

HUELLA ECOLÓGICA EN CONSTRUCCIÓN DE CUBIERTAS INDUSTRIALIZADAS DE CONCRETO ARMADO EN OAXACA DE JUÁREZ, OAXACA

Jorge Alberto Porras Allende

Profesor-Investigador de tiempo completo de la Facultad de Arquitectura 5 de Mayo de la UABJO, Oaxaca, México

Carlos Arturo García Luna

Profesor-Investigador de tiempo completo de la Facultad de Arquitectura 5 de Mayo de la UABJO, Oaxaca, México

Ignacio Santiago León

Profesor-Investigador de tiempo completo de la Facultad de Arquitectura 5 de Mayo de la UABJO, Oaxaca, México

Jorge Iván Porras Sánchez

Profesor- adjunto de la Facultad de Arquitectura 5 de Mayo de la UABJO, Oaxaca, México

All content in this magazine is licensed under a Creative Commons Attribution License. Attribution-Non-Commercial-Non-Derivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).



Resumen: En esta investigación se muestran los resultados de un estudio realizado para determinar las huellas ecológicas en emisiones de CO₂ equivalente, generadas en la construcción de cinco diferentes tipos de cubierta o entrepisos industrializados a base de concreto armado. Comprende los sistemas de construcción industrializados más utilizados en edificaciones en el Estado de Oaxaca, México, como son; losa maciza, vigueta y bovedilla, panel losa W, losa aligerada y Losacero. Los datos fueron obtenidos mediante el empleo de una hoja de cálculo que cuantifica la emisión de CO₂ equivalente por el consumo de materiales de construcción, del personal operario encargado de su ejecución y de la maquinaria que interviene en su realización, tomando como referencia los sistemas constructivos, rendimientos y dosificaciones utilizados en esta entidad para una cubierta de seis por seis metros. Se tomaron en cuenta todos los materiales utilizados para un entrepiso, incluyendo acabados en la parte inferior.

Palabras clave: Huella ecológica, emisión de CO₂, cubiertas industrializadas de concreto.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la humanidad está convencida que es necesario conservar el medio ambiente que tenemos como fundamento para la subsistencia de nuestra especie y de las demás que conforman la biodiversidad del planeta. Esto nos hace voltear y mirar la huella ecológica que dejamos como seres humanos al generar un asentamiento y nos cuestiona en la forma de reducir su impacto. Por eso esta investigación atiende parte de lo que conforma una edificación de nuestro hábitat, y me refiero a las cubiertas y entrepisos de viviendas que de manera particular se construyen en la ciudad de Oaxaca de Juárez y sus municipios conurbados.

Los sistemas industrializados de entrepisos

y azoteas formados por concreto armado con acero que se utilizan en esta entidad y muy probablemente en la mayoría de los Estados en México, son, primeramente:

- **Sistema a base de losas perimetrales de concreto armado** con refuerzo principal en una o dos direcciones dependiendo las circunstancias del proyecto,
- **Sistema a base de paneles estructurales de alambre de acero con núcleo de material aligerante** pudiendo ser de poliuretano o poliestireno expandido. Se optó por analizar la marca Panel W® que es la más comercializada.
- **Sistemas forjados a base de viguetas pretensadas o de alma abierta** que soportan piezas de entrevigado (bovedillas) que conforman el entrepiso con una capa de concreto reforzado con malla electrosoldada. Pudiendo ser las bovedillas de concreto, arcilla o poliestireno expandido. Se optó por considerar las **viguetas de alma abierta con bovedillas de concreto**.
- **Losas aligeradas formadas por casetones** recuperables o no y nervaduras de concreto reforzado con acero y firme de concreto reforzado con malla electrosoldada en la parte superior. Se optó por las losas con casetones no recuperables a base de poliestireno expandido.
- Entrepiso o techo a base de **alma de lámina de acero acanalada** galvanizada con nervaduras transversales y capa de concreto amado con malla electrosoldada. Se optó por la sección 36/15 de la empresa IMSA®.

En todos y cada uno de estos sistemas se dimensionaron sus elementos estructurales tomando en consideración las cargas generadas por los sistemas de construcción que se

utilizan en esta entidad, para posteriormente cuantificar la emisión de contaminantes por cada elemento que conforma el sistema.

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

En una primera etapa se determinaron las variables de cálculo estructural y cargas de diseño, de cada tipo de cubierta, procediendo al dimensionamiento de cada sistema al determinar el armado de refuerzo, en su caso el espesor requerido de concreto y características propias de cada sistema. Como segunda etapa, ya definidos sus componentes, se calculó la emisión de contaminantes por metro cuadrado de cada sistema utilizando una hoja de cálculo previamente configurada según las variables descritas a continuación.

VARIABLES DE CÁLCULO

El dimensionamiento de los diferentes sistemas de cubierta consideró las siguientes variables de cálculo estructural:

- Se utilizó el método de **diseño al estado límite de falla** determinado en las Normas Técnicas Complementarias del Distrito Federal, y en apego a lo marcado en el artículo 198 del Reglamento de Construcción del Estado de Oaxaca (RCEO), que en su segundo párrafo dice textualmente: “...EN TANTO LA SECRETARÍA NO EXPIDA DICHAS NORMAS, LO ESPECIFICADO EN ESTE ARTÍCULO, SE REGIRÁ POR LAS NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS DEL DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL O POR ALGÚN OTRO ORGANISMO RECONOCIDO POR LA SECRETARÍA.”
- Para el dimensionamiento de las cubiertas se consideró un **tablero aislado de 6.0 m x 6.0 m** por lo que en algunos sistemas se requirió el apoyo

de una trabe intermedia a la mitad del claro siendo en los tres primeros sistemas de concreto armado y solo en el último, que es a base de losacero se utilizaron vigas de acero tipo IPR. El cuarto sistema, que es la losa aligerada no requirió trabe intermedia.

- Se consideró una **carga viva de 170 kg/m²** de acuerdo al artículo 229 primer y quinto incisos del RCEO vigente.
- Se consideró como **sobrecarga** la correspondiente **por un recubrimiento** a base de loseta de cerámica con mortero de asiento de cemento de 2 cm de espesor y un plafón de yeso de 1.5 cm de espesor. A excepción del sistema losacero en el cual se consideró un falso plafón de tablaroca de 12.7 mm de espesor.
- Se consideró un **incremento de carga de 40 kg/m²** de acuerdo al artículo 228 del RCEO.
- Se consideró una **resistencia** específica **del concreto** a la compresión en cilindros de prueba a los 28 días, **de 200 kg/cm²** ($F'c$).
- La **resistencia de las varillas** que se utilizan actualmente es grado 42, esto es, con un límite de fluencia **de 4,200 kg/cm²** (Fy).
- Para obtener la carga última se consideró un **factor de seguridad de 1.4** a aplicar a la carga de servicio de acuerdo a la primera regla del artículo 224 del RCEO.

Se anexa tabla 1 que resume las cargas de cálculo utilizadas.

DIMENSIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS

A continuación, se describe el análisis estructural realizado por cada sistema

exponiendo al final las cantidades totales requeridas por cada metro cuadrado del sistema, en cuanto a concreto, mortero, acero, cimbra y material industrializado. En todos ellos se consideró una sobrecarga de 298.5 kg/m² incluyendo la carga viva.

- En el sistema a base de **losa maciza** (perimetral) se partió por analizarla con refuerzo principal en dos direcciones, por lo que el claro de 6.0 x 6.0 solicitaba un espesor de 16 cm considerándolo excesivo, por lo tanto, se optó por incluir una viga intermedia a mitad del claro generando claros de 3.0 x 6.0 m, lo que permitió calcularla con refuerzo principal en una sola dirección, reduciendo el espesor a 13 cm. y requiriendo en el refuerzo principal, varillas de 3/8" a cada 27 cm. en el centro de los dos claros. En el apoyo continuo interior para soportar el momento negativo, el armado es con varilla de 3/8" a cada 18 cm resolviéndose con 2 bastones entre dos varillas corridas, el armado por cambios volumétricos es a cada 30 cm., requiriendo con esta solución las siguientes cantidades de material por metro cuadrado: 0.104 m³ de concreto, 4.8 kg de acero y 1 m² de cimbra común.
- En el sistema a base de **paneles estructurales** de alambre de acero con núcleo de material aligerante, se utilizó la marca Panel W[®] con el sistema *Panel Losa*, para lo que se dividió el tablero en dos claros generando longitudes de 3.0 m, requiriendo un espesor de 3" ya que la carga última factorizada, de 697 kg/m² es menor que los 788 kg/m² aplicables al sistema de 3", el *momento último* (de diseño) solicitado en el centro del claro es de 78,404 kg.cm, menor que el que soporta la sección con una varilla de 1/2" en cada nervadura,

que es de 80,323 kg.cm con esto, cada metro cuadrado requiere 0.055 m³ de concreto, 2.5 kg de acero, 0.021 m³ de mortero, 1.0 m² del sistema panel W formado por alambres galvanizados y poliestireno expandido, así como un apuntalamiento a cada 1.5 m.

- En el sistema forjado a base de **vigueta y bovedilla** se optó por el sistema de alma abierta con bovedillas de mortero, utilizándose una viga intermedia a la mitad del claro, reduciendo la longitud a 3.0 m y requiriendo una vigueta tipo 14-36 con acero de refuerzo adicional, de 2 varillas de 3/16" y bovedillas de 16 cm de peralte, con capa de compresión de 4 cm de espesor y reforzada con malla electrosoldada 6x6-8/8. Se consideró apuntalamiento a 1.50 m del claro.
- En el sistema de **losa aligerada** se requirieron un espesor total de 20 cm. con nervaduras de 11cm. con una varilla de 1/2" y una de 5/8" y estribos de alambón a cada 10 cm., casetones de poliestireno expandido de 65x65x15 cm con una plantilla de 5 cm de espesor. Se consideró 1 m² de cimbra común.
- En el sistema a base de **alma de lámina de acero acanalada galvanizada** con nervaduras transversales y capa de concreto armado con malla electrosoldada, se optó por Losacero sección 36/15 marca IMSA[®] calibre 24, con una capa de compresión de 5 cm con conectores o pernos de 1/2". La sobrecarga de esta es de 486 kg/m² teniendo una sobrecarga máxima de 299 kg/m².

CONSIDERACIONES ADICIONALES

Para los *sistemas de losa perimetral* con refuerzo principal en una dirección y el

sistema *vigueta y bovedilla* se requirió una trabe intermedia de 25x45 armada con varillas de 5/8", dos en el lecho inferior, dos en el lecho superior y dos en forma de columpio con estribos de 1/4" de dos ramas a cada 20 cm.

Para el *sistema de panel W* se requirió una trabe intermedia de 20x45 armada con varillas de 5/8", dos en el lecho inferior, dos en el lecho superior y dos en forma de columpios con estribos de 1/4" de dos ramas a cada 20 cm.

En el sistema Losacero® se requirió una viga intermedia de 12"x6 1/2" con peso de 52.2 kg/ml y vigas laterales de 8"x4" con pesos de 22.4 kg/ml.

Únicamente en el *sistema a base de losas aligeradas* no se requirió viga intermedia.

Para los sistemas de; losa perimetral con refuerzo principal en una dirección, sistema de *vigueta y bovedilla* y sistema de panel W®, se consideró para su emisión de contaminantes cadenas de cerramiento de 15x20 armada con 4 varillas de 3/8" y estribos de alambón a cada 20 cm con cimbra común.

EMISIÓN DE CONTAMINANTES

Para cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero, específicamente dióxido de carbono CO₂ equivalente, se realizó un análisis cuantitativo en kilogramos de contaminantes por metro cuadrado de cubierta utilizando el programa Excel®. En dicho programa se consideraron diversas variables relacionadas con los procesos constructivos y materiales utilizados en cada uno de los sistemas de construcción evaluados; así mediante el uso de hojas de cálculo en forma de tablas de datos de emisión de CO₂ producido por las variables de: Materiales, Personal Operario y Maquinaria; aplicado a los consumos generados por cada sistema de construcción, nos permitió determinar su impacto ambiental. Para generar la base de datos se consideró información publicada en otras investigaciones donde se determinaron

de manera experimental las emisiones de CO₂ durante la manufactura de diversos materiales de construcción. Adicionalmente, se llevó a cabo un análisis sobre las emisiones de dióxido de carbono generadas por el uso de maquinaria y por su personal operario, lo cual fue incluido en la base de datos del programa, siendo esta una de las contribuciones de esta investigación al área de estudio, ya que dicha información es limitada en la literatura.

Con la finalidad de medir el total de CO₂ emitido en la construcción de cada sistema, fue necesario tomar en cuenta no solo los insumos que participan en el sistema en estudio, sino que además se consideraron elementos estructurales de soporte como son cadenas de cerramiento y trabes de concreto o acero requeridas de forma particular. No se incluyó para el cálculo de emisión de CO₂ equivalente los aportes correspondientes a la loseta de recubrimiento, su mortero, así como el correspondiente aplanado de yeso en plafón, dado que no forman parte de la estructura y es preferibles analizarlos en un apartado sobre acabados de construcción. De lo anterior se obtiene la tabla 2, que muestra la cuantificación de CO₂ por sistema estructural, todo en kilogramos de CO₂ equivalente para 36 m² de cubierta.

COMENTARIOS FINALES

RESUMEN DE RESULTADOS

Haciendo un análisis por cada sistema en un metro cuadrado se obtiene la tabla 3, que concentra la emisión de contaminantes:

En esta se observa que el sistema que produce menos contaminante en su construcción es el sistema tradicional de losa maciza seguido por los sistemas de Losa aligerada y el sistema *vigueta y bovedilla*, y el último con mayor contaminación es el sistema de cubierta a base de losacero.

Analizando la emisión de contaminantes por tipo de insumo se obtiene la tabla 4, que

Componente	Losa maciza ref. 1 dir. h=13 cm.	Panel W losa 3" h = 13 cm.	Vigueta y bovedilla h= 20 cm. esp.	Losa aligerada h= 20 cm. esp.	Losacero 36/15 de h=5 cm.
Piso de loseta de porcelana	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
Mortero para recibir piso de granito	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00
Sistema de cubierta	312.00	199.30	269.87	217.77	152.16
Plafon de yeso de 1.5 cm./de tablaroca	22.50	22.50	22.50	22.50	22.50
sobrecarga	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00
Carga muerta	440.50	327.80	398.37	346.27	280.66
Carga viva maxima	170.00	170.00	170.00	170.00	170.00
Carga de servicio	610.50	497.80	568.37	516.27	450.66
Carga última	854.70	696.92	795.71	722.78	630.92

Ref. 1 dir. = Reforzado en una dirección
h = espesor de la losa
Tabla 1 Análisis de cargas últimas por sistema
(Elaboración propia)

Código	Descripción completo	Unidad	Cantidad	CO2eq	Total CO2eq	%
1	Losa de maciza de concreto f'c=200kg/cm2 T.M.A.G. 3/4" de 13 cm. De espesor armada con var de 3/8 a cada 26 cm. en el centro y a cada 17 en el borde continuo y a cada 30 cm por cambios volumétricos, Acabado comun, incluye Trabe de 25x45 armada con 6 varillas de 5/8" estribos de alambón a cada 20 cm y cadena de cerramiento de 15x20 armada con 4 varillas de 3/8" y estribos de alambón a cada 20 cm., acabado comun.				3449.06	100%
PU-ESCON-010	Losa maciza de concreto f'c=200kg/cm2 T.M.A.G. 3/4" de 13 cm. De espesor armada con var de 3/8 a cada 27 cm. en centro de claro y bode discontinuo y a cada 18 cm. en borde continuo para el momento positivo y a cada 30 cm. en cambios vol. Acabado comun.	M2	36.0000	65.0740	2342.66	68%
PU-ESCON-200	Trabe de concreto armado de 25x45 cm. concreto f'c=200 kg/cm2 T.M.A.G. 3/4" armada con 6 varillas del no. 5 y estribos de alambón a cada 20 cm.	ML	6.0000	93.3600	560.16	16%
PU-CADEN-020	Cadena de cerramiento 15x20 Concreto F'c=200 KG/CM2, T.M.A.G. 3/4", con 4 var 3/8" y estribos del 2 a cada 20 CM. acabado comun.	ML	24.0000	22.7600	546.24	16%
2	Cubierta a base panel W tipo L-PS-3 con refuerzo de dos varillas de 3/8" a cada 50 cm en claro corto, con capa de compresión de 4 cm. De espesor de concreto f'c=200 kg/cm2. Trabe de 20x45 armada con 6 varillas de 5/8" y estribos de alambon a cada 21 cm.y cadenas de cerramiento de 15x20 con varilla de 3/8".				3850.62	100%
PU-ESCON-055	Cubierta a base panel W tipo L-PS-3 con refuerzo de una varilla de 1/2" a cada 50 cm en claro corto, con capa de compresión de 4 cm. De espesor de concreto f'c=200 kg/cm2., incluye cimbra, mano de obra, herramienta y todo lo necesario.	M2	36.0000	77.4000	2786.40	72%
PU-CADEN-020	Cadena de cerramiento 15x20 Concreto F'c=200 KG/CM2, T.M.A.G. 3/4", con 4 var 3/8" y estribos del 2 a cada 20 CM. acabado comun.	ML	24.0000	22.7600	546.24	14%
PU-ESCON-210	Trabe de concreto armado de 20x45 cm. concreto f'c=200 kg/cm2 T.M.A.G. 3/4" armada con 6 varillas del no. 5 y estribos de alambón a cada 21 cm.	ML	6.0000	86.3300	517.98	13%
3	Cubierta a base de vigueta y bovedilla de alma abierta de 20 cm. De espesor con viguetas de 14-36 y refuerzo adicional de 2 barillas de 3/16" con una capa de compresión de concreto f'c=200 kg/cm2 de 5 cm. De espesor con malla electrosoldada 6x6-8/8 y bovedillas de mortero de 15x20x68.				3624.85	100%
PU-ESCON-040	Cubierta a base de vigueta y bovedilla de alma abierta de 20 cm. con vigueta 14-36 y refuerzo adicional de 2 varillas 3/16" con una capa de compresión de concreto f'c=200 kg/cm2 de 5 cm. De espesor y malla electrosoldada 6x6-8/8 y bovedillas de mortero.	M2	36.0000	69.9570	2518.45	69%
PU-ESCON-200	Trabe de concreto armado de 25x45 cm. concreto f'c=200 kg/cm2 T.M.A.G. 3/4" armada con 6 varillas del no. 5 y estribos de alambón a cada 20 cm.	ML	6.0000	93.3600	560.16	15%
PU-CADEN-020	Cadena de cerramiento 15x20 Concreto F'c=200 KG/CM2, T.M.A.G. 3/4", con 4 var 3/8" y estribos del 2 a cada 20 CM. acabado comun.	ML	24.0000	22.7600	546.24	15%
4	Losa aligerada de 20 cm. de espesor con capa de compresión de 5 cm. con malla 6x6-6/6 y con casetones de 65x65x15 cm. Nervaduras de 11 cm. de ancho reforzada con 1 varillas de 1/2" en la parte superior y 1 varillas de 5/8" en la cara inferior.				3751.56	100%
PU-ESCON-020	Losa aligerada de 20 cm. de espesor con capa de compresión de 5 cm. con malla 6x6-6/6 y con casetones de 65x65x15 cm. Nervaduras de 11 cm. de ancho reforzada con 1 varillas de 1/2" en la parte superior y 1 varillas de 5/8" en la cara inferior.	M2	36.0000	104.2100	3751.56	100%
5	Cubierta a base de losacero 36/15 calibre 24 con conectores. sobrecarga de 309 kg/m2. con capa de concreto de 5 cm. de espesor con refuerzo de malla electrosoldada 6x6-6/6, sobrecarga máxima de 486 kg/m2 con apuntalamiento intermedio de cada claro.				4022.22	100%
PU-ESCON-060	Cubierta a base de losacero Calibre 24 Sección 30/15 con 5 cm, de espesor de concreto f'c=200 kg/cm2. hecho en obra, con malla electrosoldada 6x6-6/6, incluye conectores nelson.	M2	36.0000	52.5800	1892.88	47%
PU-ESCON-090	Viga IPR de 12" x 6 1/2" incluye elevación, colocación y soldado as=52.2 kg/m	ML	6.0000	192.1500	1152.90	29%
PU-ESCON-085	Viga IPR de 8" x 4" incluye elevación, colocación y soldado as=22.4 kg/m	ML	12.0000	81.3700	976.44	24%

Tabla 2 Cuantificación de Emisión de CO₂ eq. por sistema estructural de 36 m².
(Elaboración propia).

Descripción completa	Emisión de CO2 únicamente del sistema	Emisión de CO2 únicamente del sistema.	Emisión de CO2 x proyecto en 36 m2.	Emisión de CO2 x proyecto en kg/M2
<i>Losa de maciza de concreto f'c=200kg/cm2 T.M.A.G. 3/4" de 13 cm. De espesor armada con var de 3/8 a cada 26 cm. en el centro y a cada 17 en el borde continuo y a cada 30 cm por cambios volumétricos, Acabado comun, incluye aplanado en plafón con yeso de 1.5 cm. De espesor. Trabe de 25x45 armada con 6 varillas de 5/8" estribos de alambón a cada 20 cm.</i>	2343	65	3449	96
<i>Cubierta a base panel W tipo L-PS-3 con refuerzo de dos varillas de 3/8" a cada 50 cm en claro corto, con capa de compresión de 4 cm. De espesor de concreto f'c=200 kg/cm2. con plafón de yeso de 1.5 cm. de espesor acabado fino. trabe de 20x45 armada con 6 varillas de 5/8" y estribos de alambón a cada 21 cm. y cadenas de cerramiento de 15x20 con varilla de 3/8"</i>	2786	77	3851	107
<i>Cubierta a base de vigueta y bovedilla de 20 cm. De espesor con viguetas de 14-36 y refuerzo adicional de 2 barillas de 3/16" con una capa de compresión de concreto f'c=200 kg/cm2 de 5 cm. De espesor con malla electrosoldada 6x6-8/8 y bovedillas de mortero de 15x20x68.</i>	2518	70	3625	101
<i>Losa aligerada de 20 cm. de espesor con capa de compresión de 5 cm. con malla 6x6-6/6 y con casetones de 65x65x15 cm. Nervaduras de 11 cm. de ancho reforzada con 1 varillas de 1/2" en la parte superior y 1 varillas de 5/8" en la cara inferior.</i>	3752	104	3752	104
<i>Cubierta a base de losacero 36/15 calibre 24 con conectores. sobrecarga de 309 kg/m2. con capa de concreto de 5 cm. de espesor con refuerzo de malla electrosoldada 6x6-6/6, sobrecarga máxima de 486 kg/m2 con apuntalamiento intermedio de cada claro.</i>	1893	53	4022	112

Tabla 3 Emisión de contaminantes por sistema en metro cuadrado.
(Elaboración Propia).

	Losa maciza		Panel W		Vigueta y bovedilla		Losa aligerada		Losa nervada		Promedio en %
	CO2 eq.	%	CO2 eq.	%	CO2 eq.	%	CO2 eq.	%	CO2 eq.	%	
Material	3167	92%	3490	91%	3352	93%	3544	94%	3644	91%	92%
Mano de obra	237	7%	331	9%	243	7%	175	5%	166	4%	6%
Maquinaria	44	1%	30	1%	30	1%	33	1%	212	5%	2%
Totales	3449	100%	3851	100%	3625	100%	3752	100%	4022	100%	100%

Tabla 4 Emisión de contaminantes por tipo de insumo que interviene en el sistema.
(Elaboración propia).

	Losa maciza		Panel W		Vigueta y bovedilla		Losa aligerada		Losa acero		Promedio en %
	CO2 eq.	%	CO2 eq.	%	CO2 eq.	%	CO2 eq.	%	CO2 eq.	%	
Cemento	956	30%	619	18%	611	18%	621	18%	359	10%	19%
Acero	832	26%	631	18%	575	17%	1142	32%	1888	52%	29%
Industrializados	0	0%	1392	40%	1419	42%	682	19%	866	24%	27%
Otros	1379	44%	848	24%	747	22%	1099	31%	532	15%	25%
Totales	3167	100%	3490	100%	3352	100%	3544	100%	3644	100%	100%

Tabla 5 Emisión de contaminantes por tipo de material que interviene en el entrepiso.
(elaboración propia).

se muestra a continuación.

Esto nos muestra que el tipo de insumo que más repercute en contaminación son los materiales, con un promedio del 92% de cada sistema; después la mano de obra con el 6% y al último, el uso de maquinaria con el 2%.

Analizando los materiales y en particular el cemento, el acero de refuerzo y el material industrializado utilizado en el sistema se obtiene la tabla 5 de emisión de contaminantes por tipo de material.

De este análisis se observa que en promedio el principal material contaminante en los sistemas es el acero de refuerzo con el 29%; después el material industrializado como el panel W, viguetas y bovedillas, poliestireno expandido en la losa aligerada y lámina acanalada en la losacero con el 27% y después el cemento gris con el 19%.

CONCLUSIONES

La base de datos generada a partir de información publicada en investigaciones donde se determinaron de manera experimental los gases de efecto invernadero emitidos en la manufactura de diversos materiales de construcción, permitió cuantificar las emisiones de CO₂ equivalente. Los resultados obtenidos en esta investigación arrojan las siguientes conclusiones:

- El sistema que emite menos contaminante en su construcción es el sistema de losa maciza, con 96 kg CO₂ x m² en aplicación como entrepiso.
- El sistema con mayor emisión de contaminantes es la cubierta a base de losacero con 112 kg de CO₂ eq. x m², en un sistema de entrepiso (ver tabla 3) esto principalmente por la cantidad de acero que participa.
- Existe poca diferencia entre los cinco sistemas, esto es, mientras que el sistema losacero tiene un incremento

de 16 kg de CO₂ equivalentes al 17% con respecto al menor de todos que es la losa maciza (ver tabla 3). Diferencia relativamente pequeña si consideramos que los acabados como loseta de cerámica y plafón de yeso general 33 kg de CO₂ equivalente y un muro de tabique rojo de 13 cm. de espesor con aplanado de mezcla acabado fino en las dos caras con pintura vinílica genera 74 kg de CO₂ equivalente por metro cuadrado.

- En cada sistema existe algún material que aporta fuertemente contaminantes al total del sistema, siendo la lámina acanalada en la losacero, con un 24%; en la losa aligerada el poliestireno con un 19%; en el sistema vigueta y bovedilla, las mismas emiten el 42% y en el sistema panel W el panel representa el 40% (ver tabla 5).
- A razón de comparación se realizó el análisis de un sistema a base de terrado con vigas de madera de 4"x4" con enladrillado encima, una capa de tierra y terminado con un firme enladrillado con acabado de lechada de cemento gris, arrojando un resultado de 99 kg de CO₂ x m², muy cercano de la losa maciza. Esto se debe a la cantidad de contaminantes que emite el ladrillo de barro rojo recocido, en su producción. En este análisis se incluyeron cadena de cerramiento y para dividir el tablero en dos claros de 3.0 m. una trabe de concreto de 20x40.

RECOMENDACIONES

Se recomienda el uso racionalizado del acero y cemento en las estructuras de soporte que así lo requieran, no obstante, existen muchos otros componentes de una construcción a considerar y que tienen una

repercusión igual o probablemente mayor que la estructura, como son muros, pisos, acabados e instalaciones. Por lo que se recomienda hacer un estudio comparando diferentes sistemas de construcción como son un edificio a base de marcos, un edificio a base de muros confinados y un edificio con construcción regionalizada.

Es bueno también analizar el comportamiento de las estructuras desde un punto de vista térmico, ya que de esto depende el mayor o menor consumo energético en el buen funcionamiento del edificio.

REFERENCIAS

Carazo, Alejandro. *Cifras básicas de la relación madera-fijación de carbono- CO₂ atmosférico*. Base de Datos ICYT, Revista electrónica *Montes*, revista núm. 84, año 2006, pp. 48-52.

Base de datos del Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña (ITeC). <https://itec.es/metabase/productos-sostenibles/14/m/m/#>

Base de datos emitida por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España. *Cálculo automático de emisiones totales en relación a los consumos energéticos de sus instalaciones. Año 2014*.

Reglamento de construcción y seguridad Estructural para el Estado de Oaxaca. Gobierno del Estado de Oaxaca. Vigente.

Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto del Distrito Federal. Gaceta oficial del 6 de octubre de 2004. Tomo I. Administración Pública del Distrito Federal, Jefatura de Gobierno.