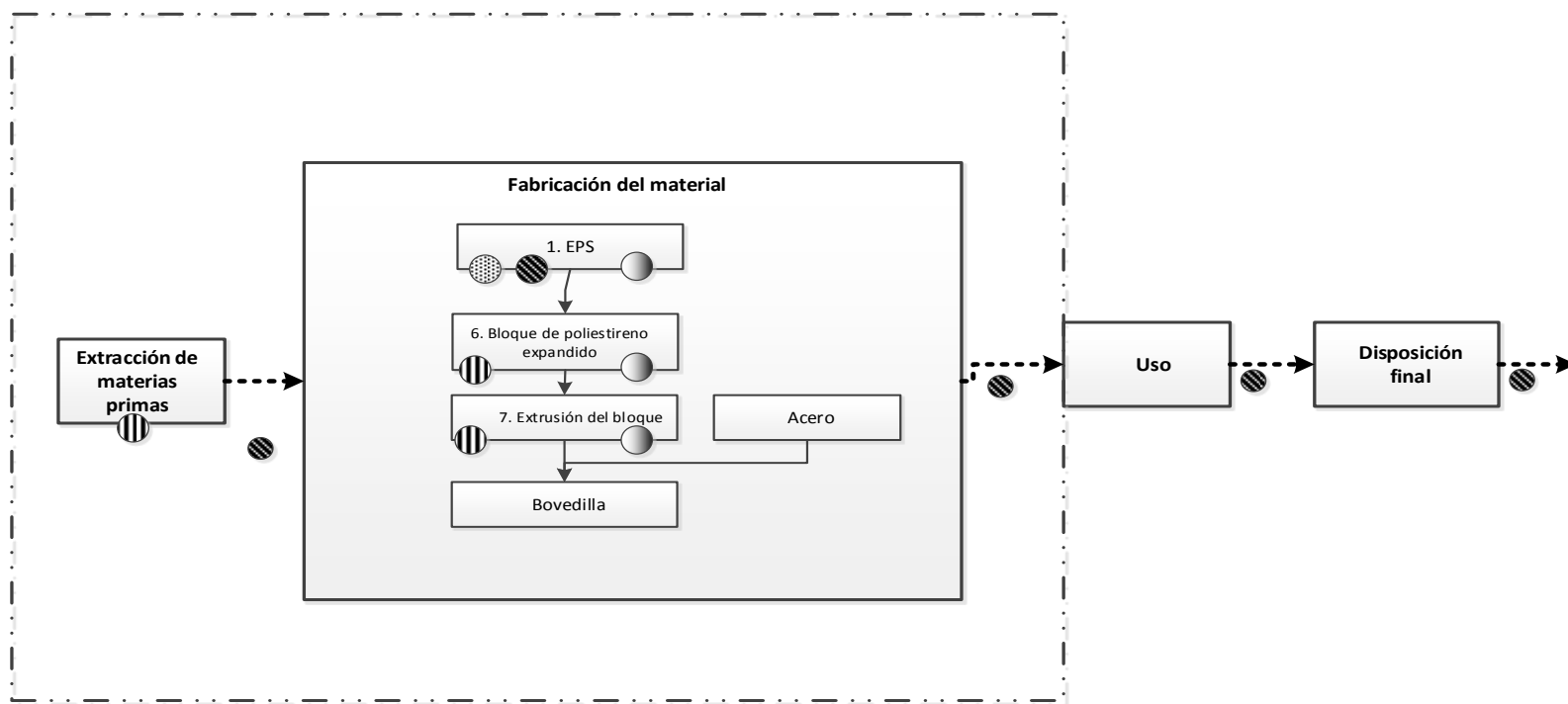


Figura 23. Diagrama de Flujo de bovedilla de EPS.

Ventana de PVC (Conformado de marco de PVC y vidrio de 6mm).

Perfil PVC

Proveedor de perfil de PVC: Datos Bibliográficos (Asif, Muneer, & Kubie, 2005).

Ubicación de Planta: Carretera Libre Celaya-Qro. Km 8.5 Rancho Nuevo CP 38197 Apaseo el Grande, GTO, Mex..

Material seleccionado: 1 m² de Perfil de PVC espesor 6.2cm (fuente: Asif, Muneer, & Kubie, 2005).

Peso/m²: 14.18 kg/m² (Sinha & Andreja , 2012).

Materiales utilizados en la producción del perfil de PVC: El inventario se obtuvo del artículo científico (fuente: Asif, Muneer, & Kubie, 2005). Las materias primas de este material para hacer ventanas son: 99% de Dicloruro de etileno/monómero de cloruro de vinilo, 1% de: Nitrógeno Líquido en planta, Peróxido de Hidrógeno 50% en agua, Cal hidratada, Acetato de vinilo, Silicón, Glicerina, Químicos orgánicos.

Emisiones producto de la fabricación de perfil de PVC: Las emisiones se obtuvieron mediante el consumo reportado de diésel del inventario del artículo científico (fuente: Asif, Muneer, & Kubie, 2005), utilizando la metodología para la cuantificación de GEI de la CONUEE, 2009

Vidrio 6mm.

Proveedor de vidrio: Vitro (fuente: CMM, 2014).

Ubicación de Planta: Monterrey, Nuevo León

Material seleccionado: 1 m² de Vidrio de 6mm (fuente: CMM, 2014).

Peso/m²: 6 mm de vidrio=12.3 kg/m² (fuente: CMM, 2014).

Materiales utilizados en la fabricación del vidrio: El inventario se obtuvo del inventario creado por el Centro Mario Molina (fuente: CMM) Las materias primas de este material para hacer ventanas son: 46% de óxido de silicio + 15% de Cullet interna + 12% Dalomita + 9% Sulfato de sodio + 7% de Carbonato de sodio + 6% Carbonato de calcio + 5% de Cullet externa.

Emisiones producto de la fabricación del vidrio: Las emisiones GEI se obtuvieron el inventario realizado por el Centro Mario Molina (CMM, 2014).



Figura 24. Imagen representativa de ventana de PVC. Fuente: SODIMAC, 2015.

INVENTARIO DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE PERFIL DE PVC.

Tabla 14. Inventario de 1 m² de Perfil de PVC.

ENTRADA	UNIDAD	CANTIDAD	FUENTE DE INFORMACIÓN	FUENTE (material-base de datos)
Electricidad Usada	MJ	314.244	electricity, low voltage, at grid - CH	(Asif, Muneer, & Kubie, 2005) - CMM
Electricidad	MJ	9.61488	Electricity, medium voltage, consumer mix, at grid - MX	(Asif, Muneer, & Kubie, 2005)-CMM
Agua	kg	37.29408	Water, from well – MX	(Asif, Muneer, & Kubie, 2005)-CMM
Diesel	MJ	0.00937208	Diesel, at service station - MX	(Asif, Muneer, & Kubie, 2005)-CMM
Etileno diclorido-monomero vinil clorido	Kg	12.14	Ethylene dichloride-vinyl chloride monomer, at plant -RNA	(Vinil, s.f.)- CMM
Nitrógeno líquido en planta	kg	0.000774532	nitrogen, liquid, at plant - MX	(Asif, Muneer, & Kubie, 2005)-CMM
Peróxido de Hidrógeno 50% en agua	kg	0.001087744	Hydrogen peroxide	(Asif, Muneer, & Kubie, 2005)-CMM
Cal hidratada	kg	0.00207594	hydrated lime dry slaked	(Asif, Muneer, & Kubie, 2005)-CMM
Acetato de vinilo	kg	0.015175	Vinyl acetate	(Asif, Muneer, & Kubie, 2005)-CMM
Silicón	kg	0.00854656	silicone product, at plant - MX	(Asif, Muneer, & Kubie, 2005)-CMM
Glicerina	kg	0.0132326	Glycerine, at plant - RNA	(Asif, Muneer, & Kubie, 2005)-CMM
Químicos orgánicos	kg	0.01107168	chemical plant, organics - RER	(Asif, Muneer, & Kubie, 2005)-CMM
Total de transporte en barco y camión	tkm	10.72860	Transport, mix, diesel powered (road, train and water)-MX	Proveedor-CMM
SALIDA**	UNIDAD	CANTIDAD	FUENTE DE INFORMACIÓN	FUENTE
Dióxido de Carbono	kg	5.72E-05	Carbon dioxide	(Asif, Muneer, & Kubie, 2005)-CMM
Metano	kg	2.32E-09	Methane	(Asif, Muneer, & Kubie, 2005)-CMM
Óxido Nitroso	kg	4.63E-10	Nitrogen oxides	(Asif, Muneer, & Kubie, 2005)-CMM
**Mediante el consumo de Diesel y el uso de CONUEE, 2009. http://www.conuee.gob.mx/work/files/metod_gei_cons_evit.pdf se obtuvieron estos datos.				

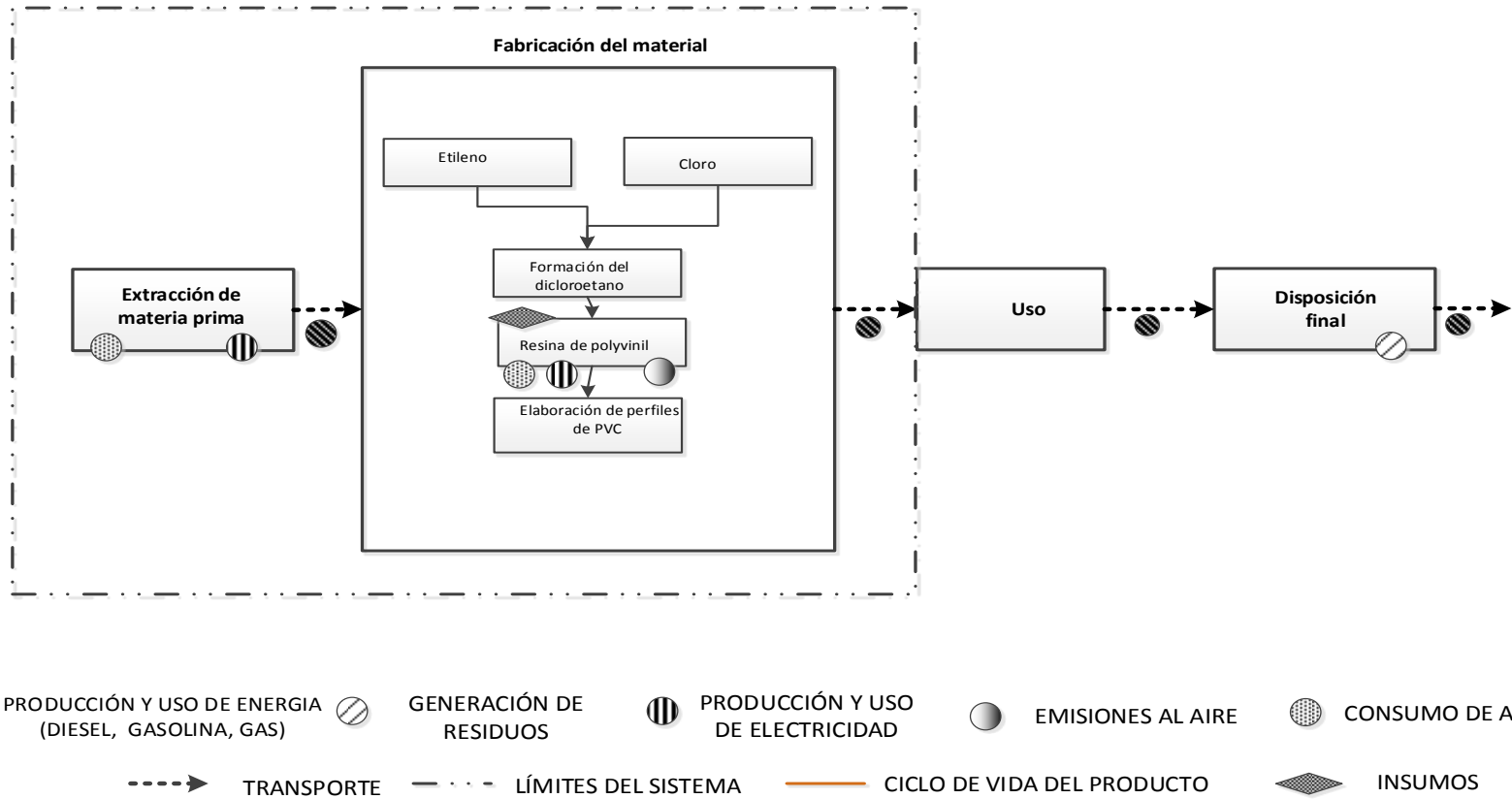


Figura 25. Diagrama de Flujo de perfil de PVC.

INVENTARIO DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE VIDRIO DE 6 MM.

Tabla 15. Inventario de 1 kg de Vidrio de 6 mm

ENTRADA	UNIDAD	CANTIDAD	FUENTE DE INFORMACIÓN	FUENTE (material-base de datos)
Electricidad Usada	MJ	1.61	Electricity, medium voltage, consumer mix, at grid - MX	CMM - CMM
Agua	kg	0.47	Water, from well – MX	CMM - CMM
Agua tratada	kg	0.77	Water, unspecified natural origin, CN	UsSci – CMM
Gas natural	MJ	9.27	Natural gas, at industrial user - MX	CMM - CMM
Óxido de silicio	kg	0.682	Silica sand, at plant - MX	CMM - CMM
Carbonato de sodio	kg	0.100	Soda ash, at plant - MX	CMM - CMM
Carbonato de calcio	kg	0.0947	Limestone at quarry - MX	CMM - CMM
Dalomita	kg	0.1740	Dolomite, at plant - MX	CMM - CMM
Cullet interna	kg	0.2270	Cullet conditioning - MX	CMM - CMM
Cullet externa	kg	0.06970	Cullet conditioning - MX	CMM - CMM
Sulfato de sodio	kg	0.134	Sodium sulphate, at plant - MX	CMM - CMM
Total de transporte en camión de óxido de silicio, carbonato de sodio, carbonato de calcio, Dalomita, Sulfato de sodio y Cullet externo km	tkm	1.15	Transport, mix, diesel powered (road, train and water)-MX	CMM - CMM
SALIDA	UNIDAD	CANTIDAD	FUENTE DE INFORMACIÓN	FUENTE
Dióxido de carbono	kg	0.06788600	Carbon dioxide	CMM - CMM
Óxido nitroso	kg	0.00000097	Nitrogen monoxide	CMM - CMM
Dióxido de nitrógeno	kg	0.00592	Nitrogen dioxide	CMM - CMM
Óxido de azufre	kg	0.07211	Sulfur oxides	CMM - CMM
Metano	kg	0.00000965	Methane	CMM - CMM
Hidrógeno fluorhídrico	kg	0.0000400	Hydrogen fluoride	CMM - CMM
Hidrógeno clorhídrico	kg	0.000160	Hydrogen chloride	CMM - CMM
Selenio	kg	0.00015	Selenium	CMM - CMM
Vanadio	kg	0.00000512	Vanadium, ion	CMM - CMM
Nickel	kg	0.00000279	Nickel, ion	CMM - CMM
Plomo	kg	0.00000173	Lead (+II)	CMM - CMM
Cadmio	kg	0.000000906	Cadmium, ion	CMM - CMM
Partículas	kg	0.00203	Particulates, unspecified	CMM - CMM

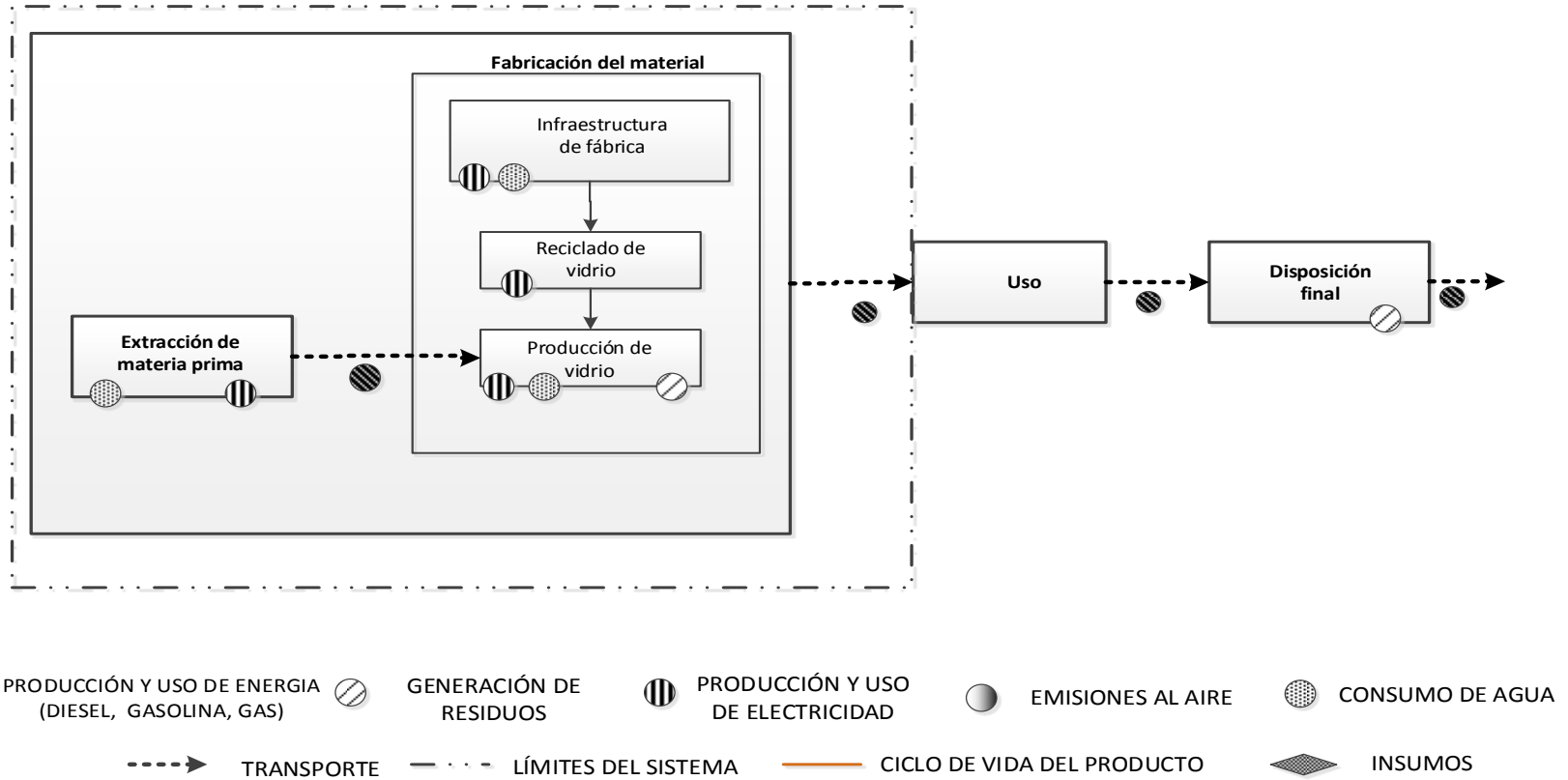


Figura 26. Diagrama de Flujo de vidrio de 3mm y 6mm

Ventana de Perfil de Aluminio (Conformado por perfil de aluminio y vidrio de 3mm).

Perfil de Aluminio

Proveedor: Datos Bibliográficos (Asif, Muneer, & Kubie, 2005).

Ubicación de Planta: Monterrey

Material seleccionado: 1 m² de perfil de aluminio perimetral de 1½“(fuente: Asif, Muneer, & Kubie, 2005).

Peso/m²: 9.00 kg/m² (Sinha & Andreja , 2012)

Materiales utilizados en la fabricación de perfil de aluminio: El inventario se obtuvo del artículo científico (fuente: Asif, Muneer, & Kubie, 2005). Las materias primas de este material para hacer ventanas son: 87% Bauxita + 6% Ánodo de carbono + 4% Hidróxido de sodio + 2% óxido de calcio + 1% Fluoruro de aluminio y Criolita.

Emisiones producto de la fabricación del perfil de aluminio: Las emisiones se obtuvieron mediante el consumo de electricidad reportado en el inventario del artículo científico (fuente: Asif, Muneer, & Kubie, 2005).

Vidrio 3mm

Proveedor: Vitro (fuente: CMM, 2014).

Ubicación de Planta: Monterrey, Nuevo León.

Material seleccionado: 1 m² de Vidrio de 3mm (fuente: CMM, 2014).

Peso/m²: 3 mm de vidrio=6.825 kg/m² (fuente: CMM, 2014).

Materiales utilizados en la fabricación del vidrio: El inventario se obtuvo del inventario creado por el Centro Mario Molina (fuente: CMM) Las materias primas de este material para hacer ventanas son: 46% de óxido de silicio + 15% de Cullet interna + 12% Dalomita + 9% Sulfato de sodio + 7% de Carbonato de sodio + 6% Carbonato de calcio + 5% de Cullet externa.

Emisiones producto de la fabricación del vidrio: Las emisiones se obtuvieron del inventario realizado por el Centro Mario Molina

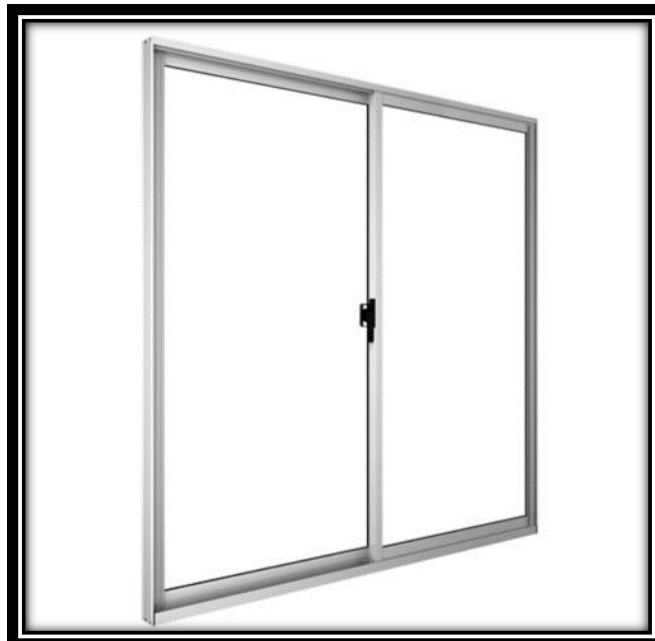


Figura 27. Imagen representativa de perfil de aluminio. Fuente: SODIMAC, 2015.

INVENTARIO DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE PERFIL DE ALUMINIO.

Tabla 16. Inventario de 1 m² de perfil de aluminio.

ENTRADA	UNIDAD	CANTIDAD	FUENTE DE INFORMACIÓN	FUENTE (material-base de datos)
Electricidad Usada	MJ	82.406	Electricity, medium voltage, consumer mix, at grid - MX	WBG, 2004 -CMM
Agua	kg	4.750	Water, from well – MX	(Asif, Muneer, & Kubie, 2005)-CMM
Bauxita (AL(OH)3)	kg	2.375	Bauxite, at mine -GLO	(Asif, Muneer, & Kubie, 2005)-CMM
Hidróxido de Sodio (NAOH)	kg	0.108	Sodium hydroxide, production mix, at plant -RNA	(Vinil, s.f.)- CMM
Cal (CaO)	kg	0.043	Lime at mine - MX	(Asif, Muneer, & Kubie, 2005)-CMM
Ánodo de carbono	kg	0.200	Calcium carbonate	(Asif, Muneer, & Kubie, 2005)-CMM
Fluoruro de aluminio	kg	0.009	Aluminium product manufacturing, average metal working/RER U	(Asif, Muneer, & Kubie, 2005)-CMM
Criolita (NA3AlF6)	kg	0.004	Cryolite, at plant/RER U	(Asif, Muneer, & Kubie, 2005)-CMM
Total de transporte en camión	tkm	2.795	Transport, light, commercial truck, gasoline powered - MX	(Asif, Muneer, & Kubie, 2005)-CMM
SALIDA	UNIDAD	CANTIDAD	FUENTE DE INFORMACIÓN	FUENTE
Agua	kg	4.5365	Water, waste	(Asif, Muneer, & Kubie, 2005)-CMM
Barro rojo	kg	1.672	Clay, bentonite, in ground	(Asif, Muneer, & Kubie, 2005)-CMM
Dióxido de carbono	kg	0.615	Carbon dioxide	(Asif, Muneer, & Kubie, 2005)-CMM
Gases de combustión	kg	0.013	Acid gases, unspecified	(Asif, Muneer, & Kubie, 2005)-CMM
Desecho general	kg	0.350	Mineral waste	(Asif, Muneer, & Kubie, 2005)-CMM

Perfil de aluminio

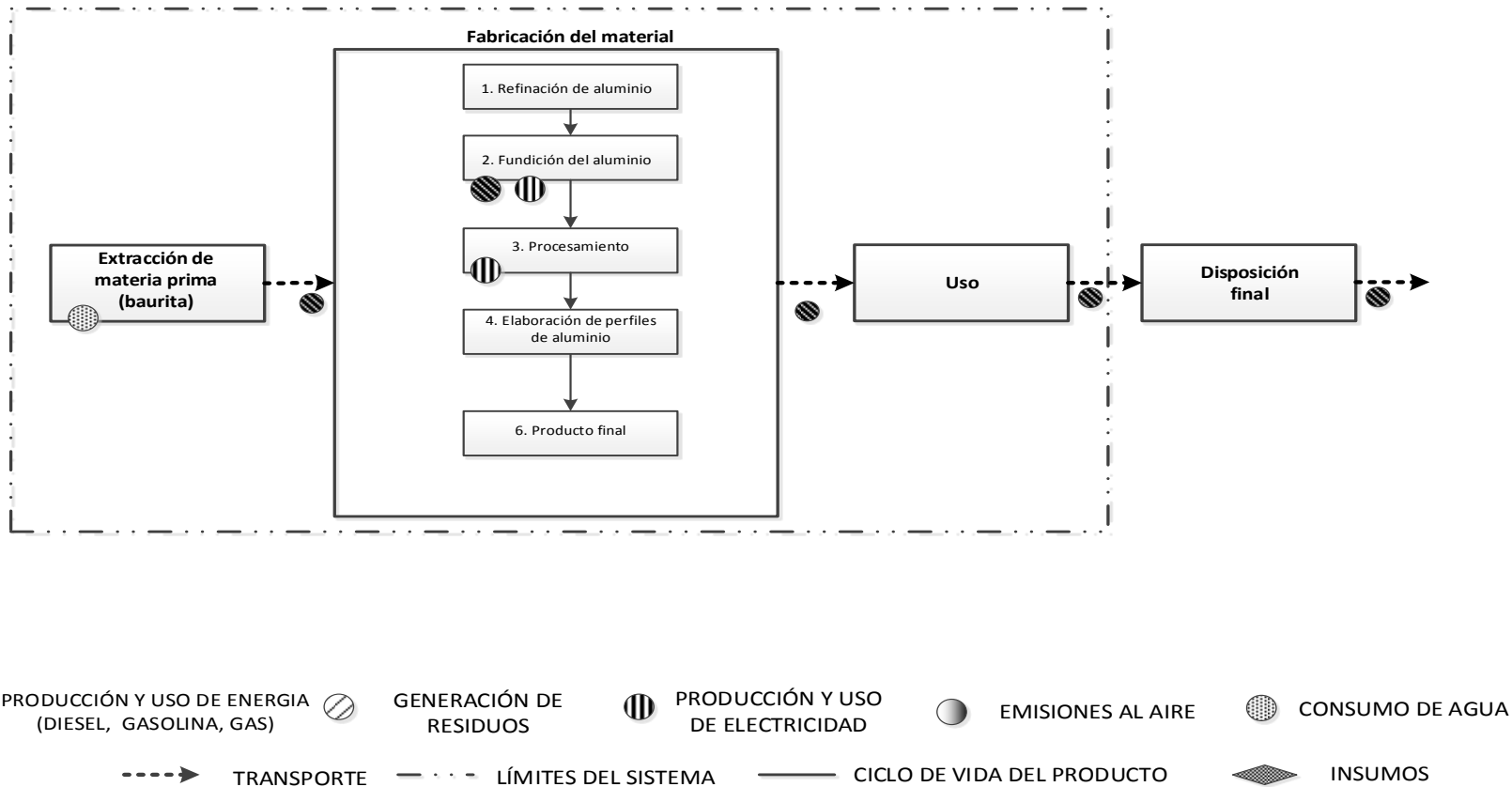


Figura 28. Diagrama de Flujo de perfil de aluminio.

Tabla 17. Inventario de 1 kg de Vidrio de 3 mm

ENTRADA	UNIDAD	CANTIDAD	FUENTE DE INFORMACIÓN	FUENTE (material-base de datos)
Electricidad Usada	MJ	1.61	Electricity, medium voltage, consumer mix, at grid - MX	CMM - CMM
Agua	kg	0.47	Water, from well – MX	CMM - CMM
Agua tratada	kg	0.77	Water, unspecified natural origin, CN	uslci – CMM
Gas natural	MJ	9.27	Natural gas, at industrial user - MX	CMM - CMM
Óxido de silicio	kg	0.682	Silica sand, at plant - MX	CMM - CMM
Carbonato de sodio	kg	0.100	Soda ash, at plant - MX	CMM - CMM
Carbonato de calcio	kg	0.0947	Limestone at quarry - MX	CMM - CMM
Dalomita	kg	0.1740	Dolomite, at plant - MX	CMM - CMM
Cullet interna	kg	0.2270	Cullet conditioning - MX	CMM - CMM
Cullet externa	kg	0.06970	Cullet conditioning - MX	CMM - CMM
Sulfato de sodio	kg	0.134	Sodium sulphate, at plant - MX	CMM - CMM
Total de transporte en camión de óxido de silicio, carbonato de sodio, carbonato de calcio, Dalomita, Sulfato de sodio y Cullet externo km	tkm	1.15	Transport, mix, diesel powered (road, train and water)-MX	CMM - CMM
SALIDA	UNIDAD	CANTIDAD	FUENTE DE INFORMACIÓN	FUENTE
Dióxido de carbono	kg	0.06788600	Carbon dioxide	CMM - CMM
Óxido nitroso	kg	0.00000097	Nitrogen monoxide	CMM - CMM
Dióxido de nitrógeno	kg	0.00592	Nitrogen dioxide	CMM - CMM
Óxido de azufre	kg	0.07211	Sulfur oxides	CMM - CMM
Metano	kg	0.00000965	Methane	CMM - CMM
Hidrógeno fluorhídrico	kg	0.0000400	Hydrogen fluoride	CMM - CMM
Hidrógeno clorhídrico	kg	0.000160	Hydrogen chloride	CMM - CMM
Selenio	kg	0.00015	Selenium	CMM - CMM
Vanadio	kg	0.00000512	Vanadium, ion	CMM - CMM
Nickel	kg	0.00000279	Nickel, ion	CMM - CMM
Plomo	kg	0.00000173	Lead (+II)	CMM - CMM
Cadmio	kg	0.000000906	Cadmium, ion	CMM - CMM
Partículas	kg	0.00203	Particulates, unspecified	CMM - CMM

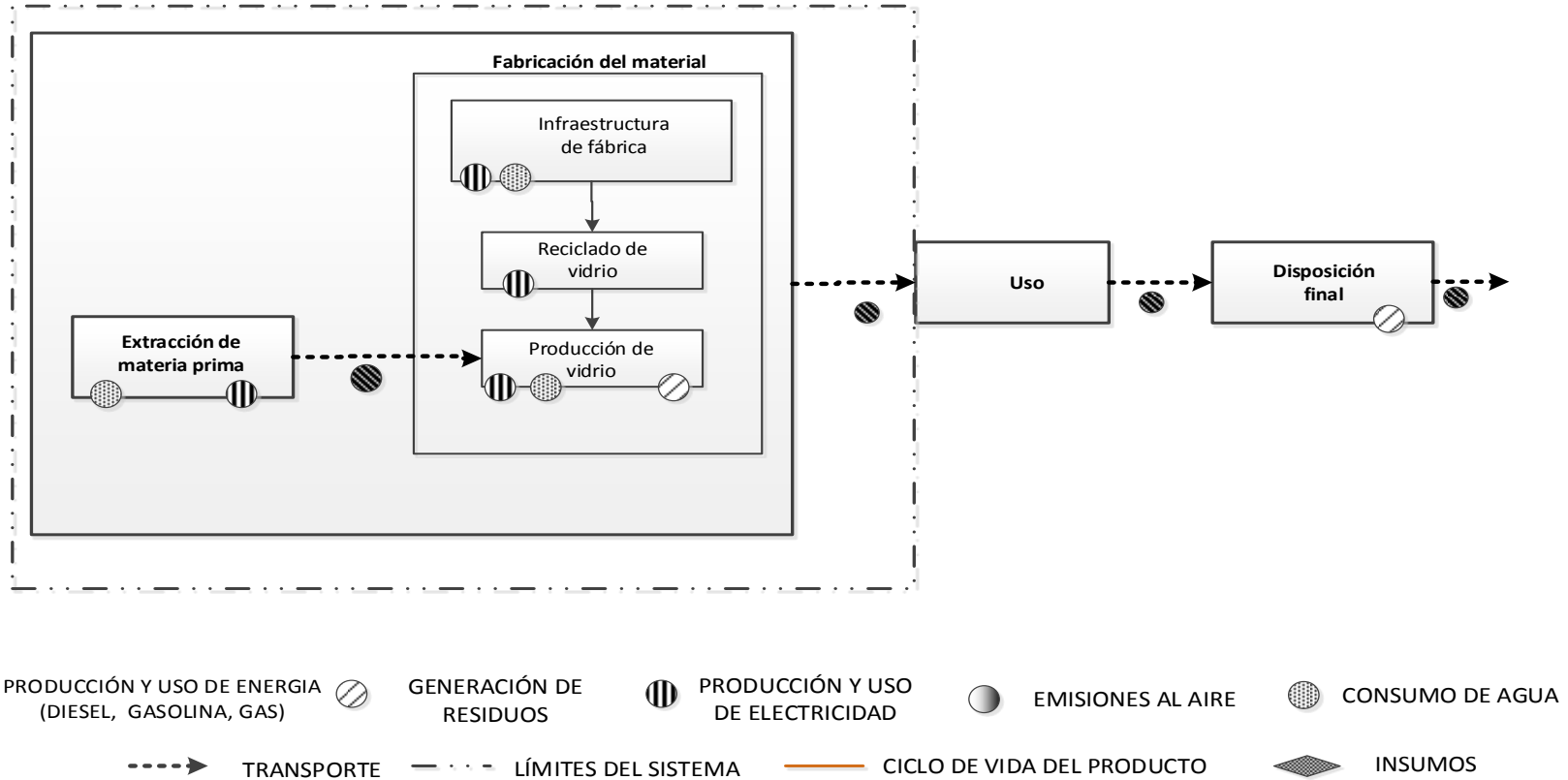


Figura 29. Diagrama de Flujo de vidrio de 3mm y 6mm.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

EVALUACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO CON ENFOQUE DE CICLO DE VIDA.

A continuación se muestran los resultados obtenidos como parte de la clasificación y caracterización realizados con el método de análisis CML 2001 del programa de ciclo de vida openLCA utilizando la base de datos MEXICV desarrollada por el CMM durante el año 2014 con información específica para México en materiales y procedimientos de construcción, la base de datos estadounidense USLCI y en ocasiones específicas la base de datos Ecoinvent.

Es importante mencionar que este estudio tiene un alcance de la cuna a la puerta, que en términos de Análisis de Ciclo de Vida, implica que no se consideran los impactos generados durante la etapa de uso y disposición final de cada uno de los sistemas analizados. Lo anterior se debe a que los impactos por la etapa de uso de cada sistema están relacionados con las características específicas de diseño, ubicación y condiciones climáticas de cada inmueble, por lo tanto, para considerarlas se hará uso de las herramientas y metodologías de Sociedad Hipotecaria Federal, las cuales permiten una cuantificación detallada de la huella de carbono por uso, que será sumada a los resultados presentados en este estudio.

Con respecto a la disposición final, ésta etapa no está siendo considerada debido a que representa, según estudios preliminares del Centro Mario Molina menos del 5% de la huella de carbono. Adicionalmente, cabe señalar que se cuenta con información sobre la etapa de fin de vida de éstos materiales y sistemas para México.

CAMBIO CLIMÁTICO.

Los resultados de la huella de carbono obtenidos del software openLCA de cada material utilizado en los sistemas constructivos se presentan en la Tabla 18.

Tabla 18. Cambio climático. kg de CO₂ eq por kilogramo de cada material, considerando un enfoque de ciclo de vida.

MATERIAL	CAMBIO CLIMÁTICO	UNIDADES
1 kg de Block cerámico	0.21	kg CO ₂ eq.
1 kg de Block cerámico con EPS	0.39	kg CO ₂ eq.
1 kg de Block de adobe	0.16	kg CO ₂ eq.
1 kg de Aislante de polímero	1.82	kg CO ₂ eq.
1 kg de Aislante EPS	2.14	kg CO ₂ eq.
1 kg de Perlita mineral expandida con silicón	0.59	kg CO ₂ eq.
1 kg de Concreto celular	0.52	kg CO ₂ eq.
1 kg de COVINTEC	3.19	kg CO ₂ eq.
1 kg de Bovedilla EPS	4.61	kg CO ₂ eq.
1 kg de Perfil PVC	3.15	kg CO ₂ eq.
1 kg de Perfil Aluminio	26.92	kg CO ₂ eq.
1 kg de Vidrio	1.41	kg CO ₂ eq.

Los pesos en kilogramo por metro cuadrado obtenidos como se muestran en la Tabla 18, son dados de alta en el software OpenLCA, considerando las cantidades requeridas para construir 1m² de sistema y según el peso requerido proporcionado por los proveedores, de acuerdo a lo presentado en la Tabla 4.

Las emisiones CO₂ eq obtenidas se presentan en la Tabla 19 y en las , Figura 31 y Figura 32.

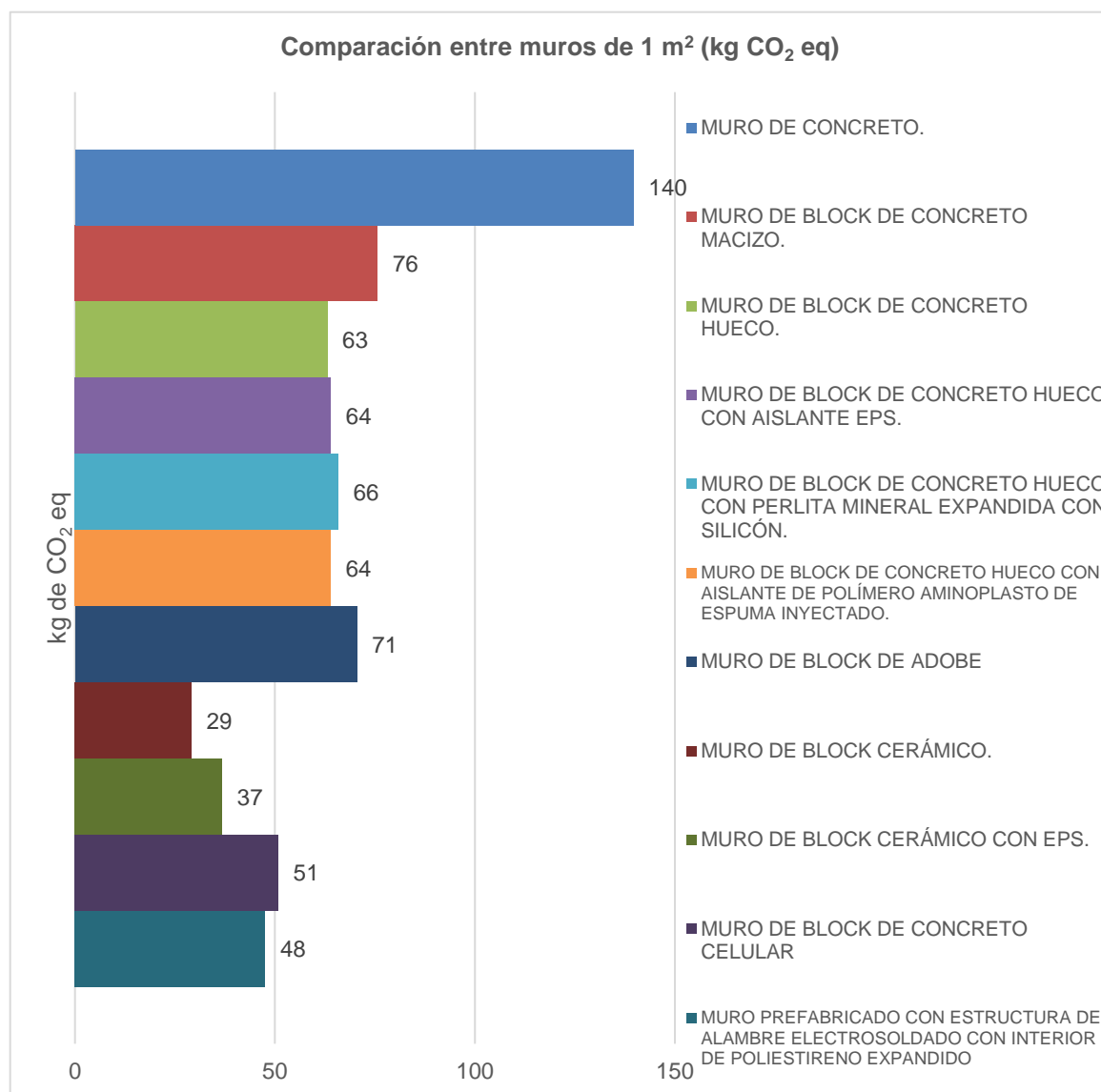


Figura 30. Gráfica comparativa de impactos de cambio climático de muros (m²) por kg de CO₂ eq.

Tabla 19. Peso en kg/m² de cada sistema constructivo y kg de CO₂ eq.

No.	SISTEMA	PESO DEL SISTEMA (kg)/m ²	kg de CO ₂ eq.
Línea Base			
1	Muro de concreto de 10 cm espesor	254.08	139.67
2	Losa de concreto macizo 10 cm.	254.08	139.67
3	Ventana de aluminio 1 ½ “	9.00	68.11
Comparaciones			
MUROS			
1	Muro de block de concreto macizo. 12x20x40 cm	228.51	75.71
2	Muro de block de concreto hueco 15x20x40	191.75	63.11
3	Muro de block de concreto hueco con aislante EPS 1".	192.15	63.98
4	Muro de block de concreto hueco con perlita mineral expandida con silicón.	196.41	65.85
5	Muro de block de concreto hueco con aislante polímero.	193.39	63.94
6	Muro de block cerámico 11.5x20x32.5	100.45	29.15
7	Muro de block cerámico con EPS.15x20x40	125.82	36.80
8	Muro de block de adobe 10x15x30.	321.50	70.50
9	Muro de block de concreto celular 61x20x15 cm	102.60	50.86
10	Muro prefabricado con estructura de alambre electrosoldado con interior de poliestireno expandido de 2".	102.67	47.54
LOSA			
11	Losa de vigueta de concreto y bovedilla de EPS.	205.00	89.38
VENTANA			
12	Ventana de PVC 1 ½ “	14.18	23.29

Como se puede observar en la el muro de concreto es el sistema constructivo que más emisiones genera, mientras que el muro de block cerámico es el sistema constructivo con menores emisiones GEI a la atmósfera. Dentro del rubro de losas (Figura 31) la losa de concreto macizo posee un impacto mayor a la losa de concreto y bovedilla. La ventana de PVC resulta ser mejor opción que la ventana de aluminio debido que presenta una menor huella de carbono (Figura 32). Más adelante se discutirá cada material con mayor profundidad

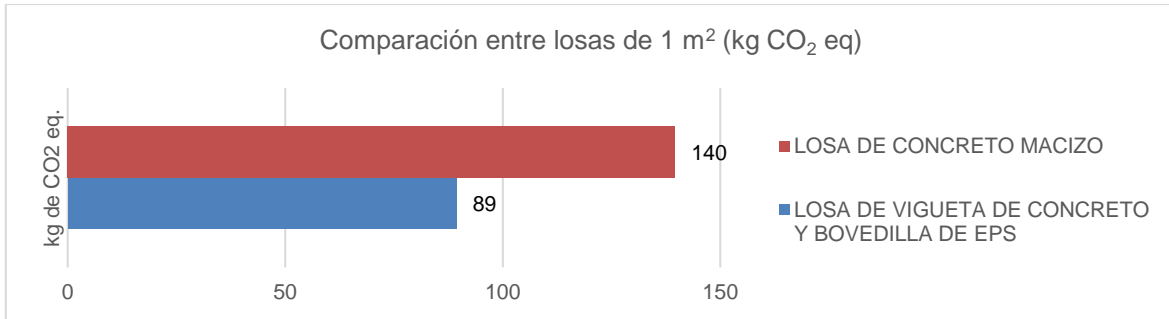


Figura 31. Gráfica comparativa de impactos de cambio climático de losas (m²) por kg de CO₂ eq.

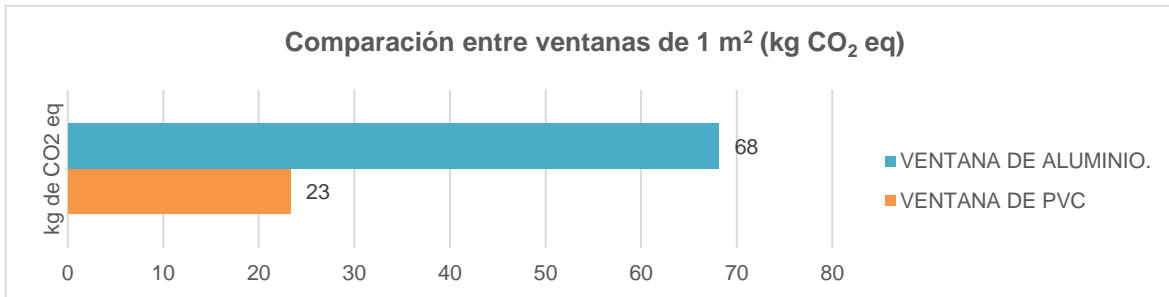


Figura 32. Gráfica comparativa de impactos de cambio climático de ventanas (m²) por kg de CO₂ eq.

COMPARACIÓN ENTRE LÍNEA BASE Y SISTEMAS CONSTRUCTIVOS ANALIZADOS

1. Caso de estudio: Muros.

En esta sección se realizará un análisis comparativo entre la línea base de muros y los sistemas analizados, discutiendo los hallazgos más relevantes.

La línea base corresponde a un metro cuadrado de muro de concreto macizo armado, con una resistencia $f'c$ 200 kg/cm², de 10 cm de espesor, armado con varilla de refuerzo de 3/4", cimbra auxiliar de madera, colado manual, compactado y curado.

Las emisiones GEI por un m² de muro de concreto se han adaptado a partir de la base de datos realizada por el Centro Mario Molina, incluyendo las emisiones por combustión de gas natural, diésel y gasolina.

Los resultados muestran que 1m² del sistema de muro de concreto genera 139.67 kg de CO₂ eq., de los cuales el 47% corresponden a la fabricación del concreto y 45% al acero de refuerzo y al alambre recocido.

El muro de concreto requiere de 226.6 kg de concreto, los cuales generan 66.2 kg de CO₂ eq., lo cual concuerda con Santero N., (2014), adicionalmente se utilizan 2.117 kg de acero que generan 3.675 kg de CO₂ eq.

La producción de 1m³ de concreto genera 703.64 kg CO₂ eq, de los cuales el 72% provienen de la fabricación del cemento (507 kg CO₂ eq), el 14% por el uso de gravas (101.95 kg CO₂ eq), 13% por

el uso de arena (94.19 kg CO₂ eq) y el restante por el uso de gasolina y agua (Cemex Concretos, Manual de Constructor).

La fabricación de cemento, materia prima del concreto, requiere de 760,740 Kcal/t de clínker (la base del cemento) (Güereca et al., 2015), para alcanzar temperaturas entre 1500 °C y 2000 °C en el horno de fabricación de clínker; mientras que la fabricación de 1 t de acero requiere de 4.6 millones de Kcal. En ambos casos, la energía necesaria para fabricar dichos materiales, se proporciona a partir de combustibles fósiles, los cuales generan GEI en su proceso de combustión.

En este sentido es importante mencionar que el desarrollo tecnológico en la fabricación de cemento busca la eficiencia energética y la disminución de impactos ambientales, para ello cementeras como Cemex, comienzan a utilizar residuos municipales de alto poder calorífico (FIRSU por su denominación en la Ley General de Residuos), como un combustible alternativo que sustituye coque de petróleo y con ello se ha logrado disminuir en más de 3% la huella de carbono del cemento (Güereca et al., 2015), lo que redundará en disminución de emisiones GEI del muro de concreto macizo.

Lo anterior explica porque un muro de concreto presenta mayores emisiones de GEI que el resto de sistemas analizados que se comparan a continuación.

1.1. Muro macizo de concreto armado frente a muro de block de concreto macizo.

El muro de block de concreto macizo (dimensiones del block 12 x 20 x 40cm), compuesto por 12.5 piezas de block macizo con un peso de 16 kg por pieza, asentado con mortero cemento-arena de proporción 1:4, con juntas de 1 cm de espesor con medios manuales, refuerzos verticales con varilla #3 y horizontales con escalerilla de acero en México, ver Tabla 20.

Tabla 20. Comparación entre muro de block de concreto macizo y muro de concreto.

No.	1. Comparación	kg de CO ₂ eq.
1	MURO DE CONCRETO. 10 cm espesor	139.67
	MURO DE BLOCK DE CONCRETO MACIZO. 12x20x40 cm	75.71

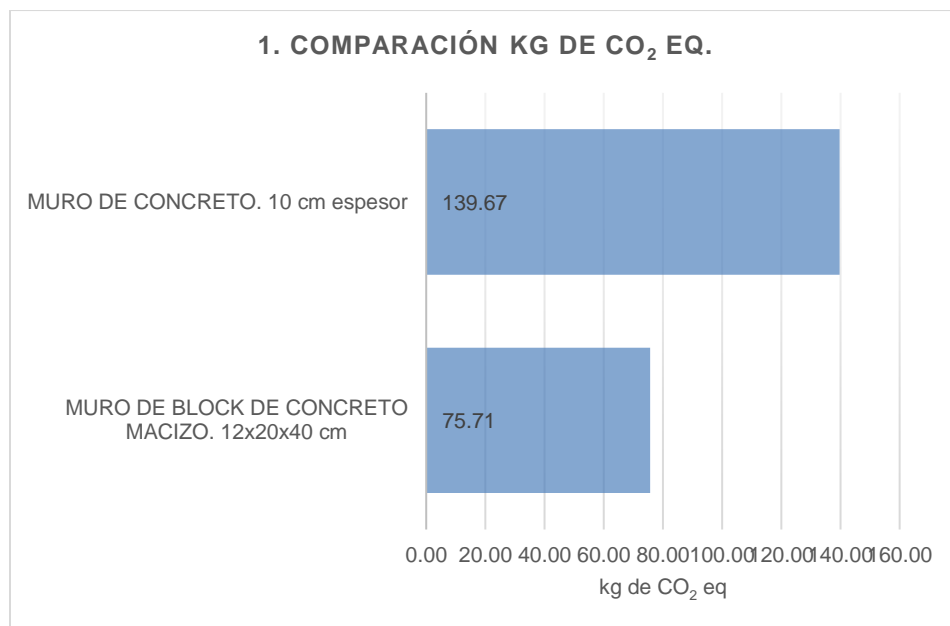


Figura 33. Gráfica de impactos de cambio climático de muro de block de concreto macizo y muro de concreto (m²) por kg de CO₂ eq.

La Figura 33 y Tabla 20, presentan las emisiones generadas por un muro de concreto (139.67 kg CO₂eq) y las emisiones de un muro de block de concreto macizo (75.71 kg CO₂ eq). La disminución de emisiones de GEI alcanza un 46% si se utiliza un muro de block de concreto macizo. Lo anterior se debe a que el block de concreto requiere menos concreto y acero que el muro de concreto macizo.

Un sistema constructivo de 1 m² de block de concreto macizo utiliza 200 kg de block de concreto, 0.733 kg de acero y 28 kg de mortero; mientras que el muro de concreto requiere 226 kg de concreto y 22 kg de acero de refuerzo y 3 kg de alambre recocido.

El muro de block de concreto requiere 27.78 kg de mortero, que tiene como función unir los blocks, mientras que el muro de concreto no necesita de mortero para su instalación. Este material genera 13.85 kg de CO₂ eq en la construcción de muros de block de concreto.

El concreto posee mayores emisiones a la atmósfera debido al cemento y acero utilizado para la creación del muro. Las fuentes principales de contaminación son por la demanda de energía acumulada utilizada para la producción de 1m² de muro de concreto.

1.2. Muro macizo de concreto armado frente a muro de concreto hueco

El muro de block de concreto hueco (dimensiones del block 15 x 20 x 40cm) está compuesto por 12.5 piezas de block hueco con un peso de 13 kg por pieza, asentado con mortero cemento-arena proporción 1:4, con juntas de 1 cm de espesor con medios manuales, refuerzos verticales con varilla #3 y horizontales con escalerilla de acero en México. Ver **Tabla 21**.

Tabla 21. Comparación entre muro de block de concreto macizo y muro de concreto hueco.

No.	2. Comparación	kg de CO ₂ eq.
2	MURO DE CONCRETO. 10 cm espesor	139.67
	MURO DE BLOCK DE CONCRETO HUECO. 15x20x40 cm	63.11

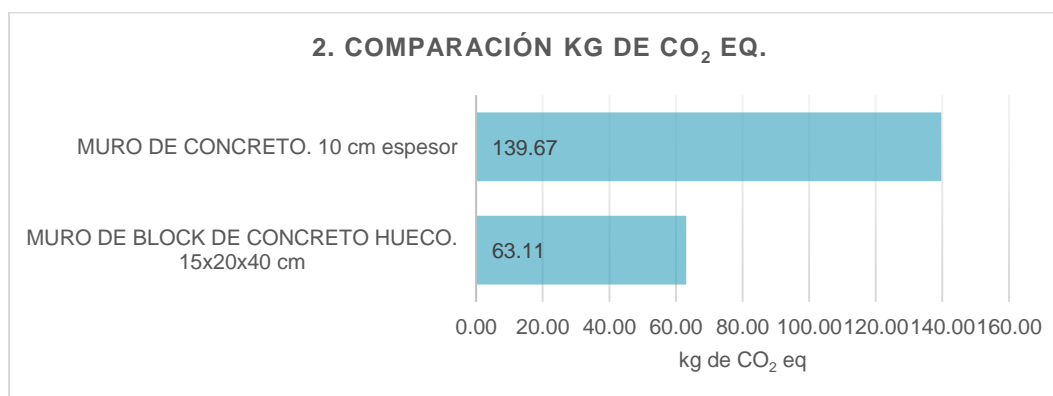


Figura 34. Gráfica de impactos de cambio climático de muro de block de concreto macizo y muro de block de concreto hueco (m²) por kg de CO₂ eq.

La **Figura 34** y **Tabla 21**, presentan las emisiones generadas por un muro de concreto de 1 m² (139.67 kg CO₂eq) y las emisiones de un muro de block de concreto hueco (63.11 kg CO₂ eq). La disminución de emisiones de GEI alcanza un 55% si se utiliza un muro de block de concreto hueco. Lo anterior se debe a que el block de concreto hueco requiere menos concreto y acero que el muro de concreto macizo.

Un sistema constructivo de 1 m² de block de concreto hueco utiliza 162.5 kg de block hueco (que contiene tepecil), que generan 51.55 kg de CO₂ eq, lo cual equivale al 82% de las emisiones. Este valor de emisiones GEI es ligeramente superior a los 40.46 kg de CO₂ eq que se generarían por el block de concreto hueco necesario para construir un muro de 1m², de acuerdo a lo reportado por Brabec, J., (2009). Lo anterior se debe a que el block hueco analizado en este estudio utiliza 33% de cemento Portland para su fabricación, mientras que el block analizado por Brabec J., (2009) requiere 13.9% de cemento.

El block de concreto también requiere de 0.733 kg de acero que producen el 1% de las emisiones GEI y 27 kg de mortero que producen 13.85 kg de CO₂ eq (el 22% del impacto).

El muro de concreto requiere 226 kg de concreto y 22 kg de acero de refuerzo y 3 kg de alambre recocado.

Para producir 1 kg de block de concreto hueco se requieren 0.0641 kg de concreto, 0.4895 kg tepecil y 0.0051kg de arena.

1.3. Muro macizo de concreto armado frente muro de block de concreto hueco con aislante EPS 1" (dimensiones del block 15 x 20 x 40cm).

El muro de concreto hueco con aislante EPS está compuesto por 12.5 piezas de block hueco con un peso de 13 kg por pieza, asentado con mortero cemento-arena y aislante EPS 1" medidas 1.00x1.00 m, con densidad de 16 kg/cm³, cubierto por un aplanado de mortero, cemento arena.

Tabla 22. Comparación entre muro de block de concreto macizo y muro de block de concreto hueco con aislante EPS 1”.

No.	3. Comparación	kg de CO ₂ eq.
3	MURO DE CONCRETO. 10 cm espesor	139.67
	MURO DE BLOCK DE CONCRETO HUECO CON AISLANTE EPS 1”.	63.98

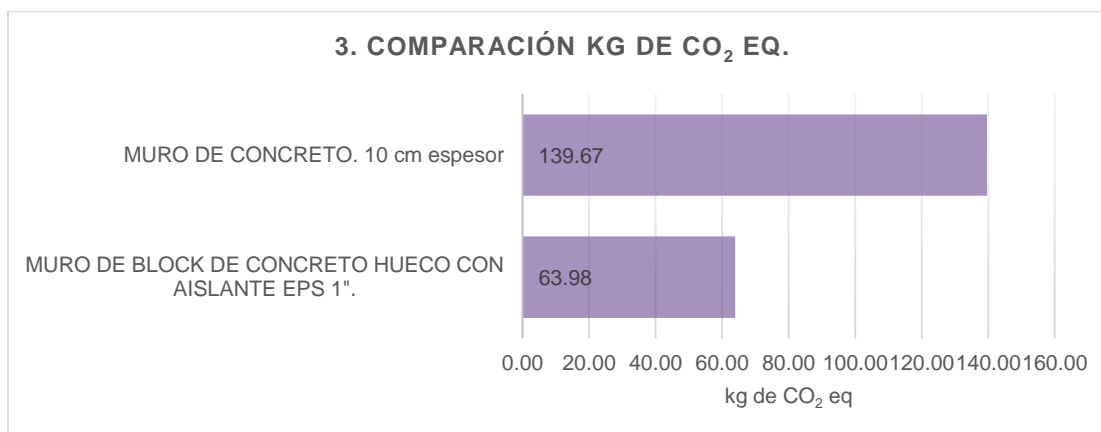


Figura 35. Gráfica de impactos de cambio climático de muro de block macizo y muro de block hueco con aislante EPS 1” (m²) por kg de CO₂ eq.

La Figura 35 y Tabla 22, presentan las emisiones generadas por un muro de concreto de 1 m² (139.67 kg CO₂eq) y las emisiones de un muro de block de concreto hueco con aislante EPS de 1” (63.98 kg CO₂ eq). La mitigación de emisiones de GEI es de 54% si se utiliza un muro de block de concreto hueco con EPS de 1”. Estos resultados se deben principalmente a que muro de concreto de la línea base presenta un mayor uso de cemento que el block hueco, lo cual en este caso, permite disminuir los impactos.

Para producir 1 kg de aislante EPS se generan 2.14 kg de CO₂ eq y para construir 1 m² de muro se requieren 0.4064 kg de EPS 1”, lo cual genera 0.87 kg CO₂ eq. De los impactos relacionados con el muro el 81% es causado por el block de concreto hueco, seguido por el mortero 13%, la barra de acero 3%, el acero comercial 2% y el aislante EPS el 1%.

De la fabricación del aislante EPS, el 55% de los impactos proviene del uso de gas natural, seguido por el impacto por utilizar etilbenceno en un 36%, por el uso de electricidad en un 8% y el 1% restante se divide en transporte y el uso de agua.

Los impactos del EPS en cambio climático encontrados en este estudio, han sido comparados con lo publicado por Zabalza, et al., (2011), quien presenta un aporte de emisiones de 7.336 kg CO₂eq/kg de EPS para España, lo cual genera una contribución al cambio climático de 2.9 kg de CO₂ eq /m² de EPS, mientras que en este estudio identificamos un aporte de 0.87 kg CO₂ eq/m² de EPS. Esta diferencia obedece a la densidad del EPS utilizado en el estudio de España, la cual alcanza 30 kg/m³ de EPS, mientras que este trabajo considera una densidad de 16 kg/m³ de EPS.

1.4. Muro macizo de concreto armado frente a muro de block de concreto hueco con perlita mineral expandida con silicón (dimensiones del block 15 x 20 x 40 cm).

Tabla 23. Comparación entre muro de block de concreto macizo y muro block de block de concreto hueco con perlita mineral expandida con silicón.

No.	4. Comparación	kg de CO ₂ eq.
4	MURO DE CONCRETO. 10 cm espesor	139.67
	MURO DE BLOCK DE CONCRETO HUECO CON PERLITA MINERAL EXPANDIDA CON SILICÓN.	65.85

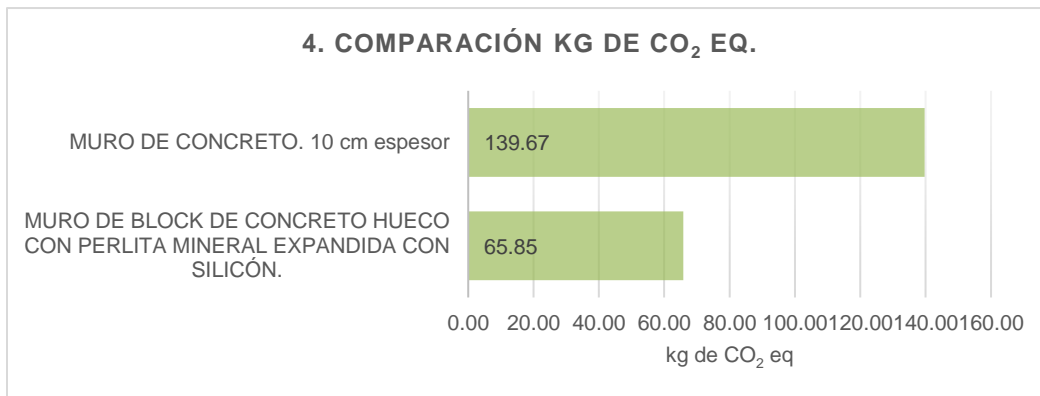


Figura 36. Gráfica de impactos de cambio climático de muro de block de concreto macizo y muro block de block de concreto hueco con perlita mineral expandida con silicón (m²) por kg de CO₂ eq.

1 m² de muro de concreto hueco con perlita mineral expandida con silicón, con mortero y aplanado tiene un peso de 196.41 kg, de los cuales 192 kg corresponden al sistema de block de concreto hueco (blocks huecos, mortero y acero), 4.66 kg a la perlita y 0.00932 kg de silicón.

Este sistema genera 65.85 kg de CO₂ eq /m² , de los cuales el 96% es causado por el block de concreto hueco (incluyendo el mortero 13% y acero necesario para construcción del muro) y 4% por la perlita (**Tabla 23** y **Figura 36**).

Los 4.66 kg/m² de perlita mineral necesarios para construir 1 m² de muro generan 2.74 kg CO₂eq. De los impactos por la fabricación de la perlita se puede discutir que el 71% provienen del uso de gas natural, seguido por el transporte de la materia prima al lugar de fabricación con un 20%, el uso de la electricidad (5%) y el uso del silicón un 4%.

Al respecto, Cotana y Goretti (2008), reportan un valor de emisiones de GEI correspondiente a 0.989 kg de CO₂eq/kg de perlita mineral expandida; tomando en cuenta que el sistema analizado en este estudio requiere de 4.662 kg de perlita por m² de muro, las emisiones GEI serían de 4.611 Kg CO₂ eq/m², lo cual es un valor superior a los resultados de este trabajo (2.74 Kg CO₂ eq/m²). Esta diferencia obedece principalmente al impacto en cambio climático que presenten los combustibles usados para la extrusión ya que de acuerdo a lo que reporta Yüksek (2015) y Yüksek (2014), en el proceso de expansión la perlita (se calienta hasta alcanzar temperaturas entre 900 y 1100 °C), se requiere una gran cantidad de energía, lo cual afecta negativamente la eficiencia energética del material. El proceso industrial analizado en este reporte utiliza gas natural para la extrusión, mientras que Cotana y Goretti (2008), reportan un proceso de Italia que utiliza otros combustibles fósiles.

1.5. Muro macizo de concreto armado frente a muro de concreto hueco con relleno de aislante de polímero aminoplasto de espuma inyectado (dimensiones del block 15 x 20 x 40 cm).

Tabla 24. Comparación entre muro de block de concreto macizo y muro block de concreto con aislante de polímero aminoplasto de espuma inyectado.

No.	5. Comparación	kg de CO ₂ eq.
5	MURO DE CONCRETO. 10 cm espesor	139.67
	MURO DE BLOCK DE CONCRETO HUECO CON AISLANTE DE POLÍMERO AMINOPLASTO DE ESPUMA INYECTADO.	63.94

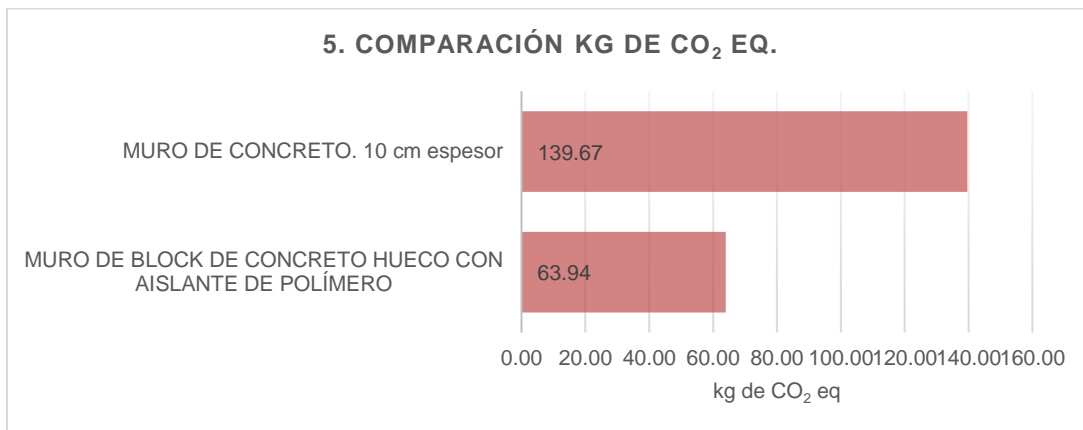


Figura 37. Gráfica de impactos de cambio climático de muro de block de concreto macizo y muro block de concreto con aislante de polímero (m²) por kg de CO₂ eq.

Para construir un muro de 1 m² con este sistema, el aislante de polímero aminoplasto de espuma se inyecta en los huecos del muro de block de concreto hueco y sirve como aislante térmico.

Un muro de 1 m² construido con este sistema presenta un peso de 193.39 kg, de los cuales 191.75 corresponden al sistema de block de concreto hueco (con mortero y acero) y el resto a la espuma.

La huella de carbono de 1 m² de este sistema genera 63.11 kg de CO₂ eq (98.7%), de los cuales la espuma aislante contribuye con 0.73 kg de CO₂ eq (1.15%) (Tabla 24 y Figura 37).

De los impactos en la fabricación del aislante, el 48% es por el uso de gas natural, seguido por el transporte con un 31% ya que es un producto que viene de Estados Unidos de América, un 17% corresponde al uso de metanol, 4% corresponde al uso de urea formaldehído y el 1% corresponde al resto de los químicos que componen el producto.

Se analizaron Declaraciones Ambientales de Productos (EPD) y ACV a nivel internacional para poder comparar nuestros resultados, sin embargo no nos fue posible encontrar alguno con las mismas características de este aislante

1.6. Muro macizo de concreto armado frente muro de block de adobe industrializado de 10 x 15 x 30 cm

El muro de block de adobe industrializado está compuesto por 33 piezas con un peso de 7.5 kg por pieza, asentado con mortero cemento-arena proporción 1:4 con juntas de 1 cm de espesor con medios manuales, sin refuerzos verticales ni horizontales (Tabla 25 y Figura 38).

Tabla 25. Comparación entre muro de block de concreto macizo y muro block de adobe.

No.	6. Comparación	kg de CO ₂ eq.
6	MURO DE CONCRETO. 10 cm espesor	139.67
	MURO DE BLOCK DE ADOBE 10x15x30 cm	70.50

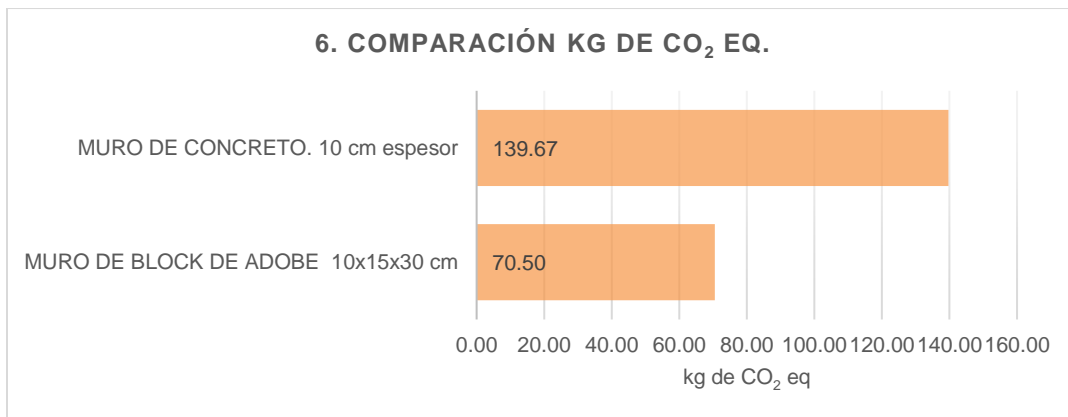


Figura 38. Gráfica de impactos de cambio climático de muro de block de concreto macizo y muro block de adobe (m²) por kg de CO₂ eq.

La fabricación de un kilogramo de adobe industrial genera 0.20 kg de CO₂ eq. Considerando que un metro cuadrado requiere 247.5 kg de adobe (33 piezas de 7.5 kg cada una), este material aporta 48.30 kg de CO₂ eq, lo cual corresponde al 69% del impacto total del muro, mientras que el 31% restante es aportado por los 74 kg de mortero necesarios para construir el sistema.

Si analizamos específicamente el adobe, los resultados muestran que las emisiones generadas de este material provienen en un 75% por el uso de cemento requerido para su fabricación, seguido por la calhdra con un 14% de emisiones.

A partir de lo anterior, se identifica que en conjunto el cemento utilizado en la fabricación del adobe y el cemento utilizado en el mortero, generan el mayor impacto en cambio climático.

El CO₂ eq generado por la fabricación de las 33 piezas de adobe necesarias para construir un metro cuadrado de muro de adobe es de 39.6 kg de CO₂ eq, sin embargo, al ser piezas de muy poca altura (10 cm) requieren de más mortero cemento-arena (74 kg) para unirlos a comparación de otros bloques. Esta cantidad de mortero genera 23.34 kg de CO₂ eq.

Si las piezas fueran más altas como de 15 o 20 cm, necesitarían menos mortero lo que disminuiría los impactos de este material. De igual forma, si en lugar de utilizar un mortero cemento-arena se utilizara un mortero realizado con cal, tierra y paja los impactos disminuirían.

1.7. Muro macizo de concreto armado frente a muro de block cerámico 11.5 x 20 x 32.5 cm

El muro de block cerámico está compuesto por 14.21 piezas con un peso de 6.6 kg por pieza, asentado con mortero cemento-arena proporción 1:4 con juntas de 1 cm de espesor con medios manuales, sin refuerzos verticales ni horizontales.

Tabla 26. Comparación entre muro de block de concreto macizo y muro block cerámico.

No.	7. Comparación	Kg de CO ₂ eq.
7	MURO DE CONCRETO. 10 cm espesor	139.67
	MURO DE BLOCK CERÁMICO. 11.5x20x32.5	29.15

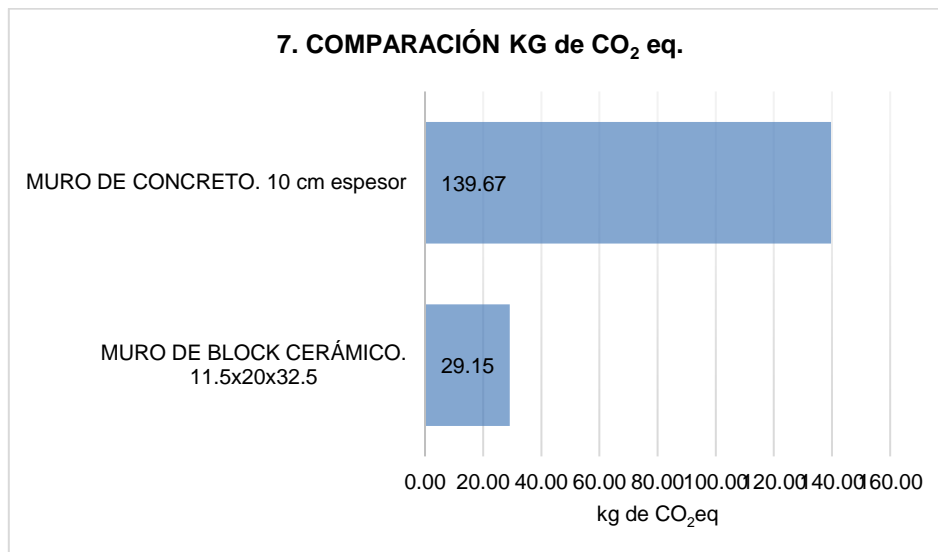


Figura 39. Gráfica de impactos de cambio climático de block de concreto macizo y muro de block cerámico (m²) por kg de CO₂ eq.

Para el block cerámico, se presenta una generación de 29.15 kg de CO₂ eq por m² de construcción, (Tabla 26 y la Figura 39), de los cuales el 66% es por el gas natural usado en la producción, seguido por el uso de papel con un 20%, la electricidad con 9%, el transporte de la materia prima al lugar de fabricación 4% y el resto corresponde a las arcillas. El 68% de las emisiones se dan por el ladrillo cerámico y el 32% restante es emitido por el mortero.

El informe de (CERAM. Innovation, Sustainability, Quality, 2009), presenta un caso de Londres con una contribución en la categoría de Calentamiento Global de 23.63 kg de CO₂ eq/m². Así mismo para una planta de Italia, Cotana y Goretti (2008), calculan 20.44 kg de CO₂ eq/m². Por último, el valor considerado para España en la publicación de Zabalza, et al., (2011), refiere 25.42 kg de CO₂ eq/m².

Las referencias anteriores señalan que la producción de block cerámico en México genera emisiones de CO₂ eq muy similares a los valores reportados por Cotana y Goretti (2008) y menores a lo reportado por Zabalza, et al., (2011), para España.

1.8. Muro macizo de concreto armado frente a muro de block cerámico con EPS 15 x 20 x 40 cm

El muro de block cerámico con EPS está compuesto por 12.5 piezas con un peso de 5.7 kg por pieza, asentado con mortero cemento-arena proporción 1:4 con juntas de 1 cm de espesor con medios manuales, sin refuerzos verticales ni horizontales (Tabla 27 y

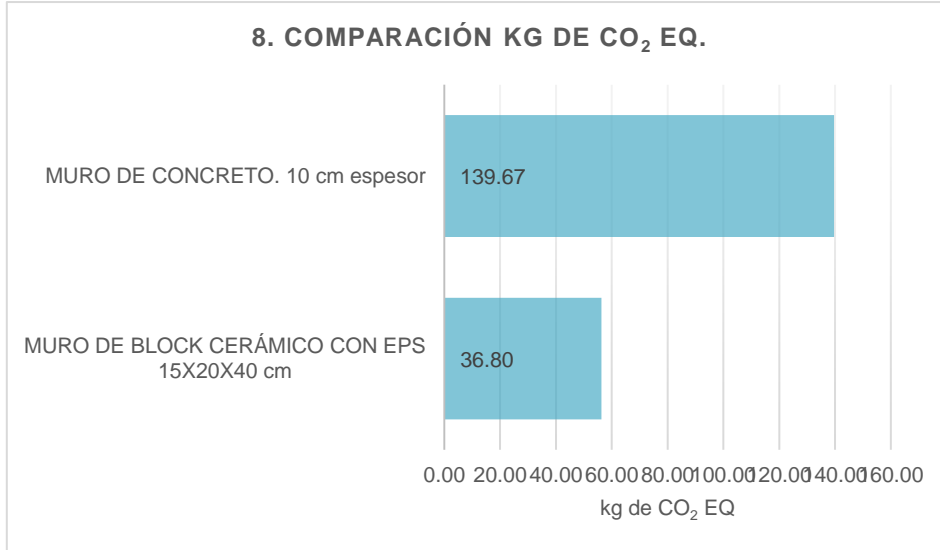


Figura 40).

Tabla 27. Comparación entre muro de block de concreto macizo y muro block cerámico con EPS.

No.	8. Comparación	kg de CO ₂ eq.
8	MURO DE CONCRETO. 10 cm espesor	139.67
	MURO DE BLOCK CERÁMICO CON EPS 15X20X40 cm	36.80

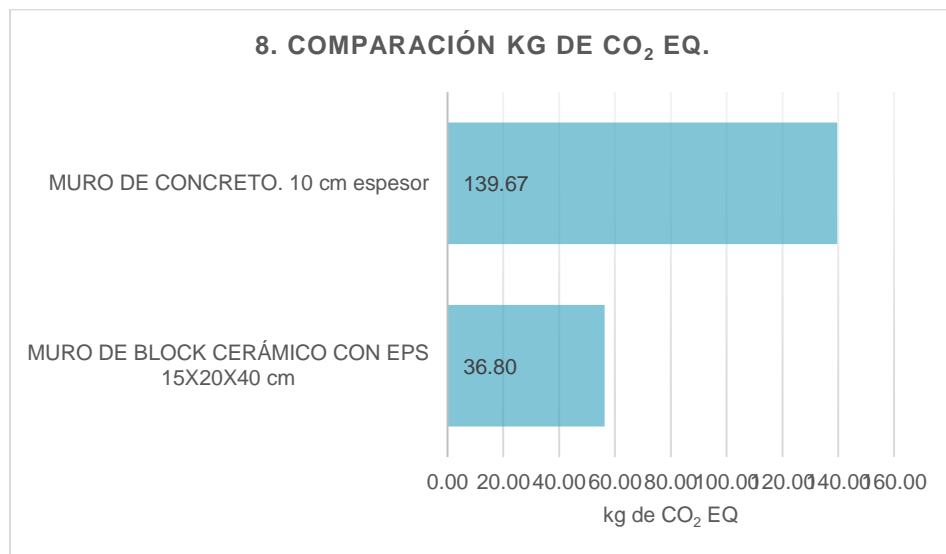


Figura 40. Gráfica de impactos de cambio climático de muro de block de concreto macizo y muro block cerámico con EPS (m²) por kg de CO₂ eq.

El muro de block cerámico con EPS posee las mismas propiedades que un muro de block de concreto hueco, sin embargo además de la similitud en las propiedades de carga de los muros, el muro de block cerámico con EPS es aislante térmico por lo que puede ayudar a regular la temperatura de un inmueble.

El análisis realizado a este material señala que 1m² de muro construido con block cerámico con EPS genera 36.80 kg de CO₂ eq.

1.9. Muro de concreto macizo de concreto armado frente a muro de block de concreto celular 61 x 20 x 15 cm.

El muro de block de concreto celular está compuesto por 8.2 piezas con un peso de 10.98 kg por pieza, asentado con mortero cemento-arena proporción 1:4 con juntas de 1 cm de espesor con medios manuales, sin refuerzos verticales ni horizontales.

Tabla 28. Comparación entre muro de block de concreto macizo y muro block de concreto celular.

No.	9. Comparación	kg de CO ₂ eq.
9	MURO DE CONCRETO. 10 cm espesor	139.67
	BLOCK DE CONCRETO CELULAR 61x20x15 cm	50.86

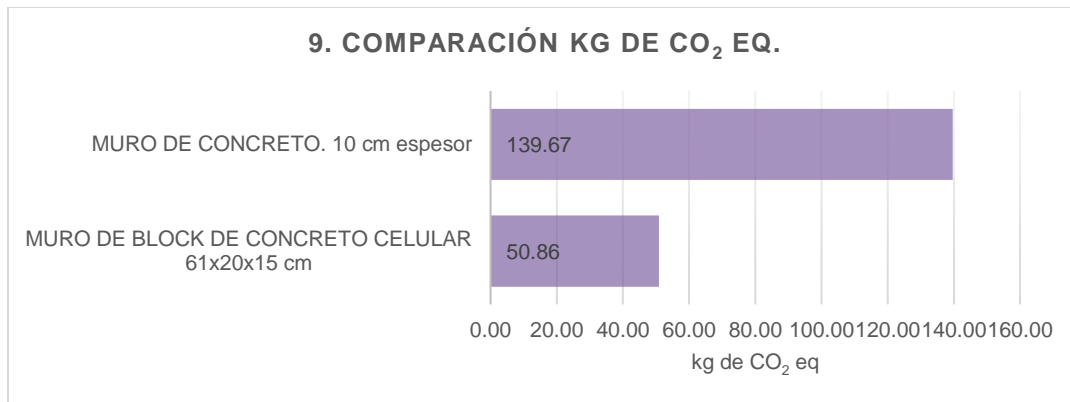


Figura 41. Gráfica de impactos de cambio climático de muro de block de concreto macizo y muro block de concreto celular (m²) por kg de CO₂ eq.

El sistema de concreto celular, genera 50.86 kg de CO₂ eq por m² de construcción, ver Tabla 28 y Figura 41.

Las emisiones mostradas ocurren en un 59% por el uso de cemento en el proceso de fabricación del block. En este sentido, se consideró un peso de 90 kg/m² del block de concreto celular, el cual, forma parte del sistema constructivo para generar 1 m² de muro, representando una contribución al Cambio Climático del 93% (47.07 Kg de CO₂ eq/m²) del impacto total del muro.

De los impactos en la fabricación del block de concreto celular, el 59% es por el uso de cemento, el 21% por el uso de gas natural, 9% de transporte ya que parte de la materia prima proviene de Alemania, 7% por electricidad, Diesel en 1%, Aluminio en 1% y el resto es de las materias primas faltantes.

El informe de VTT Technical Research Centre of Finland (2014), presenta una contribución en la categoría de Calentamiento Global de 0.4423 kg de CO₂ eq/kg de material, dicha cifra es comparable con la que se determinó en este estudio, equivalente a 0.52305 kg de CO₂ eq/kg de material.

En el mismo contexto; la EPD editada por Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU) and The International EPD®System (2013), declara 43.033 kg CO₂eq/m², mientras que la EPD editada por Arbeitsgemeinschaft Umwel Tverträgliches Bauprodukt E.V. (2005), declara 40.275 kg CO₂eq/m².

Estas pequeñas variaciones en los resultados dependen del gas natural y de los procesos dependiendo del país en el que se fabrica el material.

1.10. Muro de concreto macizo de concreto armado frente a muro prefabricado con estructura de alambre electrosoldado con interior de poliestireno expandido

Muro de concreto macizo de concreto armado, con una resistencia f'c 200 kg=cm², de 10 cm de espesor, armada con varilla de refuerzo de 3/4", cimbra auxiliar de madera, colado manual, compactado y curado, contra muro prefabricado con estructura de alambre electrosoldado con interior de poliestireno expandido con aplanado de mortero cemento-arena (Tabla 29 y Figura 42).

Tabla 29. Comparación entre muro de block de concreto macizo y muro de prefabricado.

No.	10. Comparación	kg de CO ₂ eq.
10	MURO DE CONCRETO. 10 cm espesor	139.67
	MURO PREFABRICADO CON ESTRUCTURA DE ALAMBRE ELECTROSOLDADO CON INTERIOR DE POLIESTIRENO EXPANDIDO	47.54

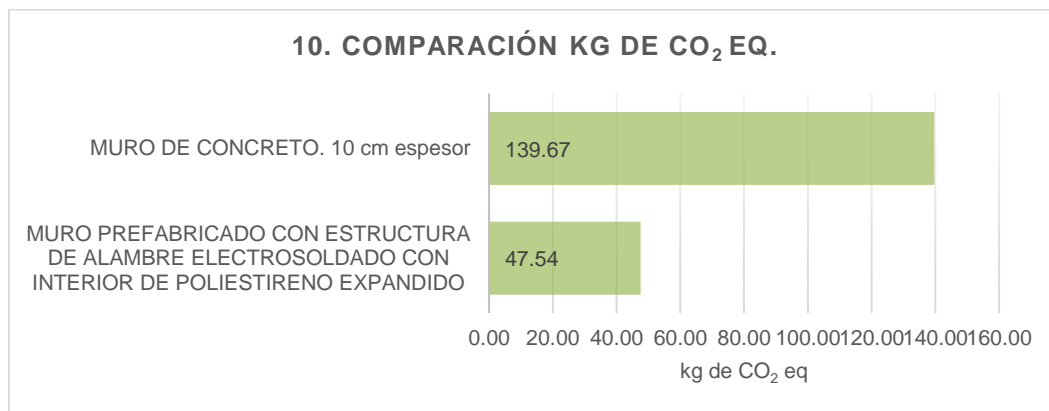


Figura 42. Gráfica de impactos de cambio climático de muro de block de concreto macizo y muro de prefabricado (m²) por kg de CO₂ eq.

El sistema constructivo: Muro prefabricado, es generador de 47.54 kg de CO₂ eq/m². Se consideró un peso total de estructura prefabricada de 2.67 kg/m² para el sistema constructivo, el cual representa una contribución al cambio climático de 8.44 kg de CO₂ eq/m² (18%), mientras que el mortero generó 39.10 kg de CO₂ eq/m² (82%).

El resultado de anterior, concuerda con lo reportado por Mateus *et. al* (2013), que señala una contribución de 42.4 kg de CO₂ eq/m².

2. Caso de estudio: Losa

Losa de concreto macizo (dimensiones 10 cm) macizo de concreto armado, con una resistencia f'c 200 kg=cm², de 10 cm de espesor, armada con varilla de refuerzo de 3/4", cimbra auxiliar de madera, colado manual, compactado y curado, contra losa de vigueta de concreto y bovedilla de EPS de 18 cm de peralte con canaletas de acero.

Tabla 30. Comparación entre losa de concreto y losa de vigueta de concreto y bovedilla de EPS.

No.	11. Comparación	kg de CO ₂ eq.
11	LOSA DE CONCRETO MACIZO 10 CM.	139.67
	LOSA DE VIGUETA DE CONCRETO Y BOVEDILLA DE EPS*.	89.38

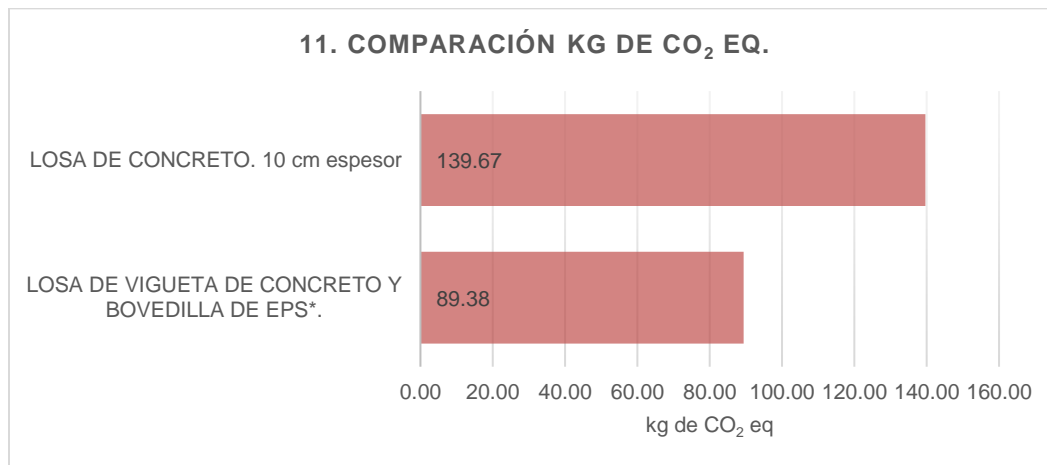


Figura 43. Gráfica de impactos de cambio climático de losa de concreto y losa de vigueta de concreto y bovedilla de EPS (m²) por kg de CO₂ eq.

2.1. Comparación de losa de concreto macizo frente a losa de vigueta de concreto y bovedilla EPS

El sistema losa de vigueta de concreto y bovedilla EPS analizado presenta un peso total de 205 kg/m², de los cuales sólo 5.70 kg corresponden al perfil de bovedilla de EPS y canaleta, y el resto es el peso del concreto que da estructura a la losa.

El análisis realizado muestra que este sistema genera 89.38 kg de CO₂ eq por m² de construcción, de los cuales el 65% son aportados por el concreto y el 35% por el perfil de bovedilla de EPS y canaleta (Tabla 30 y Figura 43). Por lo anterior, a mayor uso de concreto, mayores emisiones de GEI.

El estudio detallado de la huella de carbono del perfil de bovedilla de EPS y canaleta muestra que la mayor aportación de CO₂ eq se debe (en un 12%) al acero comercial de la canaleta, al uso del estireno durante el proceso de fabricación del EPS (58%) y al uso de gas natural (25%).

3. Caso de estudio: Ventana.

3.1. Ventana de aluminio frente a ventana de PVC

La línea base del análisis de ventanas está conformada por una ventana de aluminio de 1 ½” con vidrio de 3mm de espesor y se comparará contra una ventana de PVC de 1 ½” con vidrio de 6 mm de espesor. Los resultados se presentan en la Figura 44 y **Tabla 31**.

Tabla 31. Comparación entre ventana de aluminio y ventana de PVC.

No.	12. Comparación	kg de CO ₂ eq.
12	VENTANA DE ALUMINIO. 1 ½ “	68.11
	VENTANA DE PVC 1 ½ “	23.29

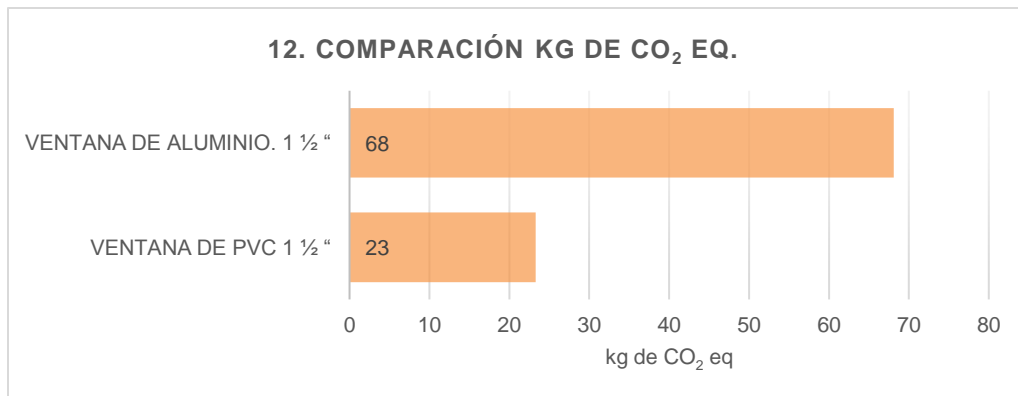


Figura 44. Gráfica de impactos de cambio climático de ventana de aluminio y ventana de PVC (m²) por kg de CO₂ eq

El sistema de ventana de aluminio, es responsable de la generación de 68.11 kg de CO₂ eq/m² de construcción (Figura 44 y Tabla 31), de los cuales el perfil de aluminio representa una contribución al Cambio Climático del 86% (58.51 kg de CO₂ eq/m²) del impacto total de la ventana y el 14% restante es ocasionado por el vidrio de 3mm.

El análisis presentado en este estudio se basa en aluminio 100% virgen, debido a que no se encontraron datos que permitirán identificar la cantidad de aluminio de segunda vida, que se usa en la fabricación de perfiles de ventanas.

En este sentido, es posible que la mayor parte de los perfiles de ventanas de aluminio se fabriquen con aluminio virgen ya que según Margain Santos, Director de la empresa recicladora de aluminio ARZYZ (Arteaga, 2014): *México es un país en donde la recolección y reciclaje de aluminio (principalmente latas), es eficiente pero la mayor parte es exportado a Estados Unidos, mientras que México importa anualmente 1 millón de toneladas de lámina de aluminio virgen.*

Esta circunstancia y falta de una eficiente política pública, puede ser el origen de la diferencia en impactos al cambio climático por este material, ya que para España; Zabalza, et al., (2011) y González y García (2006); reportan que la contribución de emisiones GEI del perfil de aluminio para ventanas genera 8.57 y 3.0847 kg de CO₂ eq/kg de aluminio usado, respectivamente.

Considerando lo anterior y tomando en cuenta que 1 m² de ventana requiere 2.17 kg de perfil de aluminio, las emisiones en España estarían entre 6.7 y 18.6 kg de CO₂ eq/perfil de ventana de 1m²; mientras que en México son de 58.51 kg de CO₂ eq.

El aprovechamiento de aluminio reciclado en perfiles de ventanas permitiría mitigar entre el 90 y 95% de las emisiones de CO₂ eq (Borsani, 2011), (Ministerio de Agricultura, 2014).

Con respecto a la ventana de PVC, se encontró que genera 23.29 kg de CO₂ eq por m² de construcción. Estos resultados se deben principalmente a que se requiere menor cantidad de energía para producir un kg de perfil de PVC que para producir un kg de perfil de aluminio.

En este sentido, las emisiones GEI del perfil de PVC por transporte alcanzan el 58%, mientras que el uso de electricidad genera el 37% y la fabricación del etileno dicloro vinilo un 5%. Es importante destacar que los impactos por transporte se deben a la importación del etileno dicloro vinil monomero que sale en camión de Wittmund Alemania hacia el puerto de Hamburgo, donde se embarca a Veracruz, para posteriormente ser transportado en camión a Guanajuato, donde se fabrica el perfil de PVC.

Como parte del sistema constructivo de 1m² de ventana de PVC, se consideró un peso de 1.88 kg/m² del perfil PVC, el cual representa una contribución al Cambio Climático de 25% (5.93 kg de CO₂ eq/m²) del impacto total de la ventana.

El resultado mostrado en la Tabla 31 y Figura 44, ha sido comparado con valores encontrados en reportes de Environmental Product Declarations (EPD). IRAT PLASTIK KAUÇUK SAN. VE TIC. AS & The International EPD® System Teknik Komitesi, 2015 reportan para PVC fabricado en Turquía; un valor en la categoría de Calentamiento Global de 5.04 kg CO₂eq/kg de PVC mientras que en este estudio se identificaron 3.15 kg CO₂eq/kg de PVC. Esta diferencia en emisiones GEI esta relacionada con los combustibles utilizados para la producción de electricidad, ya que al ser un insumo muy relevante en los procesos, impacta en la cantidad de emisiones.

En este sentido, en Turquía genera casi el 60% de su electricidad con carbón, mientras que en México sólo el 3.5% se genera con este combustible, el cual produce un alto nivel de emisiones de CO₂ equivalentes. (SENER, 2015) (VV.AA, 2011).

Con respecto a la placa de vidrio se determinó que 1 kg de este material produce 5.91 kg de CO₂ eq. Para analizar el sistema constructivo de una ventana con perfil de PVC se consideró un vidrio de 6 mm lo cual representa un peso de 12.30 kg/m² de ventana. Este escenario de 1 ventana con perfil de PVC y vidrio de 6mm genera 23.29 kg de CO₂ eq/m², de los cuales 17.30 (75%) de las emisiones GEI son generadas por el vidrio.

Para la ventana de 1m² con perfil de aluminio y vidrio de 3mm, se determinó un impacto de 68.11 kg de CO₂ eq, de los cuales 58.51 (86%) son generados por el perfil del aluminio, mientras que 9.6 kg de CO₂ eq corresponden al vidrio de 3mm (14%).

En España, Zabalza et al. (2011), reportan 1.136 kg de CO₂ eq/kg de vidrio, y González y García (2006), publican un valor de 0.2568 kg de CO₂ eq/kg de vidrio. Estos valores son inferiores a las emisiones calculadas para México en este estudio (1.41 kg de CO₂ eq /kg) debido a que en México sólo se alcanza un porcentaje de reciclaje de vidrio de 24%, mientras que España logra el 41%.

Esta baja tasa de reciclaje de vidrio en México impacta en las emisiones que se generan por los sistemas de ventanas, ya que el reciclaje de vidrio propicia un ahorro de energía del 32% con respecto al vidrio fabricado con materiales vírgenes. (Saldaña, 2014).

EVALUACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DEL TRANSPORTE

En la siguiente sección se muestran los resultados obtenidos como parte de la clasificación y caracterización realizados con el método de análisis CML 2001 del programa de ciclo de vida Open LCA utilizando la base de datos MEXICV desarrollada por el CMM durante el año 2014 con información específica para México del proceso de transporte llamado Transportation mix, diesel powered (road, water and train)

CAMBIO CLIMÁTICO.

Los resultados de la huella de carbono del transporte (en tkm) de las plantas de producción al sitio de construcción fueron obtenidos a través del software OPEN LCA. La

Tabla 32 muestra cada sistema constructivo utilizado, el peso, las distancias, las toneladas-kilometro y la huella de carbono de cada sistema.

Para cuantificar las emisiones por transporte se establecieron 20 distancias del lugar de fabricación al sitio de construcción.

En la

Tabla 32 se presentan las cantidades de kg de CO₂ eq. Generadas por el transporte (de la planta de producción al sitio de construcción) de cada sistema productivo. Cabe resaltar que se considera que los blocks de concreto utilizados para construir muros concreto y losa de concreto, además del block de adobe, tienen una distancia de la planta de producción al sitio de construcción constante de 25km, esto se debe a que las prácticas de construcción contemplan la fabricación de estos materiales en las mismas ciudades donde se construyen las viviendas. Se consideraron un total de 20 distancias, las cuales fueron propuestas por la Sociedad Hipotecaria Federal. Para calcular las distancias entre ambos puntos se utilizó la herramienta de google maps.

Cabe mencionar que para facilitar el cálculo de distancias, se parte de que el sistema constructivo es construido en la fábrica y se desplaza construido para colocarse a la distancia que se seleccione en la herramienta.

La

Tabla 32 posee el un metro cuadrado del sistema, la distancia del primer material y la distancia del segundo material, se entiende por primer material al material base, es decir muro de concreto, muro de block de concreto macizo, muro de block de concreto hueco, muro de block cerámico, muro de block cerámico con EPS, muro de block de adobe industrializado, muro prefabricado de alambre con interior de poliestireno expandido, losa de concreto, losa de vigueta y bovedilla de EPS con canaletas de aluminio, vidrio de 3mm y 6 mm. Se entiende por material 2 el segundo material que complementa el sistema constructivo es decir: aislante EPS, perlita mineral expandida con silicón, aislante de polímero aminoplasto de espuma inyectado, perfil de PVC y perfil de aluminio. Las toneladas kilómetro (t*km) es el peso por la distancia que recorre el material, este se coloca en el software de acceso libre openLCA para obtener las emisiones que se encuentran en la columna kg CO₂ eq. /m² por transporte a sitio de fabricación.

Tabla 32. Distancias entre los lugares de fabricación de materiales y las ciudades de construcción

No.	Sistema (m ²)	Distancia Lugar de fabricación-Ciudad de construcción (km) (MATERIAL 1)	Distancia de fabricación - Ciudad de construcción (km) (MATERIAL 2) ¹	Tkm (OPEN LCA)	kg CO ₂ eq. /m ² por transporte a sitio de fabricación
MUROS					
1	MURO DE CONCRETO (MATERIAL 1)	25	N/A	6.3519125	1.25409
2	MURO DE BLOCK DE CONCRETO MACIZO (MATERIAL 1)	25	N/A	5.712825	1.12769

3	MURO DE BLOCK DE CONCRETO HUECO (MATERIAL 1)	25	N/A	4.79365125	0.946
4	BLOCK DE CONCRETO HUECO (MATERIAL 1)	25	25	4.80381125	0.9480
			50	4.81397125	0.9500
			75	4.82413125	0.9520
			100	4.83429125	0.9540
			150	4.85461125	0.9580
			200	4.87493125	0.9620
			250	4.89525125	0.9661
			350	4.93589125	0.9741
			450	4.97653125	0.9821
	ASILANTE EPS (MATERIAL 2)	25	550	5.01717125	0.9901
			750	5.09845125	1.0062
			950	5.17973125	1.0222
			1150	5.26101125	1.0382
			1450	5.38293125	1.0623
			1750	5.50485125	1.0864
			2050	5.62677125	1.1104
			2500	5.80965125	1.1465
			3000	6.01285125	1.1866
			3500	6.21605125	1.2267
5	MURO DE BLOCK DE CONCRETO HUECO (MATERIAL 1)	25	25.00	4.91021375	0.9690
			50.00	5.02677625	0.9920
			75.00	5.14333875	1.0150
			100.00	5.25990125	1.0380
			150.00	5.49302625	1.0840
			200.00	5.72615125	1.1300
			250.00	5.95927625	1.1760
			350.00	6.42552625	1.2680
			450.00	6.89177625	1.3601
			550.00	7.35802625	1.4521
			750.00	8.29052625	1.6361
			950.00	9.22302625	1.8201
			PERLITA MINERAL EXPANDIDA CON SILICON (MATERIAL 2)	25	1150.00
	1450.00	11.5542762			2.2802
	1750.00	12.9530262			2.5562
	2050.00	14.3517762			2.8322

			2500.00	16.4499012	3.2463
			3000.00	18.7811512	3.7064
			3500.00	21.1124012	4.1664
			4000.00	23.4436512	4.6265
6	MURO DE BLOCK DE CONCRETO HUECO (MATERIAL 1)	25	25	4.83483674	0.9541
			50	4.87602223	0.9623
			75	4.91720772	0.9704
			100	4.95839321	0.9785
			150	5.04076419	0.9948
			200	5.12313517	1.0110
			250	5.20550615	1.0273
			350	5.37024811	1.0598
			450	5.53499007	1.0923
			550	5.69973203	1.1248
	AISLANTE DE POLÍMERO AMINOPLASTO DE ESPUMA INYECTADO (MATERIAL 2)	25	750	6.02921595	1.1898
			950	6.35869987	1.2549
			1150	6.68818379	1.3199
			1,450	7.18240967	1.4174
			1,750	7.67663555	1.5149
			2,050	8.17086143	1.6125
			2,500	8.7204542	1.7209
			3,000	9.73591005	1.9213
			3,500	10.5596198	2.0839
			4,000	11.3833296	2.2464
7	BLOCK CERÁMICO (MATERIAL 1)	25	N/A	3.1455	0.6207
		50		6.291	1.2415
		75		9.4365	1.8622
		100		12.582	2.4830
		150		18.873	3.7245
		200		25.164	4.9660
		250		31.455	6.2075
		350		44.037	8.6905
		450		56.619	11.1734
		550		69.201	13.6564
		750		94.365	18.6224
		950		119.529	23.5884
		1150		144.693	28.5543
		1,450		182.439	36.0033

		1,750		220.185	43.4523
		2,050		257.931	50.9012
		2,500		314.55	62.0747
		3,000		377.46	74.4896
		3,500		440.37	86.9045
		4,000		503.28	99.3195
8	BLOCK CERÁMICO CON EPS (MATERIAL 1)	25	N/A	2.51121125	0.4956
		50		5.0224225	0.9911
		75		7.53363375	1.4867
		100		10.044845	1.9823
		150		15.0672675	2.9734
		200		20.08969	3.9646
		250		25.1121125	4.9557
		350		35.1569575	6.9380
		450		45.2018025	8.9203
		550		55.2466475	10.9026
		750		75.3363375	14.8672
		950		95.4260275	18.8318
		1150		115.515717	22.7964
		1,450		145.650252	28.7433
		1,750		175.784787	34.6901
		2,050		205.919322	40.6370
		2,500		251.121125	49.5573
3,000	301.34535	59.4688			
3,500	351.569575	69.3803			
4,000	401.7938	79.2917			
9	BLOCK DE CONCRETO CELULAR (MATERIAL 1)	25	N/A	2.565	0.5062
		50		5.13	1.0124
		75		7.695	1.5186
		100		10.26	2.0248
		150		15.39	3.0371
		200		20.52	4.0495
		250		25.65	5.0619
		350		35.91	7.0866
		450		46.17	9.1114
		550		56.43	11.1361
		750		76.95	15.1856
		950		97.47	19.2352
		1150		117.99	23.2847

		1,450		148.77	29.3589
		1,750		179.55	35.4332
		2,050		210.33	41.5074
		2,500		256.5	50.6188
		3,000		307.8	60.7426
		3,500		359.1	70.8664
		4,000		410.4	80.9901
10	MURO PREFABRICADO DE ALAMBRE Y ALMA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (MATERIAL 1)	25	N/A	2.565	0.5062
		50		5.13	1.0124
		75		7.695	1.5186
		100		10.26	2.0248
		150		15.39	3.0371
		200		20.52	4.0495
		250		25.65	5.0619
		350		35.91	7.0866
		450		46.17	9.1114
		550		56.43	11.1361
		750		76.95	15.1856
		950		97.47	19.2352
		1150		117.99	23.2847
		1,450		148.77	29.3589
		1,750		179.55	35.4332
		2,050		210.33	41.5074
		2,500		256.5	50.6188
3,000	307.8	60.7426			
3,500	359.1	70.8664			
4,000	410.4	80.9901			
11	BLOCK DE ADOBE (MATERIAL 1)	25	N/A	8.0375	1.5862
				8.0375	1.5862
				8.0375	1.5862
				8.0375	1.5862
				8.0375	1.5862
				8.0375	1.5862
				8.0375	1.5862
				8.0375	1.5862
				8.0375	1.5862
				8.0375	1.5862
				8.0375	1.5862

				8.0375	1.5862
				8.0375	1.5862
				8.0375	1.5862
				8.0375	1.5862
				8.0375	1.5862
				8.0375	1.5862
				8.0375	1.5862
				8.0375	1.5862
				8.0375	1.5862
LOSA					
11	LOSA DE CONCRETO MACIZO 10 CM (MATERIAL 1)	25	N/A	6.3519125	1.25409
12	LOSA DE VIGUETA DE CONCRETO Y BOVEDILLA DE EPS (MATERIAL 1)	25	N/A	5.125	1.0119
		50		10.25	2.0237
		75		15.375	3.0356
		100		20.5	4.0474
		150		30.75	6.0711
		200		41	8.0948
		250		51.25	10.1185
		350		71.75	14.1660
		450		92.25	18.2134
		550		112.75	22.2608
		750		153.75	30.3556
		950		194.75	38.4505
		1150		235.75	46.5453
		1,450		297.25	58.6876
		1,750		358.75	70.8298
		2,050		420.25	82.9721
2,500	512.5	101.1855			
3,000	615	121.4225			
3,500	717.5	141.6596			
4,000	820	161.8967			
VENTANA					
13	VIDRIO 6MM (MATERIAL 1)	25	25	0.3545	0.0700
		50	50	0.709	0.1400
		75	75	1.0635	0.2100
		100	100	1.418	0.2800
		150	150	2.127	0.4199

		200	200	2.836	0.5599		
		250	250	3.545	0.6999		
		350	350	4.963	0.9799		
		450	450	6.381	1.2598		
		550	550	7.799	1.5398		
		750	750	10.635	2.0997		
	PERFIL PVC (MATERIAL 2)	950	950	13.471	2.6596		
		1150	1150	16.307	3.2196		
		1,450	1,450	20.561	4.0595		
		1,750	1,750	24.815	4.8994		
		2,050	2,050	29.069	5.7392		
		2,500	2,500	35.45	6.9991		
		3,000	3,000	42.54	8.3989		
		3,500	3,500	49.63	9.7987		
		4,000	4,000	56.72	11.1985		
		14	VIDRIO 3MM (MATERIAL 1)	25	25	0.22497	0.0444
				50	50	0.44994	0.0888
				75	75	0.67491	0.1333
				100	100	0.89988	0.1777
150	150			1.34982	0.2665		
200	200			1.79976	0.3553		
250	250			2.2497	0.4442		
350	350			3.14958	0.6218		
450	450			4.04946	0.7995		
550	550			4.94934	0.9772		
PERFIL ALUMINIO (MATERIAL 2)	750		750	6.7491	1.3325		
	950		950	8.54886	1.6878		
	1150		1150	10.34862	2.0432		
	1,450		1,450	13.04826	2.5762		
	1,750	1,750	15.7479	3.1092			
	2,050	2,050	18.44754	3.6422			
	2,500	2,500	22.497	4.4417			
	3,000	3,000	26.9964	5.3300			
	3,500	3,500	31.4958	6.2184			
	4,000	4,000	35.9952	7.1067			

HERRAMIENTA PARA CALCULAR LA HUELLA DE CARBONO CON ENFOQUE DE CICLO DE VIDA PARA LOS SISTEMAS CONSTRUCCION

Con la finalidad de visualizar los resultados del proyecto, se desarrolló una herramienta de cálculo la cual consiste en entorno visual de programación desarrolla en Visual Studio 2015 mediante el entorno de programación visual Basic.

VISUAL BASIC

Visual Basic es una herramienta diseñada para la creación de aplicaciones de manera productiva con seguridad de tipos y orientado a objetos. Visual Basic permite a los desarrolladores centrar el diseño en Windows, la web y dispositivos móviles. Como ocurre con todos los lenguajes destinados a Microsoft .NET Framework, los programas escritos en Visual Basic se benefician de la seguridad y la interoperabilidad de los lenguajes

HUELLA DE CARBONO DEL LA LINEA BASE Y EL PROGRAMA ECOCASA

Como se mencionó, una vez obtenidos las huellas de carbono mediante el software OPEN LCA, se desarrolló un ambiente grafico de programación para poder visualizar los impactos generados de cada sistema productivo de una manera completamente visual. La herramienta proporciona un abanico de opciones para poder comparar los distintos sistemas constructivos entre sí. Estas comparaciones (línea base vs EcoCasa) se realizan entre los muros, losas y ventanas, aunque también es posible calcular combinaciones de estas, esto es, muros y losa, losas y ventanas o los tres sistemas constructivos al mismo tiempo. Además, es posible modificar los metros cuadrados que se comparan y añadir las distancias a donde se construirán los sistemas constructivos. El resultado final es una gráfica donde se compara las emisiones de dióxido de carbono equivalente producidos por los sistemas seleccionados y multiplicados por los m2 requeridos, además de sumar las emisiones por transporte de materiales.

A continuación, se muestran unas imágenes a manera de ejemplo de la herramienta desarrollada.

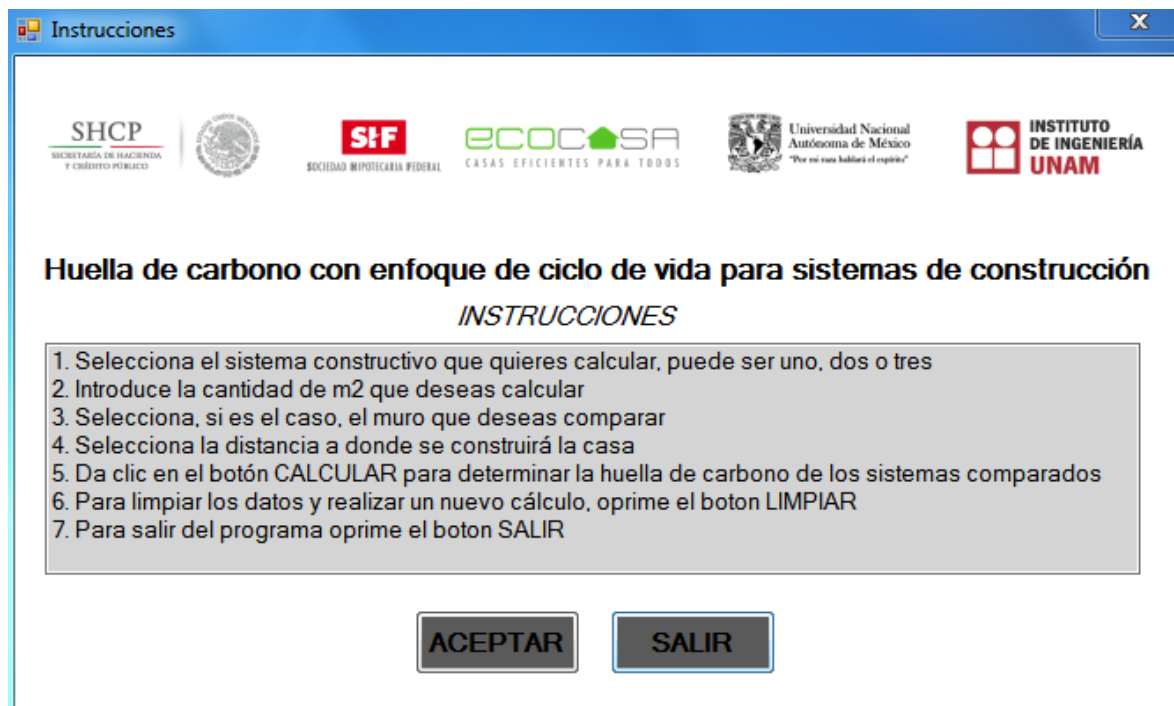


Figura 45. Pantalla de inicio con instrucción para visualizar las huellas de carbono



Figura 46. Pantalla principal.

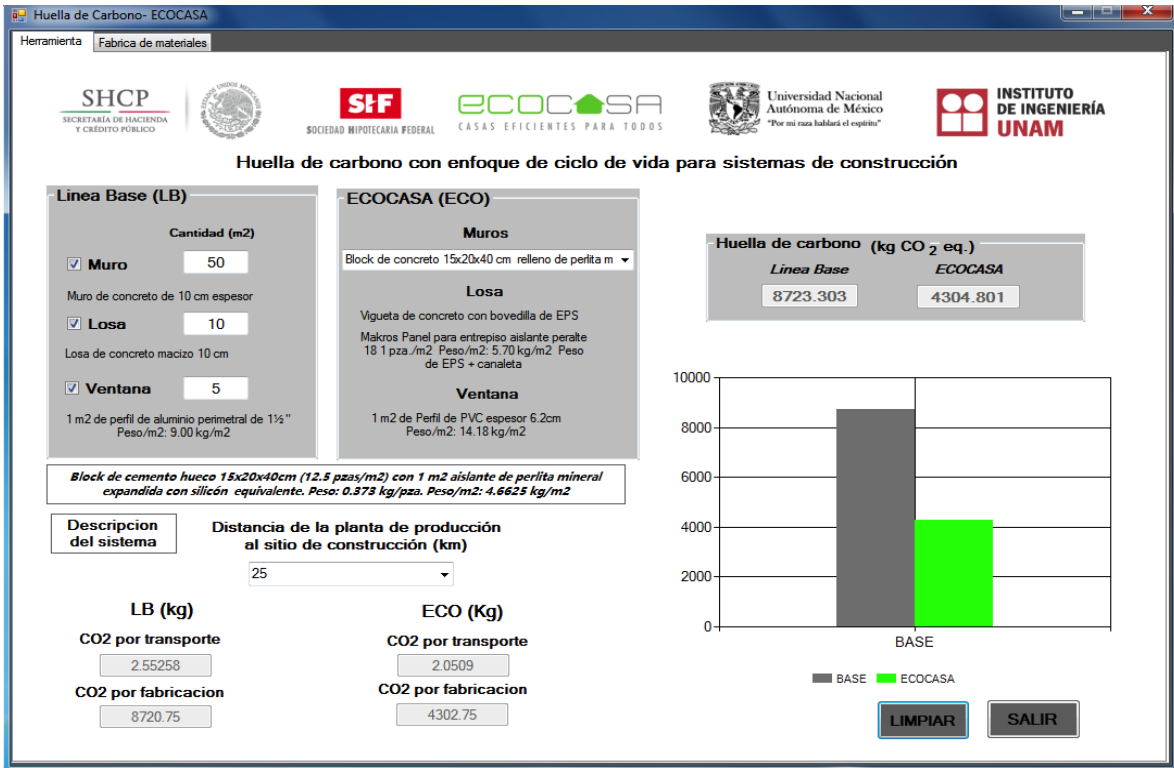


Figura 47. Ejemplo de simulación completa.

Como se puede observar en las Figura 45, Figura 46 y Figura 47, el software es amigable y funciona a través de instrucciones sencillas y precisas que permiten calcular el impacto en cambio climático de la línea base de muro, losa y ventana, así como los sistemas seleccionados por EcoCasa. Existe una descripción de estos sistemas y también puede seleccionarse la distancia hacia el lugar de implementación de la EcoCasa.

En la parte inferior se pueden apreciar los kg de CO₂ eq relacionados con el transporte y aquellos referentes al proceso de fabricación tanto para la línea base (LB) como para la EcoCasa (ECO) los cuales sumados y graficados se presentan en la zona derecha de la pantalla del software.

En el ejemplo mostrado en la Figura 47, se seleccionan como línea base 50 m² de Muro de concreto macizo de 10 cm de espesor, 10 m² de losa de concreto macizo de 10 cm de espesor y 5 m² de ventana de aluminio con vidrio de 3mm de espesor frente a 50 m² de Muro de block hueco con perlita mineral expandida con silicón, 10 m² de losa de vigueta de concreto y bovedilla de EPS y 5 m² de ventana de PVC con vidrio de 6 mm de espesor.

En la parte de distancia al sitio de construcción se seleccionaron 25 km. Al realizar el cálculo se obtiene que la Línea Base posee unos impactos de 8723.303 kg de CO₂ eq y la EcoCasa impacta en menos del 50% con un total de emisiones de 4304.801 kg de CO₂ eq.

Nota:

Es importante resaltar que la herramienta de cálculo no realiza por sí misma, la cuantificación de las huellas de carbono ni de los sistemas constructivos ni de las distancias de los sitios de fabricación a los sitios de construcción; sino que utiliza los datos de las huellas de carbono que fueron introducidos de manera manual cuando se llevó a cabo la programación, por lo tanto, los resultados visualizados son producto de los cálculos realizados como parte de este estudio y con el apoyo de la base de datos generada y a través del software OPEN LCA.

Tanto la base de datos generada, como la actualización de la base de datos del Centro Mario Molina, el software OPEN LCA con las simulaciones y la herramienta computacional descrita; forman parte de los entregables de este Informe y se adjuntan en formato digital.

CONCLUSIONES.

A partir de los resultados y la discusión presentados en este estudio y considerando específicamente los límites del sistema planteados, que van desde la extracción de las materias primas hasta la fabricación de los sistemas de construcción de un metro cuadrado de muro, un metro cuadrado de losa y un metro cuadrado de ventana; se puede concluir lo siguiente:

- De los sistemas analizados, la línea base, conformada por el muro de concreto macizo, la losa de concreto macizo y la ventana de aluminio, constituyen los sistemas de construcción con mayor huella de carbono.
- El metro cuadrado de muro de concreto macizo de 10 cm de espesor genera 139.67 kg de CO₂ eq, seguido de muro de block de concreto macizo de 12x20x40cm con 75.71 kg de CO₂ eq/m² y el muro de adobe industrializado de 15x15x30 cm con 70.50 kg de CO₂ eq/m². Cabe mencionar que el adobe realizado de manera tradicional no genera impactos ya que los ladrillos se hacen con materiales del sitio (arcilla y paja) y no requieren de combustibles.
- Los sistemas con menor impacto fueron: Muro de block cerámico con 29 kg de CO₂ eq/m², seguido por el muro de block cerámico con EPS con 37 kg de CO₂ eq/m² y el muro prefabricado con estructura de alambre electrosoldado con interior de poliestireno expandido, con 48 kg de CO₂ eq/m².
- Los sistemas intermedios cuyos rangos abarcaron entre 51 y 66 kg de CO₂ eq/m² fueron, de menor a mayor impacto: Muro de block de concreto celular con 51 kg de CO₂ eq/m², muro de block de concreto hueco 15x20x40cm con 63.11 kg de CO₂ eq/m², muro de block de concreto hueco relleno de aislante de polímero aminoplasto de espuma inyectado con 63.94 kg de CO₂ eq/m², muro de block de concreto hueco con aislante EPS 1" de 15x20x40cm con 63.98 kg de CO₂ eq/m² y muro de block de concreto hueco con perlita mineral expandida con silicona con 65.85 kg de CO₂ eq/m².
- Con respecto a las losas analizadas, la de concreto macizo de 10 cm de espesor generó 139.67 kg de CO₂ eq/m², mientras que la losa de bovedilla de EPS con canaleta de aluminio y vigueta de concreto posee menos impactos ambientales emitiendo 89.38 kg de CO₂ eq/m².
- Dentro del análisis de las ventanas, la ventana de aluminio posee mayores impactos que la ventana con perfil de PVC, generando 68.11 y 23.29 kg de CO₂ eq/m², respectivamente. El kilo de vidrio genera 1.41 kg de CO₂ eq y evidentemente, el vidrio de 6mm requiere más cantidad de vidrio que el de 3mm. Las emisiones de GEI para 1m² de vidrio de 6 mm son de 17.30 kg de CO₂ eq y para 1m² de vidrio de 3mm son 9.60 kg de CO₂ eq/m².
- A partir de los resultados obtenidos se identifica que la cantidad de cemento y gas natural, así como la tecnología utilizada, el transporte de las materias primas y la electricidad, son en términos generales, los procesos que más relevancia tienen en la huella ambiental de los sistemas de construcción analizados.
- El cemento es el principal contribuyente al cambio climático en el caso del muro de concreto macizo de 10 cm, block de concreto macizo, block de concreto hueco, block de adobe y block de concreto celular. En este sentido es importante mencionar que la industria cementera en nuestro país busca la disminución de impactos ambientales y para ello, cementeras como Cemex, han comenzado a utilizar residuos municipales de alto poder calorífico como un combustible alternativo que sustituye coque de petróleo y con ello se ha logrado disminuir en más de 3% la huella de carbono del cemento.

- El gas natural es el insumo que genera mayores emisiones GEI para el muro de block de concreto hueco con aislante EPS, muro de block de concreto hueco con perlita mineral expandida y muro de block de concreto hueco relleno de aislante de polímero aminoplasto.
- La electricidad es un insumo relevante para la ventana de aluminio, la ventana de PVC y el muro prefabricado con estructura de alambre electrosoldado con interior de poliestireno expandido.
- El transporte es particularmente relevante en el caso de la ventana de PVC, cuyos insumos vienen de Alemania.
- Es importante destacar que a mayor distancia entre los centros de fabricación de materiales y los lugares de construcción, se tendrán mayores emisiones por transporte, las cuales podrán ser analizadas de manera particular, para cada caso, con el uso de la herramienta computacional que forma parte de este estudio.
- Las materias primas como poliestireno en el caso del muro prefabricado con estructura de alambre electrosoldado con interior de poliestireno expandido, y el estireno para la bovedilla de EPS; generan un impacto significativo al cambio climático en el ciclo de vida de éstos sistemas.
- Los materiales tradicionales como es el caso del adobe (no industrial), pueden tener un beneficio a nivel de desarrollo sostenible, generando empleo local.
- Es determinante el poder considerar los impactos por emisiones durante el uso de estos sistemas ya que sus cualidades termicas y acústicas pueden hacer que los impactos difieran totalmente durante el uso. Es decir, si durante el uso se requiere de un aislamiento térmico para mantener una temperatura confortable dentro de un inmueble, puede ocurrir que se necesite no solo un panel de cierto material sino dos, o un grosor mayor al establecido en este estudio, por lo que la etapa de uso será determinante para calcular la huella de carbono total de un sistema constructivo. En este sentido el Programa EcoCasa de Sociedad Hipotecaria Federal, cuenta con una herramienta computacional que permite calcular con detalle las emisiones de gases de efecto invernadero debido a la etapa de uso de una vivienda y considerando su diseño, orientación y confort; las cuales serán integradas a los resultados de este trabajo para tener las emisiones totales. En el Anexo B se incluye un comparativo del desempeño térmico de cada sistema analizado.
- Este análisis determina las emisiones de CO₂ eq por 1 m² de sistema de construcción, tomando en cuenta el transporte de materias primas hacia la ubicación de las plantas de fabricación de los materiales, lo cual implica tener un muro o losa construida en la fábrica de los proveedores seleccionados. Por lo anterior, si se requiere construir una casa de block cerámico con EPS en Mérida hay que tomar en cuenta que el proveedor de este material únicamente existe en Nuevo León y de aquí partiría el material hasta Mérida en camión, por lo tanto hay que considerar la distancia y las emisiones asociadas al transporte para cada uno de los materiales, lo cual se logra con el uso de la herramienta computacional que forma parte de este trabajo. Adicionalmente se presenta un caso de estudio que ejemplifica esto en la sección de transporte.
- Como se menciona previamente, el presente estudio no calcula los impactos ambientales generados por el uso de transporte, estos se calculan mediante la herramienta anteriormente mencionada por lo que la huella de carbono puede aumentar dependiendo de la distancia a la que se emplace el material. Por ejemplo el sistema constructivo con menor emisiones podría generar más CO₂ eq si se incrementa la distancia y otro material como el adobe que es un material local no incrementa nunca su distancia y por ende no aumenta su huella de carbono por transporte del material.

RECOMENDACIONES.

- Solicitar a los fabricantes que utilicen cemento que utilice en su fabricación combustibles alternos, específicamente residuos municipales de alto poder calorífico (FIRSU).
- Fomentar el uso de tecnologías ecoeficientes y combustibles alternos en los procesos industriales de fabricación de materiales.
- Apoyar el desarrollo de un sistema mexicano de Ecoetiquetado para el sector de la construcción.
- Utilizar materiales que se encuentren lo más cercano posible al sitio de construcción para disminuir impactos.
- Preferir materiales nacionales sobre materiales importados.
- En caso de preferir alguna construcción realizada con adobe, optar por ladrillos más altos para disminuir el uso del mortero o bien, utilizar un adobe tradicional (sin cemento) y mortero realizado en sitio con tierra, arena y paja.
- Realizar un Análisis de Ciclo de Vida con énfasis en huella de carbono para conocer los resultados de los materiales en la etapa de uso y disposición final.
- Seleccionar el material correcto para cada lugar, considerando el transporte del mismo.
- La etapa de disposición final también debería ser considerada en el impacto, no obstante estudios preliminares realizados por el Centro Mario Molina muestran que durante la etapa de demolición los impactos son menores al 1%, sin embargo, es importante analizar las emisiones por disposición final (no sólo por demolición), para tener los impactos reales de un material a través de su vida útil.
- Se recomienda considerar el mantenimiento y sustitución de materiales a través de la vida útil de los mismo.
- Para futuros estudios se sugiere incorporar de manera formal a los fabricantes de materiales para lograr una mayor cantidad y puntualidad de los datos proporcionados. Con esto se podría ampliar el número de impactos analizados, como podría ser las emisiones contaminantes (calidad del aire), toxicidad humana (daños a la salud humana), entre otros.
- Esta informe es específico para ser usado bajo las dimensiones de los materiales establecidas, sin embargo, también presenta resultados por kg de material, lo cual permitirá que en casos específicos, se pueda calcular los impactos por kg y no por dimensiones. Esto permitirá que SHF cuente con estimaciones de emisiones para materiales con diferentes dimensiones.
- Para materiales diferentes a los analizados en este estudio, se deberá de desarrollar nuevos análisis.
- La realización de una Cátedra de Investigación en Impactos de Ciclo de Vida de Materiales entre SHF y el Instituto de Ingeniería, permitiría el desarrollo de investigación continua en una amplia gama de materiales y sistemas de construcción, incluyendo la realización de Declaraciones Ambientales de Productos (Environmental Product Declarations, EPD) para materiales.

REFERENCIAS.

- Alvarez, A. E. (2009, 01 26). *Tectonico*. Retrieved 11 17, 2015, from Vivienda Antigua en Mexico: <http://ecatectonico.blogspot.mx/2009/01/vivienda-antigua-en-mexico.html>
- Arbeitsgemeinschaft Umwel Tverträgliches Bauprodukt E.V. (2005). *ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION according to ISO 14025. Ytong Autoclaved Aerated Concrete from Xella Baustoffe GmbH*. Alemania: Arbeitsgemeinschaft Umwel Tverträgliches Bauprodukt E.V.
- ARPAL. (2012). Retrieved from La recuperación de envases de Aluminio: <http://aluminio.org/wp-content/uploads/2013/12/EstudioARPAL2012.pdf>
- Arteaga, J. R. (2014). *México 'se dobla' en el mercado de aluminio*. Revista Forbes, Negocios. México: Revista Forbes. Retrieved from Revista Formes México: <http://www.forbes.com.mx/mexico-se-dobla-en-el-mercado-de-aluminio/>
- Asif, M., Muneer, T., & Kubie, J. (2005). Sustainability analysis of window frames. . *BUILDING SERV ENG RES TECHNOL*, 26.
- Banco Mundial. (2015). *El Banco Mundial*. Retrieved 11 12, 2015, from <http://datos.bancomundial.org/indicador/SP.POP.TOTL/countries>
- Borsani, M. S. (2011, 03 04). *Materiales ecológicos, estragegias, alcance y aplicación de los materiales ecológicos como generadores de Hábitats urbanos sostenibles*. Retrieved from Master Arquitectura y Sostenibilidad: <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/13759/Borsani,%20Mar%C3%ADa%20Silvia.pdf>
- Brabec, J. (2009). Environmental Product Declaration. Concrete Blocks. KB Blocks, KLASIK Blocks, KB ATLAS Blocks, KLASIK XC Blocks, KB STROP XC Roo. *KB-BLOK system, s.r.o.*
- BRE Global Ltd. (2014). *ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION is in accordance with the requirements of: EN 15804:2012 Hanson Thermalite Autoclaved Aerated Concrete Block. EPD Number: BREG ENEPD 000001. Issue: 01*. UK: BRE Global Ltd. Retrieved from http://www.greenbooklive.com/filelibrary/EN_15804/EPD/Hanson-Verified-EPD-240214.pdf
- BRE Global Ltd. (2015). *ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION is in accordance with the requirements of: EN 15804:2012+A1:2013 Hanson Thermalite Autoclaved Aerated Concrete Block (470- 770 kg/m3)*. UK: BRE Global Ltd. Retrieved from http://www.greenbooklive.com/filelibrary/EN_15804/EPD/Hanson-EN-EPD-0001.4.pdf
- BRE Global, Watford, Herts, WD25 9XX, . (2014). *EPD Number: BREG EN EPD 000002*. United Kingdom: BRE Global Ltd.
- Buchanan , A., & Honey , B. (1994). Energy and Carbon Dioxide Implications of Building Construction. *Energy and Buildings*, 20(3), 205-217.
- Cardona, C., Sánchez, D., & Sánchez, O. (2007). Análisis de Ciclo de Vida y su aplicación en la Producción de Bioetanol: Una Aproximación Cualitativa. . *Revista Universidad EAFIT*, 59-79.
- Center for Life Cycle Assessment and Sustainable Design. CADIS. (2014). *Sector Environmental Product Declaration. Expandible Polystyrene (EPS). Insulation Board*. México.
- Centro Mario Molina para estudios estratégicos sobre energía y medio ambiente A.C. (2015). *Huella de Carbono en Materiales de Construcción*. México, Distrito Federal, México: Centro Mario Molina.
- CERAM. Innovation, Sustainability, Quality. (2009). *Confidential Report. UK. Generic Carbon Footprint for the Clay Brick Sector*. UK: CERAM. Innovation, Sustainability, Quality. Retrieved from <http://www.wienerberger.co.uk/ceram-carbon-footprint-report-2013.html>
- CMM. (2014). Inventario de materiales de construcción. *Memorias de Proyecto de acceso restringido*. México: Centro Mario Molina.
- COMFORT HOME PANAMÁ. (2012). *Catalogo Técnico. Sistemas Constructivos. Impermeabilización, Aislamiento Térmico y Acústico*. Panamá: COMFORT HOME PANAMÁ.
- Condeixa, K., Haddad, A., & Boer, D. b. (2014). Life Cycle Impact Assessment of masonry system as inner walls: A case study in Brazil. *Construction and Building Materials*, 141–147. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.113>

- CONSTRUCTOR, MANUAL DEL. (n.d.). *CEMEX MEXICO*. Retrieved 03 10, 2016, from CEMEX: <https://www.cemexmexico.com/Concretos/files/Manual%20del%20Constructor%20-%20Construcción%20General.pdf>
- CONUEE. (2009, Diciembre). *Metodologías para la Cuantificación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y de Consumos Energéticos Evitados por el Aprovechamiento Sustentable de la Energía*. Retrieved 12 26, 2015, from CONUEE: http://www.conuee.gob.mx/work/files/metod_gei_cons_evit.pdf
- CONUEE. (2013). *La importancia de los edificios como usuarios de energía y las acciones de la CONUEE*. México.
- CONVINTEC. (2015). Retrieved 09 09, 2015, from <http://www.covintec.com/muros-prefabricados/>
- Cotana , F., & Goretti, M. (2008). Energetic and Environmental Certification of Building Materials. *Proceedings of the 1st International Congress on Built Environment and Sustainable Development "MACDES"*, 6-14.
- Cotana, F., & Goretti, M. (2008). Energetic and Environmental Certification of Building Materials. *Proceedings of the 1st International Congress on Built Environment and Sustainable Development "MACDES"*, 6-14.
- De buen, O. (2009). *Greenhouse Gas Emission Baselines and Reduction Potentials from Buildings in Mexico*. United Nations Environment Programme and Sustainable Buildings & Climate Initiative.
- Dixit , M., Fernandez-Solis , J., Lavy , S., & Culp, C. (2010). Identification of Parameters for Embodied Energy Measurement: A Literature review. *Energy Buildings*, 1238-1247. Retrieved from http://ac.els-cdn.com/S0378778810000472/1-s2.0-S0378778810000472-main.pdf?_tid=8bd13c90-c600-11e5-9a72-00000aacb361&acdnat=1454014315_0736e43d9b4846ddd8194626a7197b02
- Domínguez, J., & Juárez, M. (2011). Inventarios para Análisis del Ciclo de Vida de Materiales para la Construcción en el Sureste de México. *CILCA 2011. México*, 42-44.
- Ekvall, T., & Weidema, B. (2004). LCA Methodology System Boundaries and Input Data in Consequential Life Cycle Inventory Analysis. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 9(3), 161-171. Retrieved from <http://download.springer.com/static/pdf/904/art%253A10.1007%252F02994190.pdf?originUrl=http%3A%2F%2Flink.springer.com%2Farticle%2F10.1007%2F02994190&token2=exp=1453920566~acl=%2Fstatic%2Fpdf%2F904%2Fart%25253A10.1007%25252F02994190.pdf%3ForiginUrl%3>
- Estokova, A., & Porhincak, M. (2015). Environmental Analysis of Two Building Material Alternatives in Structures with the Aim of Sustainable Construction. *Clean Techn Environ Policy*, 75–83. Retrieved from <http://download.springer.com/static/pdf/275/art%253A10.1007%252Fs10098-014-0758-z.pdf?originUrl=http%3A%2F%2Flink.springer.com%2Farticle%2F10.1007%2Fs10098-014-0758-z&token2=exp=1454016174~acl=%2Fstatic%2Fpdf%2F275%2Fart%25253A10.1007%25252Fs10098-014-075>
- FANOSA. (2015). Retrieved 11 11, 2015, from <http://www.fanosa.com/productos-placa-aislante.html>
- FIRAT PLASTIK KAUÇUK SAN. VE TIC. AS & The International EPD® System Teknik Komitesi. (2012). *CLIMATE DECLARATION FOR FIRAT LAMINATED PVC PROFILES FOR WINDOWS AND DOORS*. Turquía: The International EPD® System Teknik Komitesi. Retrieved from <http://www.firatpen.com.tr/cmsfiles/certificates/3341/climate-declaration-for-laminated-pvc-profiles-for-windows-and-doors-2.pdf?v=11>
- FIRAT PLASTIK KAUÇUK SAN. VE TIC. AS & The International EPD® System Teknik Komitesi. (2015). *Environmental Product Declaration In accordance with ISO14025 and EN15804 for Laminated PVC Profiles for Windows and Doors*. Turquía: The International EPD® System Teknik Komitesi. Retrieved from <http://www.firatpen.com.tr/cmsfiles/certificates/3340/lamine-kaplama-pvc-pencere-ve-kapi-profilleri-icin-epd-dokumani.pdf?v=11>

- Flórides, G., Christodoulides, P., & Messaritis, V. (2013, 10 31). Reviewing the effect of CO₂ and the sun on global climate. *Renewable and Sustainable Energy reviews*, 26, 639-651. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113003651>
- Frohman, A., & Olmos, X. (2013). *Huella de carbono, exportaciones y estrategias empresariales frente al cambio climático*. Impreso en Naciones Unidas. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL. Retrieved from <http://www.cepal.org/es/publicaciones/4101-huella-de-carbono-exportaciones-y-estrategias-empresariales-frente-al-cambio>
- Fundación CIDOC, SHF. (2014, 11). *Estado Actual de la Vivienda en México 2014*. México, DF, México: DR © CIDOC y SHF.
- García, J., & Peña, S. (2014, Enero - Febrero). Comparativa entre Sistemas Constructivos de Huecos para Ascensores en Función del Análisis de Ciclo de Vida. *Dyna*, 89 (1), 98-105.
- Gobierno de la República. (2013). *ENCC. Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10-20-40*. Gobierno de la República., México.
- González Aizpuru, P. (2004). *Historia de la vida cotidiana en México* (Mesoamérica y los ámbitos indígenas de la Nueva España ed., Vol. 1). México, Distrito Federal, México: Fondo de Cultura económica.
- González, M., & 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*, 902–909. doi:doi:10.1016/j.buildenv.2005.04.006
- GreenDelta GmbH. (2014). *openLCA*. Retrieved from openLCA: <http://www.openlca.org>
- Grupo BARI. (2012). *FICHA TÉCNICA BOVEDILLA POLIESTIRENO DENSIDAD 10 kg/m³*. México: Grupo BARI.
- Grupo XELLA. (2015). *Hebel concreto celular*. Retrieved 11 11, 2015, from http://www.hebel.mx/es/content/block_solido_hebel.php
- Güereca Hernández, L. P. (2006). *Tesis Doctoral. Desarrollo de una metodología para la valoración en el Análisis de Ciclo de Vida aplicada a la gestión integral de residuos municipales*. Barcelona, España, España: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Güereca Hernández, L. P., Torres, N., & Juárez López, C. R. (2015, 05). The co-processing of municipal waste in a cement kiln in Mexico. A life-cycle assessment approach. *Journal of Cleaner Production*, 741-748.
- Hawari, A., Khader, M., Hasan, W., Alijla, M., Manawi, A., & Benamour, A. (2014). A Life Cycle Assessment (LCA) of Aluminium Production Process. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial Mechatronic and Manufacturing Engineering*, 8(4), 704-710. Retrieved from <http://waset.org/publications/9997980/a-life-cycle-assessment-lca-of-aluminum-production-process>
- IHOBE, S.A. (2009). *Análisis de Ciclo de Vida y Huella de Carbono. Dos Maneras de medir el Impacto Ambiental de un Producto*. Bilbao: IHOBE, S.A. Sociedad Pública de Gestión Ambiental. Retrieved from <http://www.euresp-plus.net/sites/default/files/resource/An%C3%A1lisis%20de%20Ciclo%20de%20Vida%20y%20Huella%20de%20Carbono.pdf>
- INEGI. (2015). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. Retrieved 11 12, 2015, from www3.inegi.org.mx
- Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU) & The International EPD®System. (2015). *Environmental Product Declaration as per ISO 14025 and EN 15804 for Expanded Polystyrene Products for Thermal Insulation ISOLCONFORT SRL*. Alemania: Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU).
- Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU). (2014). *EPD-WIE-20130206-IAB1-EN*. Alemania: Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU).
- Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU) and The International EPD®System. (2012). *ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION as per ISO 14025 and EN 15804. Ytong® Autoclaved Aerated Concrete (AAC)*. Alemania: Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU) and The International EPD®System.
- Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU) and The International EPD®System. (2014). *ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION as per ISO 14025 and EN 15804*


- EXPANDED POLYSTYRENE PRODUCTS FOR THERMAL INSULATION ISOLCONFORT SRL.* Alemania: Institut Bauen und Umwelt.
- Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU) and The International EPD®System. (2013). *ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION as per ISO 14025 and EN 15804. Autoclaved Aerated Concrete AKG GAZBETON İŞLETMELERİ SAN. TİC. Ve A.Ş.* Alemania: Institut Bauen und Umwelt e.V.
- Institute Bauen und Umwelt. (2015). *ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION as per ISO 14025 and EN 15804 EXPANDED POLYSTYRENE PRODUCTS FOR THERMAL INSULATION ISOLCONFORT SRL.* Alemania: Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU) and The International EPD®System. Retrieved from http://bau-umwelt.de/download/CY5a788664X15023688fabXced/EPD_ISOLCONFORT_EN.pdf
- IPCC. (2007). *Cambio climático 2007. Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I,II, y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.* IPCC, Ginebra, Suiza. (R. R. Pachauri, Ed.)
- IPCC. (2013a). *Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Working Group I.* Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- IPCC. (2013b). *Climate Change 2013. Impacts, Adaptation and Vulnerability Working Group II.* Cambridge University Press. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- ISO. (2006). *International Organization for Standardization.* Retrieved septiembre 2015, from ISO: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=37456
- Koomey , J., Martin , N., Brown, M., Price, L., & Levine , M. (1998). Costs of Reducing Carbon Emissions: US Building Sector Scenarios. *Energy Policy*, 26(5), 433–440. Retrieved from http://ac.els-cdn.com/S0301421597001547/1-s2.0-S0301421597001547-main.pdf?_tid=a0b1f48e-c5eb-11e5-88e0-00000aab0f27&acdnat=1454005330_d4077ff2975929dda90dfaeb759b491f
- Koroneos , C., & Dompros, A. (2007, Mayo). Environmental assessment of brick production in Greece. *Building and Environment*, 42(5), 2114–2123. Retrieved from http://ac.els-cdn.com/S0360132306000795/1-s2.0-S0360132306000795-main.pdf?_tid=7c264b5a-c52e-11e5-a6a3-00000aab0f01&acdnat=1453924094_6b45a29ff0b8992c6c01ded72d5a6234
- Lorenzo Monterrubio, A. (2007). *Las haciendas pulqueras de México* (1ª edición ed.). (U. N. México, Ed.) México, Distrito Federal, México: Coordinación de Estudios de Posgrado.
- Macías, L. R. (2015, marzo 06). Grandes Diferencias Entre Viviendas de Interés Social y Residenciales: Canadevi. *Página 24*.
- Ministerio de Agricultura, A. y. (2014, 04). *Gobierno de España.* (D. d. España, Producer) Retrieved from *Análisis y Prospectiva, Serie Medio Ambiente:* http://www.magrama.gob.es/es/ministerio/servicios/analisis-y-prospectiva/AyP_RESIDUOS_V10_tcm7-323997.pdf
- Morillón, D. (2013, octubre 17). Competitividad y construcción sustentable en el medio urbano. *Cambio Climático y Ciudades Sustentables Competitivas.* México.
- Naked, A., de Moraes, M., de Macedo, K., Evangelista, A., & ThomasBoer, D. (2013). Life Cycle Assessment: a Comparison of Ceramic Brick Inventories to Subsidize the Development of Databases in Brazil. *Applied Mechanics and Materials*, 431, 370-377. doi:doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.431.370
- Novaceramic. (2015). Retrieved 09 09, 2015, from http://www.novaceramic.com.mx/archivos_PDF/fichas_tecnicas/03_Novablock_Multiperforado/RP05_Novablock_Multi115.pdf
- Peraza Guzmán, M. T. (2000). *Arquitectura y Urbanismo Virreinal.* Mérida, Yucatán, México: Universidad Autónoma de Yucatán.
- Poó Rubio, A. (2007). *El financiamiento de la vivienda media y residencial.* UAM AZCAPOTZALCO. MÉXICO: UAM.
- Quinteiro, P., Almeida, M., Dias, A., Araújo, A., & Arroja, L. (2014). The Carbon Footprint of Ceramic Products. *Assessment of Carbon Footprint in Different Industrial Sectors, I*, 113-150. doi:DOI: 10.1007/978-981-4560-41-2_5

- RED PERUANA DE CICLO DE VIDA. (2002). *ESTUDIO DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA COMPARATIVO ENTRE LADRILLOS ARTESANALES Y LADRILLOS MECANIZADOS*. LIMA, PERU, PERÚ: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ.
- Rincón, L., Pérez, G., Medrano, M., & Cabeza, L. (2011). *Material Flow Analysis of the building sector in Lleida*. Retrieved from https://intraweb.stockton.edu/eyos/energy_studies/content/docs/effstock09/Posters/126.pdf
- Ruiz, A., & Pérez, J. (2012). *Proyecto Final de Carrera: Análisis del Ciclo de Vida de Materiales de Construcción. Estudio y Comparación de los Principales Materiales de Edificación*. Cartagena: Universidad Nacional de Cartagena. Retrieved from <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/2833/pfc4297.pdf;jsessionid=3EB5A7017F36E7D2EB8CB25C80D1B723?sequence=1>
- Saldaña, C. (2014, 04). *Reflector: Boletín de la Sustentabilidad*. Retrieved 03 10, 2016, from Vitro: <http://www3.vitro.com/noticiero/boletin/abr14/nota5.html>
- Santa Clara. (2015). Retrieved 09 09, 2015, from <http://www.ladrillerasantaclara.com/#!santa-clara-verde/c1731>
- Santero, N. (2014). *Environmental Product Declaration (EPD) for Manufactured Concrete and Concrete Masonry Products*. Estados Unidos de Norteamérica: NSF Editorial. Retrieved 03 10, 2016
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT. (2013). *Inventario de emisiones contaminantes y de efecto invernadero, Zona Metropolitana del Valle de México*. México: Gobierno del Distrito Federal.
- SENER. (2015). *Balance Nacional de Energía*. Secretaría de Energía. México: Secretaría de Energía.
- SETAC. (2002). *Guidelines for Life Cycle Assessment: A code of Practice*.
- Sinha, A., & Andreja, K. (2012). Carbon Footprint versus Performance of Aluminum, Plastic, and Wood Window Frames from Cradle to Gate. *Buildings*, 542-553.
- SODIMAC. (2015). Retrieved 01 04, 2016, from <http://www.sodimac.cl/sodimac-cl/product/357693/121x100-cm-Ventana-PVC-Blanco-M-1-HM>
- SODIMAC. (2015). Retrieved 01 04, 2016, from <http://www.sodimac.cl/sodimac-cl/product/2210959/Ventana-corredera-Aluminio-Intermedio-100x100-cm.-Blanco/2210959>
- Termolita. (2013, Febrero 12). *you tube*. Retrieved 11 11, 2015, from <https://www.youtube.com/watch?v=CQrC5CFFt1o>
- Toribio, L. (2015, 07 10). En México ya somos 121,783,280. Retrieved 11 12, 2015, from <http://www.excelsior.com.mx/nacional/2015/07/10/1033934>
- Tronconi, O. (2009). *Tecnología de la arquitectura*. Roma, Italia: Maggioli Editore.
- UANL. (2008). *Clase de Arquitectura Prehispánica*. Retrieved 11 18, 2015, from Universidad Autónoma de Nuevo León: <http://arquitectura.uanl.mx>
- UNIDO. (2010). *Global Industrial Energy Efficiency Benchmarking. An Energy Policy Tool Working Paper*.
- Vinil. (n.d.). Retrieved from www.vynil.org.au
- VTT Technical Research Centre of Finland. (2014). *Carbon Footprint for Building Products. ECO2 Data for Materials and Products with the Focus on Wooden Building Products*. Europa: Antti Ruuska. Retrieved from <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>
- VV.AA. (2011). *Anuario Internacional CIDOB 2011. Turquía, perfil de país*. Secretaría de Energía.
- Wienerberger. (2014). *Sustainability Datasheet: 2014. Summary of UK Brick & Roof Tile Data*. Europa: Wienerberger.
- Ytong® Autoclaved Aerated Concrete. (2015). *ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION as per ISO 14025 and EN 15804. Ytong® Autoclaved Aerated Concrete*. Alemania: Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU) and The International EPD®System.
- Yüksek, I. (2015). The Evaluation of Building Materials in Terms of Energy Efficiency. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 45-58.
- Zabalza, I., Valero, A., & 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*, 1133-1140.

ANEXO “A”.

Anexo 1. FICHAS TÉCNICAS DE PROVEEDORES.

Ficha 1. Novaceramic, Block Cerámico Novablock Multiperforado 11.5



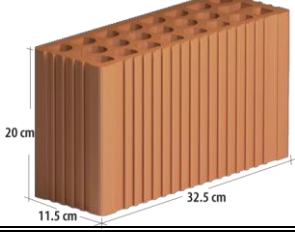
INDUSTRIAS NOVACERAMIC
Emilio Sanchez Piedras N° 100, Cd. Industrial Xicohtencatl, Tetla, 90434 Tlaxcala México

FICHA TÉCNICO COMERCIAL
Novablock Multiperforado 11.5
NB11.5


Página: 1 de 1
N° Revisión: 2

Elaboración: 05-ago-15
Revisión: 05-ago-15

REPELLABLES

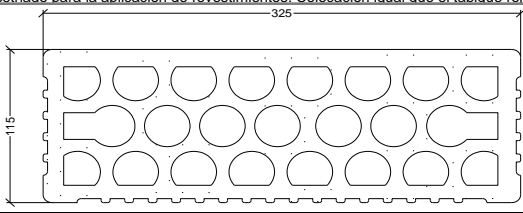


Elaborado y Aprobado por:



Departamento Tecnico-Comercial

<p>Descripción: Tabique industrializado de alta resistencia. Recomendadas para la construcción que requiere ligereza y velocidad de avance, su eficiencia estructural permite mejor comportamiento sismo-resistente, ya que en cada perforación penetra mortero formando "llaves de cortante". Con acabado estriado para la aplicación de revestimientos. Colocación igual que el tabique rojo.</p>	MEDIDAS NOMINALES	TOLERANCIAS DIMENSIONALES		
	Largo (l)	325 mm	± 3.00 mm	
	Alto (h)	200 mm	± 3.00 mm	
	Ancho (a)	115 mm	± 3.00 mm	

	<p>CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SISTEMA</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 60%;">Línea / Familia de Producto</th> <th style="width: 40%;">REPELLABLES</th> </tr> <tr> <td>Pzas/m² con junta de mortero de 1 cm</td> <td>14.21 Pzas</td> </tr> <tr> <td>Espesor del Muro (t) sin aplanados</td> <td>11.50 cm</td> </tr> <tr> <td>Mortero para juntas de 1 cm de espesor</td> <td>14.12 l/m²</td> </tr> <tr> <td>Peso promedio de la pieza</td> <td>5.70 kg</td> </tr> <tr> <td>Peso promedio del muro solo con mortero</td> <td>113.37 kg/m²</td> </tr> <tr> <td>Espesor de Aplanado Recomendado</td> <td>0.50 cm</td> </tr> <tr> <td>Acabado del sistema</td> <td>Estriado</td> </tr> </table>	Línea / Familia de Producto	REPELLABLES	Pzas/m ² con junta de mortero de 1 cm	14.21 Pzas	Espesor del Muro (t) sin aplanados	11.50 cm	Mortero para juntas de 1 cm de espesor	14.12 l/m ²	Peso promedio de la pieza	5.70 kg	Peso promedio del muro solo con mortero	113.37 kg/m ²	Espesor de Aplanado Recomendado	0.50 cm	Acabado del sistema	Estriado
Línea / Familia de Producto	REPELLABLES																
Pzas/m ² con junta de mortero de 1 cm	14.21 Pzas																
Espesor del Muro (t) sin aplanados	11.50 cm																
Mortero para juntas de 1 cm de espesor	14.12 l/m ²																
Peso promedio de la pieza	5.70 kg																
Peso promedio del muro solo con mortero	113.37 kg/m ²																
Espesor de Aplanado Recomendado	0.50 cm																
Acabado del sistema	Estriado																


CARACTERÍSTICAS POR PALET			CARACTERÍSTICAS POR TRANSPORTE			
CONTENIDO	120.0	Pzas	CAMIÓN TORTON	24 Palets	2880	Pzas
PESO PROMEDIO (kg)	804.0	Kg	TRAILER	42 Palets	5040	Pzas
RENDIMIENTO PROMEDIO POR PALET	8.44	m ²	Forma de entrega:	Palet envuelto en plástico retráctil		

PROPIEDADES DEL SISTEMA Y LA PIEZA		SÍMBOLO	NORMA	RESULTANTE		
ESPECIFICACIÓN DE LA PIEZA	Clasificación de la Pieza	-	NMX-C-404-ONNCCE	Tabique Largo >300 mm		
	Configuración de la pieza	-		Multiperforada		
	Material de fabricación	-		Arcilla Extruida		
PROPIEDADES MECÁNICAS	Resistencia Promedio a la Compresión Simple	Tp	NMX-C-404-ONNCCE	120.00	kg/cm ²	
				11.79	Mpa	
	Resistencia de Diseño a la Compresión Simple	f'p	NMX-C-404-ONNCCE	80.00	kg/cm ²	
				7.86	Mpa	
	Resistencia a Compresión de la Mampostería	f'm	NMX-C-464-ONNCCE	60.00	kg/cm ²	
	Resistencia a Compresión Diagonal de Muretes	V'm		5.50	kg/cm ²	
Modulo de Elasticidad de la Mampostería	Em	NMX-C-464-ONNCCE	55805.00	kg/cm ²		
Modulo de Rigidez a Cortante de la Mampostería	Gm		10757.00	kg/cm ²		
PROPIEDADES TÉRMICAS	% De Absorción con Respecto al Peso	-	NMX-C-404-ONNCCE	16-18	%	
	Conductividad Térmica de la Pieza	λpieza		0.125	W/m x °K	
	Resistencia Térmica de la Pieza	RTP		NMX-C-460-ONNCCE	0.920	m ² x °K/W
	Resistencia Térmica del Sistema	RTS			1.042	m ² x °K/W
DENSIDAD	Masa contenida en Volumen	ρ	NMX-C-126-ONNCCE	1734.220	kg/m ³	
RESISTENCIA AL FUEGO (2)	Resistencia al Fuego	Rf		NMX-C-307-ONNCCE	No Aplica	


Observaciones:

¹⁾ Consultar las últimas actualizaciones y revisiones de este documento en la página oficial de Novaceramic S.A. de www.novaceramic.com.mx


²⁾ De acuerdo a la Nota No. 2 de norma NMX-C-404-ONNCCE "Industria de la construcción- Bloques, tabiques o ladrillo y tabicones para uso estructural-Especificaciones y métodos de prueba" no aplica esta prueba.



EMPRESA CERTIFICADA EN EL SISTEMA DE CALIDAD ISO 9001:2008



MATERIA PRIMA CERTIFICADA NOM-018-ENER-2011 HECHO EN MEXICO



SISTEMA DE AISLAMIENTO TÉRMICO CERTIFICADO CUMPLE CON NMX-460-ONNCCE

Materia prima (arcilla)	Valor	REPELLABLES
Conductividad térmica	0.125	Unidades W/m x °K
Materia prima (arcilla)	Valor	PARENTES
Conductividad térmica	0.146	Unidades W/m x °K

98

Ficha 2. Ladrillera Santa Clara. Block Cerámico con EPS.

	BioBlock 10	BioBlock 12	BioBlock 15	BioBlock 20
Medidas Nominales (cm)	10 x 20 x 40	12 x 20 x 40	15 x 20 x 40	20 x 20 x 40
Medidas Reales (cm)	9 x 19.3 x 39	11 x 19.3 x 39	14 x 19.3 x 39	19 x 19.3 x 39
Peso (kg)	4.7	5.0	5.2	7.2
Tolerancia (%)			+/- 1%	
Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	235	200	104	130
Conductividad Térmica (λ)*			0.198	
Resistencia Térmica (Factor R) m ² ·k/w	0.5490	0.7905	0.646	0.638
Coef. de Transferencia de calor (Factor K)	1.823	1.2651	1.5480	1.5674
Piezas por m ²			12.5	
Piezas por tarima	216	180	144	208

* Certificado ONCCE I.P.Q. 017-02/13

Comparativo (Medida 15cms o 6 pulgadas)

	¿Es de carga?	¿Se puede taladrar, cortar o clavar?	Peso (Kg)	Resist. a la compresión (kg/cm ²)	Resistencia Térmica (R) m ² ·k/w	Coef. Transferencia de Calor (K)	Precio vs. Beneficio	Resumen
BioBlock e	✓	✓	5.2	104	.6462	1.5475	😊	Alta resistencia térmica y poca transferencia de calor: EXCELENTE Y A BUEN PRECIO
Otros blocks de barro	✓	✗	6.5	45	.2553	3.9170	😞	Poca resistencia térmica y alta transferencia de calor: POBRE Y CARO
Block de cemento	✓	✓	12.4	55	.1268	7.8865	😞	Muy poca resistencia térmica y muy alta transferencia de calor: MUY POBRE, BARATO
Otros Blocks térmicos	✗	✗	7.5	40.8	.7536	1.3270	😊	Alta resistencia térmica y poca transferencia de calor: MUY BUENO, PERO MUY CARO

Llama sin costo: 01800-400-3737 www.ladrillerasantaclara.com



Santa Clara Verde

Medidas (cms):
15X20X40

BioBlock 15 Verde

Piezas por m²: 12.5

Factor (K): 1.572

Factor (R): .6361 m²·k/w




Resistencia: 117 Kg/cm²

Peso: 5.7 Kg

Ficha Técnica

\$15.63 pza.

Ficha 3. Termolita: Termosil perlita mineral expandida con silicón.

	FICHA TÉCNICA		Equipo de Seguridad  
	Producto: TERMOSIL		
IDENTIFICACIÓN: TER-TS-10	AREA DE CONTROL : Departamento de Control de Calidad	Página: 1 de 1	

TERMOSIL

CERTIFICADO ONNCE SMA-017-001/10

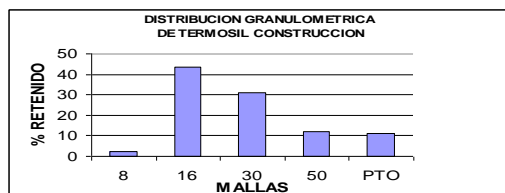
DESCRIPCION:

Perlita expandida recubierta con silicón.

USOS:

Como relleno suelto para proporcionar aislamiento térmico y repelencia a la humedad en huecos de block's en muros.

ESTANDARES DE CALIDAD	RANGOS	METODO DE VERIFICACION
COLOR:	Blanco	Visual
DENSIDAD SUELTA (Kg/m3):	87.44	PI-200-77 W/m.K BTU.in/h.ft2°F
PESO (Kg/Saco):	12	
REPELENCIA EN ML:	199	
CONDUCTIVIDAD TERMICA:	0.04661 0.3331	
TAMAÑO DE PARTICULA:	TIPICO	PI-115-77
% RETENIDO EN MALLA No 08	2.85	
No 16	46.62	
No 30	31.75	
No 50	7.64	
PLATO	11.13	



COMPOSICIÓN QUÍMICA:

ELEMENTO	% EN PESO	ELEMENTO	% EN PESO
Sílice (SiO ₂)	75 – 90	Oxido de Potasio (K ₂ O)	< 6.0
Alúmina (Al ₂ O ₃)	7 – 15	Oxido de Calcio (CaO)	< 1.5
Oxido de Hierro (Fe ₂ O ₃)	< 1.3	Oxido de Magnesio (MgO)	< 0.5
Oxido de Sodio (Na ₂ O)	< 2.0		

PRESENTACION:

Sacos de polipropileno laminado de 100 L.

RECOMENDACIONES DE MANEJO:

Utilizar lentes de seguridad, mascarilla y guantes.

ALMACENAJE:

Lugar seco bajo cubierta.

No. Documento: TER-TS-10	Elaboró: Control de Calidad	Fecha: Mayo 2010	Revisó: Nestor Hinojosa
------------------------------------	---------------------------------------	----------------------------	-----------------------------------

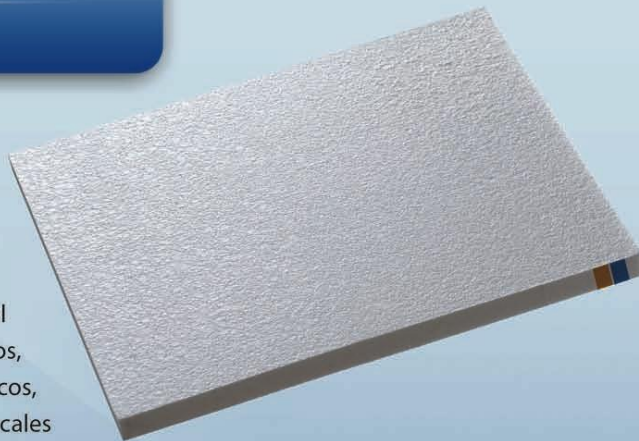
TERMOLITA, Callejón del Marmol 201 Santa Catarina, N.L., México C.P. 66350
Tel 52 (81) 8151 0480

Placa Aislante

CONSTRUCCIÓN

Descripción

La Placa Aislante **FANOSA** es un producto de gran aceptación en la industria de la construcción para el revestimiento térmico de muros, cubiertas y cimentaciones de frigoríficos, edificios, naves industriales, locales comerciales y casas habitación por su gran resistencia al paso de calor, sus excelentes propiedades de resistencia estructural con respecto a su ligereza y por su bajo costo de adquisición e instalación.



Presentación Comercial

Se suministran placas aislantes en una gama muy amplia de dimensiones y densidades que le dan diversas propiedades estructurales, térmica, eléctricas, de flotabilidad, amortiguamiento y baja absorción de agua. Las dimensiones van desde un espesor mínimo de 1" (2.54 cm) hasta 33" (84 cm) el ancho estándar es de 48" (122 cm) y el largo puede ser hasta de 16 ft (488 cm).



Instalación y manejo

¿Cómo se fija la Placa Aislante?

Regularmente por medios mecánicos, entendiéndose esto como el uso de clavo o pijas de sujeción, que previamente se sujetan al muro que se quiere aislar; aunque también se puede adherir al muro con cemento plástico o Basecoat.

¿Con qué se puede recubrir?

FANOSA recomienda el uso de nuestro mortero Ultrafibra ya que cuenta con los agregados y aditivos para adherirse al EPS, además de que la fibra que contiene permite espesores hasta 1".

¿Se puede utilizar por dentro y por fuera?

Se puede utilizar por uno u otro lado; tomando en cuenta que el espesor de la placa, al ser colocada al interior disminuye el espacio de las habitaciones. Es recomendable su instalación por fuera de los edificios.

Ficha 5. Novidesa. Bovedilla de EPS.

Ficha Técnica

MAKROS

Panel para entrapiso aislante

FTE- 452 15/ 01/ 13 1/ 2 Rev. 09

Descripción

El panel para entrapiso **MAKROS NOVIDESA** se fabrica con espuma rígida de poliestireno expandido (EPS)¹ con una densidad nominal de 20 kg/m³ (1.24 lb/ft³). Cuenta con un agente ignífugo que no propaga la flama².

Esta estructurado con dos canaletas de acero galvanizado³ G60 sección tipo "C" calibre 22 con troquelados nominales y separados entre si a cada 30 cm (12"). Funcionan como soporte del sistema para recibir el peso del concreto al ser colocado y reciben el acabado en la parte inferior.

Por su configuración modular se unen dos paneles de manera que forman una cavidad para colocar armaduras prefabricadas de acero F'y=6000 kg/cm² o acero habilitado de F'y=4200 kg/cm² para constituir traveses tipo "T" integradas a la capa de compresión del sistema.

Especificaciones

Conductividad térmica	0.034 W/m·K
Permeabilidad de vapor de agua	0.045 ng/Pa·s·m
Adsorción de humedad (volumen)	0%
*Densidad aparente	19.14 kg/m ³
Aislamiento acústico (STC)	47 dB
Ancho	60 cm
**Longitud	Hasta 12 m
Aplicación	Losa de entrapiso
Cimbra permanente en	Losa de azotea Voladizos Sistema de firme

* Densidad certificada bajo la NOM-018-ENER-2011

** Esta longitud se ajusta de acuerdo a las necesidades de cada proyecto.

Rendimiento de mano de obra

Sistema completo 100 m²/Jor

Colocación de producto 200 m²/Jor

Cuadrilla de un oficial, dos colocadores y un ayudante.

Ventajas

- Ejecución de construcción **rápida, sencilla y limpia.**
- **Aislamiento térmico y ahorro en consumo de energía eléctrica,** mantiene los espacios en un ambiente confortable.
- **Aislamiento acústico.**
- Piezas cortadas **a la medida.**
- **Ahorro en mano de obra.**
- **Fácil aplicación de acabados** como pastas, materiales pétreos, cerámicos, tableros de yeso, tableros de fibrocemento, plafón entre otros.
- **Compatibilidad** con todos los sistemas estructurales⁴.
- Por su ligereza **ayuda a reducir las cargas muertas del edificio.**
- Ofrece gran **solidez estructural.**
- **Facilidad para alojar instalaciones.**
- **No requiere equipo especial** para su traslado, colocación y corte.

¹ EPS por sus siglas en inglés. Expandable polystyrene.

² UL Underwriters Laboratories Inc. The standard in safety, file: E 305362, Vol. 1

³ Esfuerzo de fluencia Fy= 2,350 (kg/cm²).

⁴ Estructuras rígidas, flexibles e híbridas.

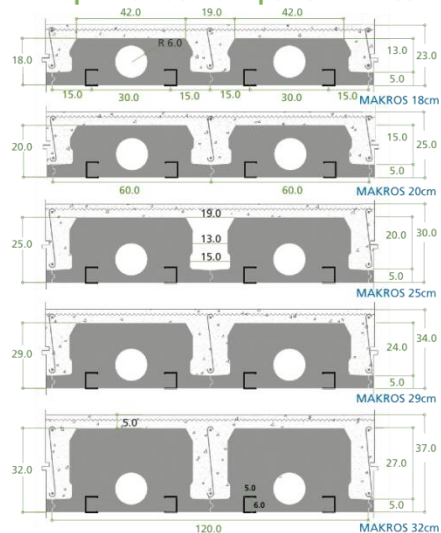
Peraltes y pesos del panel MAKROS

Peraltes MAKROS cm (in)	18 (7.09")	20 (7.87")	25 (9.84")	29 (11.42")	32 (12.60")
Peso de EPS kg/ml	1.62	1.87	2.36	2.75	2.86
Peso de EPS+canaleta kg/ml	3.42	3.67	4.16	4.55	4.66
Peso de EPS+canaleta kg/m ²	5.70	6.11	6.93	7.58	7.76

Aislamiento térmico del panel

M (m ² ·K)/W	4.47	4.93	6.08	6.77	7.00
R (Ft ² ·Fh/BTU)	25.36	27.98	34.50	38.41	39.72

Disponibilidad del panel Makros



Acotación en cm
Canal interno de 6 cm
Bajo pedido especial se fabrica con canal interno de 13 cm

Copia controlada 01. Impreso pierde su validez.



Block
Ficha Técnica

Concreto Celular Autoclaveado

Información							
Espesor	Peso de Diseño		Peso por Pieza ¹		Pallet (Tarima)		
	AAC-4	AAC-6	AAC-4	AAC-6	Pzas.	M ²	M ³
cm	Kg/m ²	Kg/m ²	Kg/pza	Kg/pza			
10.0	60	72	7.32	8.78	180	21.960	2.196
12.5	75	90	9.15	10.98	144	17.568	2.196
15.0	90	108	10.98	13.18	120	14.640	2.196
17.5	105	126	12.81	15.37	96	11.712	2.050
20.0	120	144	14.64	17.57	84	10.248	2.050
25.0	150	180	18.30	21.96	72	8.784	2.196
30.0	180	216	21.96	26.35	60	7.320	2.196

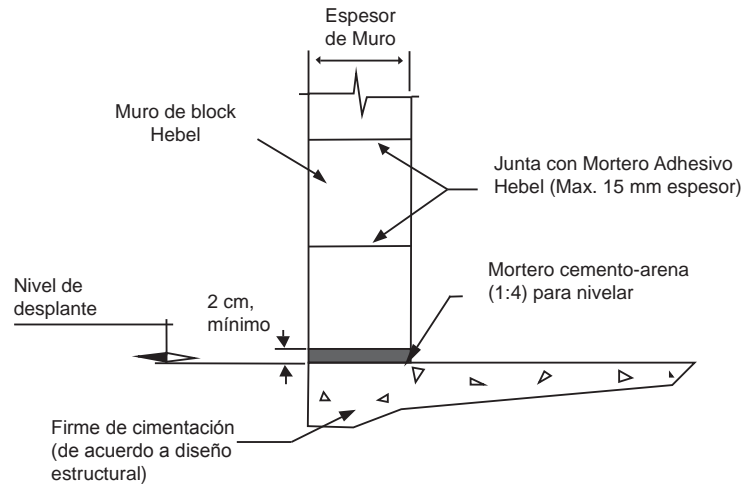
¹Basado en Peso de Diseño



Longitud: 61.0 cm
Peralte: 20.0 cm

Clase AAC-4:
Resistencia a la compresión = 40.8 kg/cm²
Peso de Diseño = 600 kg/m³

Clase AAC-6:
Resistencia a la compresión = 61.2 kg/cm²
Peso de Diseño = 720 kg/m³



Ficha 7. Mortero para concreto celular Hebel.



Fig. 3: Pallet de block Hebel.



Fig. 4: Herramienta, equipo y accesorios.

Equipo:

- Batidor para preparación de mortero adhesivo
- Taladro eléctrico de ½" diám de baja RPM.
- Serrucho Hebel.
- Escuadra metálica para trazo de cortes.
- Sierra Banda Hebel eléctrica para cortes (opcional).
- Mini-pulidor para ranuras de instalaciones con disco de pasta (1/8" de espesor) para corte de piedra (opcional).
- Equipo de seguridad (casco, mascarilla, lentes, faja, cuerda de vida, etc.).

Accesorios:

- Lámina conectora Hebel.
- Malla de fibra de vidrio Hebel.
- Ranurador manual para instalaciones.
- Ranurador circular (62 y 80 mm diám.).
- Clavo piramidal Hebel.
- Taquete Fischer o similar
- Repuesto de llana lija (opcional).

Verificación de existencia de morteros y acabados*

- Mortero adhesivo Hebel tipo 1.
- Mortero resanador Hebel Tipo 20.

- Mortero cemento-arena (1:4).
- Estuco Hebel color gris.
- Estuco Hebel color Blanco.
- Zarpeo Rústico Hebel.

*El listado de artículos y morteros es sólo informativo. Los requerimientos reales dependerán de cada proyecto en particular.

Revisar la disponibilidad de información

- Dibujos de ingeniería aprobados para construcción (última revisión) con desplante de muros.
- Revisar la estructuración de los muros y detalles.

2.3 Cimentación y superficie de desplante

La cimentación deberá estar adecuadamente construida para soportar las cargas que transmitirá el muro y diseñada en función del tipo de terreno donde se construya; para tal propósito, se deberá realizar un estudio de mecánica de suelos que proporcione datos confiables de las condiciones del subsuelo, capacidad de carga, asentamientos probables y recomendaciones acerca de la cimentación más apropiada.

Una superficie de desplante correctamente terminada facilitará la construcción de los muros. Se recomienda el cuidado del alineamiento de las cimbras o fronteras perimetrales y un buen control de los niveles del firme o losa, así como una correcta ubicación del acero de refuerzo de castillos, salidas eléctricas e hidro-sanitarias alojadas en el espesor del muro.

2.4 Protección contra la humedad

El nivel de desplante de la construcción deberá tomar en cuenta la humedad de subsuelo, ya sea por la presencia de un manto freático próximo a la superficie, humedad proveniente de escurrimientos, jardines, terrazas, terrenos mal drenados, sótanos, construcciones desplantadas en niveles inferiores a los del terreno natural, banqueta o pavimento; en todos estos casos se recomienda impermeabilizar las zonas en contacto continuo con la humedad, incluyendo la cimentación, enrasas, muros de sótanos y el área de desplante del muro.

2.5 Preparación del mortero adhesivo

En una cubeta Hebel se deberá vaciar aproximadamente 4.2 litros* de agua limpia o hasta la marca indicada, posteriormente se agrega, poco a poco, el polvo de medio saco de mortero adhesivo (11 kg), y utilizando el batidor para adhesivo conectado a un taladro de ½"

Rendimiento de Mortero Adhesivo (m ² / Bulto)			
Block Hebel Espesor (cm)	Estándar	Semi-Jumbo	Jumbo
10.0	9.64	15.47	----
12.5	7.71	12.37	19.40
15.0	6.43	10.31	16.17
17.5	5.51	8.84	13.86
20.0	4.82	7.73	12.13
25.0	3.86	6.19	9.70
30.0	3.21	5.16	8.09

Nota: Datos calculados en base a un rendimiento primario de 6,6 m² de área de contacto por bulto de 22 Kg de Mortero Adhesivo Hebel 1, se incluyen mermas y desperdicios (3%).

Tabla 4: Rendimiento de Mortero Adhesivo Hebel.

Ficha 8. Covintec.



ESTRUCTURA COVINTEC 2"

1.22m x 2.44 m

Carga axial 7,445 kg/ml en un muro de 2.44m de altura

AHORA CON ACERO CORRUGADO

- Resistente
- Versátil
- Con aislamiento térmico y acústico
- Cuenta con sistema de Auto-Ensamble

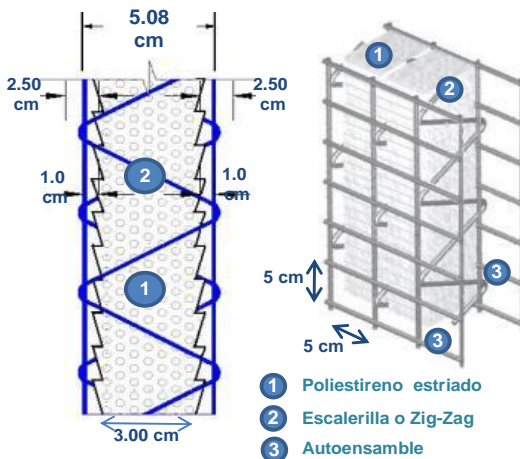
Descripción:

COVINTEC 2" es una estructura tridimensional de alambre pulido o galvanizado calibre #14 (2,03 mm), electrosoldado en cada punto de contacto, compuesto por armaduras verticales denominadas escalerillas o ZIG-ZAG y al interior incorpora un alma compuesta de poliestireno expandido. El producto está diseñado para cumplir con la norma NMX-405-ONNCE-2002 (Paneles para uso estructural en muros, techos y entrepisos).

Aplicaciones:

Gracias a su capacidad estructural es ideal para muros de carga en una casa de hasta 3 niveles. Al ser una estructura muy firme facilita el manejo e instalación en obra, por lo que el producto genera ahorros en consumo de mortero y tiempo de ejecución de obra.

Diagrama de Producto:



Características de Producto

Espesor	2"
Ancho	1.22 m
Largo	2.44 m
Separación entre Mallas	5.08 cm
Reticula	5x5 cm
Peso sin Aplanar	2.67 kg/m ²
Espesor Poliestireno	3.0 cm
Calibre de Acero	14
Área de Acero Vertical	2.4 cm ²
Área de Acero Horizontal	3.13 cm ²
Densidad EPS	8

Características Muro Terminado

Espesor total con Aplanado	8 cm
Peso con Aplanado	102.67 kg/m ²
Resistencia térmica Factor "R"	0.75
m ² K/W	
Aislamiento Acústico	44 db
Resistencia del Mortero	100 kg/cm ²
Resistencia al Cortante	8,703 kg/m
Carga Axial	7,445 kg/m
Resistencia a la Tensión	7,140 kg/m ²



www.covintec.com

dtecnico@covintec.com

01 800 248 0202

D.R., ©, QUALY PANEL, SA DE CV, 2011. La información técnica de este folleto es genérica. Para aplicaciones específicas se debe de elaborar el proyecto estructural. La empresa no se hace responsable del uso incorrecto del material. Prohibida su reproducción total o parcial sin la autorización previa, expresa y por escrito de su titular.

Ficha 9. BlockMex. Block de concreto.

Soluciones Constructivas BM, S.A. De C.V.

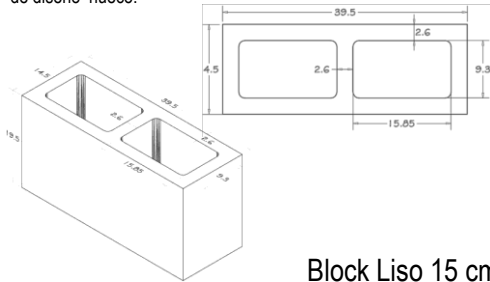
Carretera a San Felipe Km. 7.5 # 737 Mexicali, B.C., México
Tel : 5 63-60-40 , 5 63-60-42 R.F.C. SCB-081015-QA8

block GRUPO **MEX**

SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS, DESDE 1973

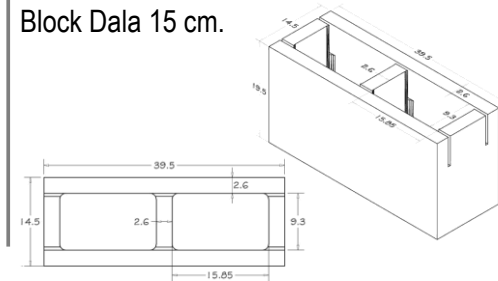
blockmex.com.mx

BLOQUE: Es un componente para uso estructural de forma prismática rectangular que se obtiene por vibrocompactación y moldeo del concreto, de diseño hueco.



Block Liso 15 cm.

Block Dala 15 cm.



Especificaciones técnicas BLOCK LISO 15 CMS DE CONCRETO

Dimensiones nominales	15 X 20 X 40	CM
Dimensiones reales	14.5 X 19.5 X 39.5	CM
Área Bruta	572/100%	CM
Área Neta	286/50%	CM
Peso por pieza	13	KG
Piezas por m	12.5	PIEZAS
Peso por m	162.5	KG
Resistencia a la compresión	75=100%	KG/CM
Resistencia a la compresión Norma MX-C-404	60	KG/CM
Dimensiones de celda	Lado corto 0.093 m Lado largo 0.1585 m.	
Área de celda	0.01474 m	
Recomendación de Instalación	Junta mínima de 1 cm Refuerzo de acero ahogada a cada 60 cms. En cruces y remate de muro	

NOTA: el **BLOCK DALA 15 CMS DE CONCRETO** tiene las mismas especificaciones en dimensiones, pero no cumple con la especificación de resistencia a la compresión por lo que se considera cimbra muerta. Se recomienda usarse en vanos de puertas y ventanas, y deberá colocarse acero de refuerzo y concreto en su interior.

Tolerancias con respecto a las dimensiones reales de ± 3 mm en la altura y ± 2 mm en el largo y ancho, aceptadas por las normas: NMX-C-36, NMX-C-37, NMX-C-38, NMX-C-314 y NMX-C-404

Área bruta: Es el resultado de multiplicar el largo por ancho de la pieza.

Área neta real: Es la superficie efectiva de la pieza, que se obtiene de restar el área de las celdas del área total.

Medida Nominal: Es aquella que considera las dimensiones reales del producto, más el espesor de la junta de albañilería de 1 cm de espesor.

ANEXO B

Comparativo del Desempeño Térmico de los Sistemas Constructivos

Con fines comparativos, se realizó un análisis del desempeño térmico de cada uno de los sistemas constructivos considerados en el estudio “Análisis del Ciclo de Vida de los Materiales de Construcción.”

Para calcular el Valor U de cada sistema, se utilizó la herramienta DEEV1 1.1, el documento NAMA de Vivienda Sustentable y los certificados de cada material. Los sistemas constructivos se presentan ordenados de menor a mejor desempeño, y únicamente se consideraron los materiales incluidos para el cálculo de Ciclo de Vida, es decir, no se incluyeron acabados, aplanados, repellados, ni impermeabilizantes.

Sistema Constructivo: Muro	Espesor (cm)	Valor U W/m ² K
Muro de concreto colado de 10 cm	10	4.3962
Muro de Block de concreto macizo 12x20x40 cm	12	4.1847
Muro de block de concreto hueco 12 x 20x40	12	3.5957
Block Cerámico	11.5	3.6765
Block de Adobe tradicional	10	2.0975
Block de concreto 12 x 20 x 40 con aislante de polímero	12	1.4191
Muro de block de concreto 12 x 20 x 40 con EPS	14.5	1.1061
Muro de block de concreto 12 x 20 x 40 con perlita mineral	12	1.1181
Muro Prefabricado de alambre y alma de poliestireno expandido 2”	5	0.6047
Block Cerámico con EPS	15	0.5254
Muro de concreto celular 61 x 20 x 15	20	0.4459

Sistema Constructivo : Losa	Espesor (cm)	Valor U W/m ² K
Losa de concreto	12	4.7855
Losa de vigueta de concreto y bovedilla de EPS con perfil aluminio	18.4	0.5636

Vidrio	Valor g	Valor U W/m ² K
vidrio de 3mm	0.87	5.8
vidrio de 6 mm	0.87	5.6

Marcos de Ventana	Anchura (cm)	Valor U _f W/m ² k
Marco de aluminio NAMA	6	5.5
Marco de PVC NAMA	6	1.8

Tabla 33. Comparativo del Desempeño Térmico de los Sistemas Constructivos. SHF 2016

¹ Solo cuando aplica un segundo material al sistema constructivo