



## **Análisis de daños estructurales en edificaciones por contaminación del Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) asociado al flujo vehicular en la vía nacional en el casco urbano del municipio de Pamplona, Norte de Santander.**

### **Analysis of structural damage in buildings due to carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) contamination associated with vehicular flow in the national road in the urban area of Pamplona, Norte de Santander.**

**Edgar Enrique La Rotta Villamizar<sup>1</sup>, Jarol Derley Ramón Valencia<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Ingeniero Civil. Investigador. Universidad de Pamplona. Correo electrónico. ingelcons@gmail.com

<sup>2</sup> PhD en contaminación atmosférica. Docente asociado. Universidad de Pamplona. jarol.ramon@unipamplona.edu.co

#### **Resumen**

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es un gas de efecto invernadero que además de afectar al medio ambiente y la salud, influye en daños estructurales de las edificaciones por procesos como la carbonatación y la despasivación. En la presente investigación se analizó la incidencia que presenta la contaminación ambiental por efecto de la concentración del dióxido de carbono sobre las estructuras de concreto reforzado aferentes al área del corredor vial de la vía nacional en la zona urbana del municipio de Pamplona, así mismo, se realizó un inventario vehicular por una semana en los tres 3 corredores Viales Nacionales que ingresan a Pamplona provenientes desde ciudades como

Cúcuta, Bucaramanga y Saravena, categorizando los vehículos de acuerdo a las clasificaciones del Ministerio de Transporte e Instituto Nacional de Vías (INVIAS), además de efectuar mediciones de dióxido de carbono en puntos estratégicos. Las emisiones de este contaminante provienen del flujo de aproximadamente 32085 vehículos que deterioran de forma lesiva las edificaciones construidas con concreto tradicional y con acero de refuerzo. En este contexto, las incidencias del grado de contaminación del dióxido de carbono presentan una relación directa sobre el aumento desmedido de procesos patológicos a través del fenómeno de la carbonatación del hormigón y de la despasivación del



acero de refuerzo, los cuales se constituyen en riesgo de colapso prematuro de las edificaciones amenazadas.

Palabras clave: Carbonatación, Depasivación, Emisiones, Patología.

### **Abstract**

Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) is a greenhouse gas that in addition to affecting the environment and health, influences structural damage to buildings by processes such as carbonation and depassivation. In the present investigation, the incidence of environmental pollution due to the concentration of carbon dioxide on reinforced concrete structures afferent to the area of the road corridor of the national road in the urban area of the municipality of Pamplona, was analyzed. a vehicular inventory was carried out for a week in the three 3 National Road corridors that enter Pamplona from cities such as Cúcuta, Bucaramanga and Saravena, categorizing the vehicles according to the classifications of the Ministry of Transport and the National Institute of Roads (INVIAS), in addition to making measurements of carbon dioxide in strategic points. The emissions of this pollutant come from the flow of approximately 32085 vehicles that deteriorate in a damaging way the buildings built with traditional concrete and reinforcing steel. In this context,

the incidences of the degree of carbon dioxide pollution have a direct relationship with the excessive increase of pathological processes through the phenomenon of the carbonation of concrete and the depassivation of reinforcing steel, which constitute a risk of premature collapse of threatened buildings.

Keywords: Carbonation, Depassivation, Emissions, Pathology.

### **1. Introducción**

El aumento desmedido de vehículos está generando una cantidad de contaminantes en forma de gas producido por la quema de combustibles fósiles al interior de cada máquina, sobresaliendo el Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) como el más letal, debido a sus características antropogénicas y a los procesos secundarios que genera; si bien es considerado como un gas malicioso mas no como un gas altamente peligroso para la salud humana, el CO<sub>2</sub> además de estos riesgos produce deterioros a los materiales donde logra depositarse. Respecto a las emisiones de compuestos contaminantes por flujo vehicular, Saldaña (2016) señala que el efecto de la mala combustión en los motores de los vehículos produce sustancias contaminantes, entre las que se destacan: hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de

nitrógeno (NO), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y las macro partículas. En Colombia, la principal fuente de emisión es el transporte terrestre (vehículos livianos y de carga) por el consumo de diésel y gasolina. Según el IDEAM et al. (2016), el Dióxido de Carbono emitido por los vehículos equivale al 97,62% de las emisiones totales, donde también se incluyen otros compuestos como el metano y el dióxido de nitrógeno. El sector transporte es el cuarto sector más importante a nivel nacional en términos de emisiones, las cuales en un 90% se deben al uso energético de combustibles fósiles.

La carbonatación del concreto es una enfermedad que ataca al concreto aun en estado fresco (primeras horas), el responsable del ataque es el dióxido de carbono CO<sub>2</sub> como gas presente en el medio ambiente que ataca los componentes alcalinos en la fase acuosa del concreto como pasta (Galán 2011; Calvo y Sierra, 2015). Como lo expone Montani (2000) y Valle, Pérez y Martínez (2001), citados por Correa et al. (2008), el proceso de carbonatación ocurre cuando el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) reacciona con la humedad dentro de los poros del concreto y convierte el hidróxido de calcio alcalino en carbonato de calcio, que tiene un pH más bajo, lo que produce la despasivación del acero de refuerzo y, por ende, su resistencia a la corrosión. La combinación de los

147

agentes agresivos tiene un impacto sinérgico, acelerando el proceso de degradación del concreto y la del refuerzo, pues se produce corrosión y debilita las estructuras.

Estadísticas de estudios de movilidad para el caso de Pamplona, como los realizados por Callejas y Mariotta (2013) revelan que cerca de los 25000 vehículos que transitan por la ciudad, 18000 son fijos, 5000 usan la ciudad como paso obligatorio hacia otros destinos y aproximadamente 2000 a manera de visita. Todo este flujo vehicular para una población de 100.000 habitantes, obteniéndose una relación per cápita de 4 personas por vehículo y una ocupación vehicular del 87,5 %; esto genera una cantidad importante de contaminantes en el ambiente, en especial de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), directamente responsable de una de las nuevas enfermedades del concreto estructural y del acero de refuerzo; la carbonatación y la despasivación. (Broto, 2010).

148

De acuerdo con lo anterior, la presente investigación apunta a determinar las edificaciones representativas que padecen las patologías enunciadas y el grado de lesión, su vulnerabilidad y las estrategias de salvamento que se pueden aplicar antes de recomendar patología forense, teniendo en cuenta la incidencia del Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ) asociado al flujo vehicular.

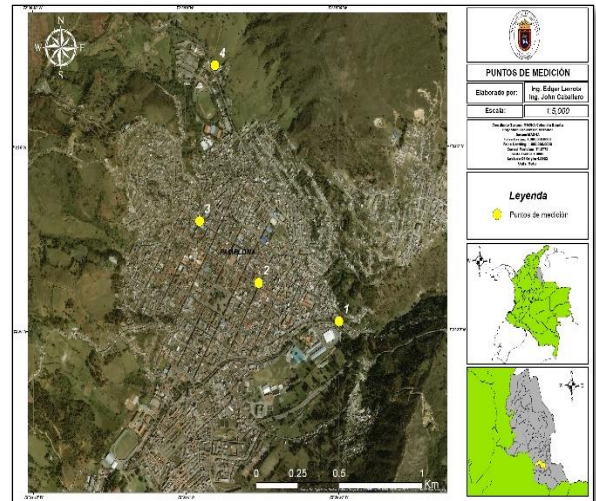
## 2. Metodología

La investigación se desarrolló en tres escenarios para determinar los valores y comportamientos de la información obtenida.

**2.1 Identificación vehicular.** Se realizaron inventarios de flujo vehicular en los principales corredores viales del municipio de Pamplona, según especificaciones del Instituto Nacional de Vías (INVIAS).

**2.2 Edificaciones amenazadas.** Se realizaron experimentos de patología estructural para la identificación de las relaciones de daño, asociadas a la influencia del  $\text{CO}_2$ , sobre las estructuras ubicadas en los 3 principales corredores viales del municipio.

**2.3 Mediciones de  $\text{CO}_2$ .** Se efectuaron mediciones de  $\text{CO}_2$  en puntos estratégicos del municipio, para estimar el volumen del gas sectorizado.



**Figura. 1** Localización general-Puntos de muestreo  $\text{CO}_2$

## 3. Resultados

En la Figura 1 se presenta la localización general de los puntos de muestreo de  $\text{CO}_2$  en el municipio de Pamplona, Norte de Santander.

El punto 1 se localizó en la vía nacional en la salida a Cúcuta, donde inicia la calle 3; el segundo punto se ubicó en la calle 4 con carrera 7 en inmediaciones del palacio de justicia; el tercer punto se ubicó en la calle 3 con carrera 3 y el cuarto punto se localizó en la salida a Bucaramanga en inmediaciones al campus principal de la Universidad de Pamplona. Cabe mencionar que los puntos tienen un aumento en su altitud respectivamente con su ubicación.

El flujo vehicular se realizó en las tres entradas del municipio de Pamplona en vía nacional por un periodo de 1

semana 24 horas en el año 2015, según especificaciones de INVIAS. En la salida a Bucaramanga se determinó un flujo semanal de 11719 y en la salida a Cúcuta de 18894 vehículos de todas las categorizaciones. Estos valores representan el flujo vehicular que entra a la ciudad de Pamplona.

En la Tabla 1 se presentan los valores correspondientes al experimento de carbonatación, y las mediciones de CO<sub>2</sub> realizadas. Los valores de carbonatación establecidos corresponden al valor acumulado de esta patología estructural del periodo 2014-2017.

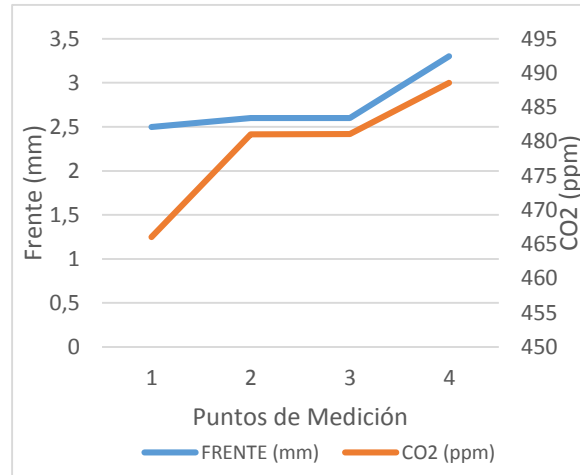
**Tabla 1.** Frente de Carbonatación y CO<sub>2</sub>.

Punto	Carbonatación (mm)	[CO <sub>2</sub> ] (ppm)	Altitud (m.s.n.m)
1	2,5	466,04	2284
2	2,6	481,03	2290
3	2,6	481,1	2305
4	3,3	488,56	2383

La mayor concentración de CO<sub>2</sub> se presenta en el punto 4 el cual corresponde al mayor nivel altitudinal de los puntos de medición (Tabla 1). Así mismo, se observa un incremento en concentración de CO<sub>2</sub> a medida que aumenta la altitud. Por lo tanto, se puede establecer que la concentración del contaminante presenta una correlación positiva con la altitud, es decir, son directamente proporcionales. Por otra parte, el mayor flujo vehicular se estableció en la salida a Cúcuta, mas no, la mayor

concentración. Esto es otro indicio de que el CO<sub>2</sub> se dispersa a las zonas periféricas del municipio.

En la Figura 2 se presenta la relación entre las concentraciones de CO<sub>2</sub> registradas para el periodo de muestreo, y los valores analizados de carbonatación.



**Figura 2.** Carbonatación vs CO<sub>2</sub>

Como se observa, la relación que se establece entre el CO<sub>2</sub> y la carbonatación es directamente proporcional según el coeficiente de correlación de 0.75, pues a mayores concentraciones de Dióxido de Carbono, mayores son los niveles de carbonatación en las estructuras analizadas. Esto se considera un estado de carbonatación avanzado, puesto que la Norma Sismo Resistente NSR-10 establece un máximo de carbonatación/año de 1 mm.

En la Tabla 2 se muestra la correlación aplicada para el flujo vehicular y las concentraciones de Dióxido de Carbono, realizada con los valores

150

totales de flujo vehicular y valores promedio de CO<sub>2</sub>.

**Tabla 2.** Coeficiente de correlación para Flujo Vehicular y Dióxido de Carbono

CORRELACIÓN	FLUJO VEHICULAR	CO <sub>2</sub> (ppm)
FLUJO VEHICULAR	1	
CO <sub>2</sub> (ppm)	0,63887912	1

Como se observa, el coeficiente de correlación indica que existe una relación directa y alta, con un coeficiente de 0,638 entre el flujo vehicular transitado por el municipio de Pamplona y las concentraciones de Dióxido de Carbono registradas. La relación se ve marcada por las emisiones directas de este gas a la atmosfera por parte de los tipos de vehículos que circulan diariamente en el municipio, entre los que se destacan los buses intermunicipales y vehículos de carga pesada como camiones y mulas, sin dejar de lado el aumento considerable de los vehículos familiares y utilitarios y su aporte a las emisiones de CO<sub>2</sub>. La alta relación entre estas dos variables también indica la influencia del flujo vehicular en el comportamiento del Dióxido de Carbono en la atmosfera y en los lugares donde tiende a depositarse.

## Conclusiones

El mayor flujo vehicular que ingresa al municipio de Pamplona se presenta sobre la vía que conduce al municipio de Cúcuta, en inmediaciones del Punto 1 de medición; sin embargo, los mayores efectos de carbonatación se presentan en el Punto 4, en el cual es menor el flujo vehicular, en comparación con el Punto 1.

Las emisiones de Dióxido de Carbono provenientes del flujo de aproximadamente 37173 vehículos deterioran de forma lesiva las edificaciones construidas con concreto tradicional y con acero de refuerzo.

Se estableció una relación directamente proporcional entre las concentraciones de CO<sub>2</sub> y la altitud de los puntos de monitoreo; esto indica que el comportamiento de este contaminante se concentra en las zonas periféricas del municipio de Pamplona, debido a su orografía. Adicionalmente, las mayores concentraciones de CO<sub>2</sub> presentan una mayor afectación en las edificaciones de concreto reforzado y aumentan la patología estructural de carbonatación.

En el análisis de las edificaciones expuestas a la carbonatación por Dióxido de Carbono se obtuvo que para todos los casos analizados se presentan frentes de carbonatación, aunque aún no se presenta el proceso de despasivación del acero en los años analizados. Sin embargo, de continuar



umentando las concentraciones de CO<sub>2</sub> en el municipio puede ocurrir a mediano plazo esta patología y generar riesgos estructurales.

La Norma Sismo Resistente NSR-10 establece un máximo de 1 mm en el frente de carbonatación de las estructuras de concreto reforzado; teniendo en cuenta esto, en todos los puntos de monitoreo, en especial el Punto 4 se observa un frente de carbonatación avanzado; debido a esto, se estima que las estructuras ubicadas a lo largo de la vía nacional en el municipio de Pamplona presentan mayor riesgo de daño estructural y posterior despasivación en los aceros de refuerzo, conllevando a una disminución en su vida útil y precisando un mantenimiento preventivo.

Se presentó una relación directa entre el flujo vehicular que transita por las principales vías del municipio y las concentraciones de Dióxido de Carbono registradas, relación que se justifica en las emisiones constantes de este gas por parte de la quema de combustibles fósiles llevada a cabo en vehículos de distinto tipo, sobre todo en los de carga pesada y buses intermunicipales de modelos antiguos.

#### **Agradecimientos**

Los autores expresan agradecimientos a la Universidad de Pamplona, por el suministro

del equipo de medición para la realización del monitoreo de CO<sub>2</sub>.

#### **Referencias Bibliográficas**

Amado G., E; Villamizar, A; Gafaro, A.2013.Evaluación del procesos de producción de biodiesel a partir de grasas amarillas con altos contenidos de acidos grasos libres.Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas,3(1): 54-60

Broto, C. (2010). *Enciclopedia Broto de Patologías de la construcción*. Recuperado de [https://higieneysseguridadlaboralcvsviles.wordpress.com/2012/07/enciclopedia\\_broto\\_de\\_patologias\\_de\\_la\\_construccion.pdf](https://higieneysseguridadlaboralcvsviles.wordpress.com/2012/07/enciclopedia_broto_de_patologias_de_la_construccion.pdf)

Callejas, D y Mariotta, E. (2013). *Estudio de Movilidad en zonas de alto impacto vehicular en Pamplona*. (Tesis de pregrado). Programa de Ingeniería Civil. Universidad de Pamplona. Pamplona, Colombia.

Calvo A, R. A y Sierra L, M. A. (2015). *Proceso de carbonatación de los concretos hidráulicos para pavimento rígido* (Tesis de especialización). Universidad de Cartagena, Cartagena de Indias, Colombia.

Correa, E., Montoya, R., Peñaranda, S., Echeverría, F y Castaño, J. G. (2008). Deterioro atmosférico del concreto en ambientes urbanos colombianos de diferente agresividad. *Revista Científica Investigación y Desarrollo*, (23). Recuperado de <http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/1560/4459>



Galán G, I. (2011). *Carbonatación del hormigón: combinación de CO<sub>2</sub> con las fases hidratadas del cemento y frente de cambio de pH* (Tesis doctoral). Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España.

IDEAM; PNUD; MADS; DNP y CANCELLERÍA. (2016). Inventario Nacional y Departamental de Gases Efecto Invernadero-Colombia. Tercera Comunicación Nacional Cambio Climático. IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, FMAM. Bogotá D.C, Colombia.

Ministerio de Ambiente, Vivienda Desarrollo Territorial (MAVDT) (2010). Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. Bogotá D.C, Colombia.

Montani, R. (2000). La carbonatación, enemigo olvidado del concreto. Revista Construcción y Tecnología. México D.F.

Saldaña R, R. (2016). *Emisión de gases por el parque automotor y su repercusión en la contaminación del aire en la ciudad de Iquitos en el año 2015* (Tesis de maestría). Programa de maestría en ingeniería química ambiental, escuela de postgrado, Universidad Nacional de Trujillo. Iquitos, Perú.

Valle, A., Pérez, T y Martínez, M. (2001). El fenómeno de la corrosión en estructuras de concreto reforzado. *Instituto Mexicano del Transporte* (182). ISSN 0188-7297. Recuperado de

**E. E. La Rotta Villamizar**, Ingeniero civil de la Universidad Francisco de Paula Santander-UFPS; especialista en Patología Estructural de la Universidad Santo Tomas, estudios de Maestría en Ingeniería Ambiental de la Universidad de Pamplona. <https://orcid.org/0000-0002-0855-9285>

**J. D. Ramón Valencia**, Ingeniero Ambiental de la Universidad de Pamplona; PhD en contaminación atmosférica de la Universidad del País vasco. Profesor asociado de la Universidad de Pamplona, Facultad de Ingenierías y Arquitectura; Integrante activo del Grupo de Investigaciones Ambientales Agua, Aire y Suelo (GIAAS).

\*Para citar este artículo: La Rotta Villamizar E.E.; Ramón Valencia J.D. Analysis of structural damage in buildings due to carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) contamination associated with vehicular flow in the national road in the urban area of Pamplona, Norte de Santander. Revista Bistua. 2018 (16(2)):145-152

+ Autor para el envío de correspondencia y la solicitud de las separatas: La Rotta Villamizar E.E. Universidad de Pamplona. Facultad de Ingenierías y Arquitectura. Ingeniería Ambiental. correo electrónico. [ingelcons@gmail.com](mailto:ingelcons@gmail.com)

Recibido: Diciembre 01 de 2017

Aceptado: Marzo 06 de 2018