

Evaluación del impacto ambiental de puentes de concreto de ultra-alto desempeño para el desarrollo sostenible (parte 2)

La energía primaria se puede definir como toda aquella energía necesaria para la transportación y producción de todos los materiales necesarios para la construcción de una edificación, incluso la extracción de las materias primas, manufactura y montaje, así como toda aquella energía relacionada con los equipos y maquinaria necesarios para estos procesos, incluye energía eléctrica, gasolina y aceites combustibles. El Instituto de Materiales Sostenibles de Atenas (*The Athenea Sustainable Materials Institute, ASMI*) provee factores (Tabla 1) para el cálculo de la energía primaria, de las emisiones de CO₂ así como de otros gases causados por el uso de materiales para la construcción. El potencial del calentamiento global fue calculado basándose en el método del ASMI con la siguiente ecuación:

$$GWP(k_g) = CO_2(k_g) + 150[NO_x(k_g)] + 63[CH_4(k_g)]$$

Ecuación (1)

Dónde: GWP = potencial del calentamiento global (k_g)

CO_2 = emisiones de dióxido de carbono (k_g)

NO_x = óxidos de nitrógeno compuestos por óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂) (k_g)

CH_4 = gas metano.

El cálculo de la energía primaria, las emisiones de CO₂ y el potencial del calentamiento global (GWP) de los materiales utilizados en la construcción del puente de acero y UHPC se muestran en las Tablas 2 y 3 respectivamente. Estas cantidades se determinaron al hacer uso de la Tabla 1 y la Ecuación 1.

Material	Densidad	Energía Primaria	Total CO ₂	Total NO _x	Total CH ₄	GWP (100 años)
	Kg/m ³	GJ/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg CO2 Equivalentes / m ³
Concreto 30 MPa	2324	2.039	370.8	2.07	0.15	690.8
Concreto 60 MPa	2386	2.442	393.4	2.27	0.17	744.6
Acero presfuerzo	7800	84.94	17123	55.38	30.65	27361
Acero estructural	7800	84.94	17123	55.38	30.65	27361
UHPC	2500	6.62	1138	5.68	0.97	2051

Tabla 1. Volúmenes de energía incorporada, emisiones de CO₂ y otros gases debido al uso de diferentes materiales para la construcción (de acuerdo a *Athenea Sustainable Materials Institute, ASMI*).

> Dr. Jorge Márquez Balderrama
Universidad Autónoma de Chihuahua / Facultad de Ingeniería
FINGUACH Año 5, Núm. 17, septiembre- noviembre 2018

Elemento	Volumen de materiales (m ³)	Volumen de materiales (ton)	Energía primaria (GJ)	Emisiones CO ₂ (k _e)	GWP (K _e equiv. de CO ₂)
Losa: Concreto f _c = 30 MPa	43.92	102.07	89.55	16,286	30,340
Lamina-cimbra y refuerzo de losa	0.44	3.43	37.37	7,534	12,039
Estructura: vigas de acero	5.76	44.93	489.25	98,628	157,599
Total	50.12	150.43	616.17	122,448	199,978

Tabla 2. Puente de acero: cantidad de materiales, energía primaria y emisiones de CO₂.

	Cantidad de materiales (m ³)	Cantidad de materiales (ton)	Energía primaria (GJ)	Emisiones CO ₂ (k _e)	GWP (K _e equiv. de CO ₂)
Losa: concreto	-	-	-	-	-
Trabes UHPC	37.62	94.05	249.04	42,812	77,159
Acero de presfuerzo	0.41	3.20	34.83	7,020	11,218
Total	38.10	97.25	283.87	49,832	83,377

Tabla 3. Puente UHPC: cantidad de materiales, energía primaria y emisiones de CO₂.

La comparación relativa de los datos ambientales totales de materiales para los tipos de puentes se muestra en la Figura 2. Para la construcción inicial, el puente UHPC utiliza el 65 % de los materiales de construcción, consume el 46 % de la energía primaria, produce el 41 % de CO₂ y tiene el 44 % del potencial de calentamiento global en comparación con el puente de acero.

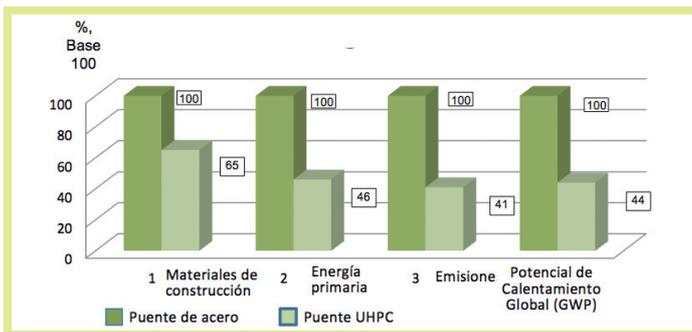


Figura 2. Cantidades relativas de la energía primaria y emisiones de CO₂ para puente de acero contra puente UHPC (De acuerdo a V.H Perry, 2011).

Finalmente, para completar de evaluar los beneficios y el desarrollo sostenible del uso de UHPC en puentes es necesario incluir el factor "tiempo de construcción" de ambos puentes. Para el caso del puente de UHPC existe un ahorro considerable de tiempo debido a que no existe la necesidad de la construcción de una losa de concreto reforzado ya que los patines de las vigas prefabricadas UHPC tipo Pi reciben y soportan el tránsito vehicular.

Al suponer que se necesitarán treinta días adicionales para finalizar el programa de obra del puente de acero con losa de concreto fabricada y colada en el lugar y suponiendo que hubiese un recorrido adicional debido al retraso de construcción de 2 km por día por vehículo para un volumen de 2 000 vehículos diarios, resultaría en un aumento de 30 000 kg de CO₂ basándose en una estimación ambiental del ASMI de 0.25 kg de CO₂ por vehículo por km recorrido. Esto resultaría en un aumento neto de CO₂ para el puente de acero de 122 448 kg (ver Tabla 2) a 152 448 kg de CO₂ lo cual aumentaría a tres veces más que las emisiones causadas por las del puente UHPC. Si a éste resultado le sumamos el hecho de que el puente de acero necesite mantenimiento una sola vez en su vida útil debido al desgaste de su losa de concreto y la corrosión de su estructura metálica, entonces el consumo de energía primaria y las emisiones de CO₂ cau-





sadas tanto por el retraso del tránsito vehicular como por la ejecución de tales reparaciones dañarían aún más el medio ambiente resultando de esta forma una ventaja adicional al desarrollo sostenible del puente UHPC.

Conclusiones:

Hoy en día existe un gran debate y discusiones entre intelectuales, ambientalistas, el gobierno y la industria en relación al tema del calentamiento global y a las emisiones de CO₂ sin tener un consenso o una clara solución de cómo resolver radicalmente estos problemas. Las emisiones de CO₂ afectan considerablemente el medio ambiente y en general al desarrollo sostenible de la infraestructura de cualquier país. En los próximos 15 años se necesitará aumentar la infraestructura mundial a más del doble de su valor actual resultando así inversiones de seis billones de pesos anuales (<http://www.nacion.com>, 2016). Aproximadamente el 75 % de ésta inversión se deberá principalmente a las necesidades que existen de crecimiento, urbanización y retrasos significativos en la materia de países subdesarrollados. Si nuestra sociedad continúa usando las tradicionales y antiguas formas de construcción de infraestructura no alcanzaremos el tan deseado y necesario crecimiento sostenible que nos permita un crecimiento económico, bienestar social y protección ambiental. Por último, cabe señalar que las autoridades deben destinar una parte significativa de las nuevas inversiones en a la investigación y desarrollo de una infraestructura que maximice su vida útil, minimice su mantenimiento y el impacto de deterioro en el medio ambiente.

Referencias

- American Society of Civil Engineers (ASCE), "2009 Report Card for American Infrastructure", ASCE, Reston, VA, USA 2009.
- Athena Sustainable Materials Institute Report (ASMI) "Life Cycle Embodied Energy & Global Emissions for Concrete & Asphalt Roadways", Canada, May 1999.
- Bridges in the US", PCA, Skokie, IL, USA, 2008.
- Bierwagen, Dean, et al, "Design of Buchanan County, IA, Bridge, Using UHPC and Pi-girder Cross Section". 2008 PCI National Bridge Conference, USA, 2008.
- Henry G. Russell and Benjamin A. Graybeal, June 2013, "Ultra-High Performance Concrete". Technical Note No. FHWA-HRT-13-060, Federal Highway Administration, McLean, VA, pp.1-8.
- Infraestructura para un futuro: <http://www.nacion.com/opinion/foros/infraestructura-para-un-futuro-sostenible/VM4L-76J6CJBG3DUOCSF2CEWYAU/story/>
- National Bridge Inventory. *Count of Bridges by Structure Type* <http://www.fhwa.dot.gov/bridge/nbi/strtyp09.cfm>. Accessed July 9, 2010.
- Park, Hesson, Ulm, Franz & Chuang, Eugene, "Model Based Optimization of UHPC Highway Bridge Girders", FHWA/MIT Report #CEE Report R03-01, Cambridge, MA, USA, March 2003.
- United Nations website (www.un.org).
- V.H. Perry. Sustainable UHPC Bridges for the 22nd Century. 2011 Conference and Exhibition of the Transportation Association of Canada. Paper # 01360431, 13p.7