

- Los pesos y dimensiones vehiculares que están circulando por la maltrecha infraestructura vial de carreteras colombianas y los que el Ministerio de Transporte pretende autorizar.
- Detección y evaluación de la presencia de *Enterococcus* en la laguna de Fúquene.
- Estudio experimental y teórico del efecto de la desecación en la capacidad portante de cimentaciones superficiales.
- Julio Garavito y sus estudios sobre la Luna, en el marco del Año Internacional de la Astronomía (AIA 2009).
- Guía metodológica para elaborar estudios básicos orientados a incorporar la gestión del riesgo en la planificación territorial en los suelos urbanos, de expansión urbana y rural, para los fenómenos de inundación, avenidas torrenciales y remoción en masa.
- Obtención de carbón activado a partir de tusa de maíz y evaluación de su eficiencia en el tratamiento de aguas residuales de la industria lechera.
- Remoción de DQO en un efluente de la industria de alimentos mediante un proceso Foto Fenton.
- Evaluación de los índices de sobreesfuerzo y cálculo de deformaciones de dos puentes vehiculares, de acuerdo con la norma American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO 2012).
- Implementación y evaluación de dos filtros de cascarilla de arroz y luffa para el tratamiento de agua de escorrentía de techo del edificio I de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- Fallas y defectos en estructuras colombianas.



CONSEJO DIRECTIVO DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

PRESIDENTE RICARDO RINCÓN HERNÁNDEZ

VOCALES GERMÁN EDUARDO ACERO RIVEROS
SANDRA XIMENA CAMPAGNOLI MARTÍNEZ
ÁLVARO ANTONIO GONZÁLEZ FLETCHER
ARMANDO PALOMINO INFANTE
RICARDO QUINTANA SIGHINOLFI
JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS
RICARDO SALAZAR FERRO
HENRY MORENO MOSQUERA
(representante de los profesores)
EYDI MARYOLI RIVERA ACERO
(representante de los estudiantes)

RECTOR HÉCTOR ALFONSO RODRÍGUEZ DÍAZ

SECRETARIO RICARDO ALFREDO LÓPEZ CUALLA

REVISTA DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

DIRECTOR JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS

COMITÉ EDITORIAL GERMÁN ACERO RIVEROS
CLAUDIA JEANNETH RÍOS REYES
PAULA XIMENA RÍOS REYES
GERMÁN RICARDO SANTOS GRANADOS
EDUARDO SARMIENTO PALACIO

DIRECCIÓN EDITORIAL CRISTINA SALAZAR PERDOMO

EDICIÓN **DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN**
JORGE CAÑAS SEPÚLVEDA
CORRECCIÓN DE ESTILO
ELKIN RIVERA GÓMEZ
TRADUCCIÓN Y CORRECCIÓN DE ESTILO EN INGLÉS
DAVID PEÑA CITA

DIRECCIÓN COMERCIAL EDITORIAL ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

Versión digital disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

AUTOPISTA NORTE AK 45 N.º 205-59
TEL.: (57-1) 668 3600, EXT. 533
revista@escuelaing.edu.co
BOGOTÁ, D.C., COLOMBIA

LA ESCUELA Y LA REVISTA NO SON RESPONSABLES DE LAS IDEAS Y CONCEPTOS EMITIDOS POR LOS AUTORES DE LOS TRABAJOS PUBLICADOS. SE AUTORIZA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE LOS ARTÍCULOS DE LA REVISTA SI SE CITAN LA FUENTE Y EL AUTOR.

5 / EDITORIAL

Educación y corrupción

Jairo Alberto Romero Rojas

7-24

Los pesos y dimensiones vehiculares que están circulando por la maltrecha infraestructura vial de carreteras colombianas y los que el Ministerio de Transporte pretende autorizar

Fernando Sánchez Sabogal

Considerando la necesidad de permitir el transporte de cargas indivisibles que, por sus características excepcionales, son extrapesadas, extradimensionadas o ambas cosas simultáneamente, el Ministerio de Transporte ha fijado los requisitos y procedimientos para conceder los permisos pertinentes, cuya expedición ha delegado en el Instituto Nacional de Vías (Invías), entidad esta última que también está autorizada por ley para dar autorizaciones al transporte agrícola en combinaciones vehiculares extradimensionales por las carreteras nacionales (artículo 68, Ley 962 de 2005).

25-31

Detección y evaluación de la presencia de *Enterococcus* en la laguna de Fúquene

Bryam Orlando Sánchez Escobar - Gladys Rocío González Leal

En este artículo se muestran los resultados de la detección y evaluación de la existencia de *Enterococcus* en la laguna de Fúquene por medio de la técnica de sustrato definido, al tiempo que se contempla, lo que implica, en materia ambiental, la presencia de dichos microorganismos patógenos y su impacto en la salud de las poblaciones involucradas en el consumo del agua de dicha laguna.

33-39

Estudio experimental y teórico del efecto de la desecación en la capacidad portante de cimentaciones superficiales

Catalina Lozada López

En este artículo se estudia el efecto de las variables climáticas en el proceso de desecación y en el consecuente aumento de la capacidad portante teórica de una cimentación superficial.

41-46

CONMEMORACIÓN CENTENARIA JULIO GARAVITO 1920-2020

Julio Garavito y sus estudios sobre la Luna, en el marco del Año Internacional de la Astronomía (AIA 2009)

Gabriel H. Pulido Casas

En este artículo se refleja, parcialmente, el contenido de temas tratados por el autor en presentaciones de abril de 2009 y en el marco de ECIciencia (Expresión del ingenio. Encuentro científico y cultural interuniversitario), evento insignia de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, presentaciones que coincidieron con la activa participación de la Escuela en la celebración del Año Internacional de la Astronomía (AIA 2009).

47-54

Guía metodológica para elaborar estudios básicos orientados a incorporar la gestión del riesgo en la planificación territorial en los suelos urbanos, de expansión urbana y rural, para los fenómenos de inundación, avenidas torrenciales y remoción en masa

Germán Camilo Bello Zapata - Héctor Matamoros Rodríguez

La presente Guía para la elaboración de estudios básicos para la incorporación de la gestión del riesgo en el ordenamiento territorial proporciona un conjunto de lineamientos y herramientas para el desarrollo de los contenidos básicos necesarios para articular los procesos de la gestión del riesgo en la revisión o formulación de los POT.

55-60

Obtención de carbón activado a partir de tusa de maíz y evaluación de su eficiencia en el tratamiento de aguas residuales de la industria lechera

Jenny Paola Chaves - María Paulina Villegas De Brigard

En el presente trabajo se evalúa el uso de carbón activado –obtenido a partir de tusa de maíz– en el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea, a escala de laboratorio. Para tal fin, se emplearon tres tipos de carbón: un carbón artesanal de tusa de maíz, elaborado en laboratorio, y dos comerciales –uno de origen mineral y otro de origen vegetal–.

61-66

Remoción de DQO en un efluente de la industria de alimentos mediante un proceso Foto Fenton

Katherine Andrea Arroyo Vanegas - Jairo Alberto Romero Rojas

Desarrollar alternativas de tratamiento que proporcionen efluentes de calidad para reúso, al tiempo que ayuden a remover sustancias tóxicas o recalcitrantes, se ha convertido en uno de los principales objetivos de los procesos de oxidación avanzada (POA).

67-79

Evaluación de los índices de sobreesfuerzo y cálculo de deformaciones de dos puentes vehiculares, de acuerdo con la norma American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO 2012)

Luis Alexander Mora Cuéllar - Jaime Garzón

Este trabajo se desarrolló en cuatro etapas. En la primera, se realizó un estudio de la norma AASHTO 2012, al igual que de la información suministrada por la Universidad de Purdue, la cual consistió en 23 planos en formato PDF, copia de los originales de diseño y de intervenciones hechas a los puentes. En la segunda etapa se transcribió la información relevante de los planos de diseño a AutoCAD.

81-85

Implementación y evaluación de dos filtros de cascarilla de arroz y luffa para el tratamiento de agua de escorrentía de techo del edificio I de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

Andrés Eduardo Prieto Núñez - María Paulina Villegas De Brigard

Con este trabajo de grado se pretende evaluar un sistema de tratamiento para agua lluvia de escorrentía de cubiertas, empleando materiales orgánicos lignocelulósicos como lecho en filtros de flujo descendente. Los materiales evaluados son la luffa cilíndrica (estropajo) y la cascarilla de arroz. El funcionamiento de los filtros se evaluará por medio de parámetros hidráulicos, así como de análisis físicos, químicos y biológicos que permitan establecer la eficiencia del proceso.

87-95

Fallas y defectos en estructuras colombianas

Ricardo Andrés Saavedra Guzmán - Pedro Nel Quiróga Saavedra

Aunque hay numerosos textos y publicaciones de patología estructural, la mayoría de éstos provienen de países que tienen condiciones, sistemas y métodos constructivos diferentes; por lo tanto, no necesariamente los ejemplos expuestos en esta bibliografía se asemejan a los casos diarios que suceden en Colombia.

97 / ALCANCE Y POLÍTICAS

Editorial

Educación y corrupción

JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS

Profesor titular de la Escuela Colombiana de Ingeniería

jairo.romero@escuelaing.edu.co

Según un informe de *El Tiempo* del 19 de agosto de 2019, la corrupción le hace perder a Colombia nueve billones de pesos al año. Como causas principales de ella, se señala al clientelismo, a la politización de las contralorías y a la descentralización fiscal.

Enumerar actos corruptos se vuelve interminable: mafias que financian campañas políticas de candidatos a la presidencia, a las gobernaciones, a las alcaldías, al Congreso, a las asambleas, a los concejos municipales; organizaciones delictivas que revenden boletas de fútbol, pasajes del SITP y de Transmilenio; EPS que desvían los recursos de la salud; empresarios que pagan sobornos para conseguir contratos de obras públicas y privadas; inescrupulosos que se apropian de bienes públicos; extorsión, pagos por secuestros, explotación sexual, coimas para compra de votos y sentencias, compra de permisos y de licencias de autorización para obras y ejercicio de actividades de toda índole, entre muchos más.

Hay quienes aseguran que la mejor estrategia contra la corrupción es la educación; otros, por el contrario, afirman que se deben despilfarrar recursos —más corrupción— en una consulta anticorrupción que, para que sea válida, requiere un mínimo de votos. Al tenor de lo anterior, vale la pena preguntarse: ¿cuál educación?, ¿cuál consulta anticorrupción?

La violación de niños por sacerdotes en diferentes partes del mundo es el peor ejemplo de corrupción,

pues no existe un sacerdote sin educación. ¿Qué falló o qué está fallando?

En mi infancia conocí a hombres ejemplares por su honradez y su fidelidad al empeño de la palabra. Aunque su educación no superaba la escuela primaria, cada uno de ellos mantenía el orgullo de ser “pobre pero honrado”, como decía mi padre, demostrando que la honradez no se aprende ni se imparte en aulas escolares o universitarias, sino que se enseña con el ejemplo.

No se requiere un referendo que apruebe acabar con la corrupción, pues se supone que nadie la aprueba. Se puede combatir este flagelo con leyes, investigaciones y hasta con campañas de sensibilización pública, ya que las mafias de la corrupción organizada solo se eliminan con su descubrimiento y su castigo ejemplar. El perdón a criminales y corruptos lleva a la práctica del delito porque se institucionaliza la impunidad. En la actualidad, todo se vuelve mediático, y después del espectáculo la justicia brilla por su ausencia. Se hace necesario imponer sanciones ejemplares, tanto sociales como judiciales, que intimiden verdaderamente a los corruptos.

La ley no es negociable, debe ser justa y cumplida. No es necesario emitir sentencias de cientos de páginas para justificarla, lo que se requiere es su equidad y su cumplimiento.

Los pesos y dimensiones vehiculares que están circulando por la maltrecha infraestructura vial de carreteras colombianas y los que el Ministerio de Transporte pretende autorizar

Current restrictions on vehicle weight and dimensions on the poor Colombian road infrastructure vs the ones intended to be passed by the Ministry of Transportation

FERNANDO SÁNCHEZ SABOGAL

Ingeniero civil de la Universidad Nacional de Colombia.

vientoscruzados@yahoo.com

Recibido: 05/05/2019 Aceptado: 03/06/2019

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

Los límites de dimensiones y pesos de los vehículos de carga para operación normal en la red vial colombiana están reglamentados por la Resolución 4100 de 2004 del Ministerio de Transporte (Mintransporte). Con base en esta reglamentación se ha venido diseñando y construyendo la red vial nacional, así como implementando su señalización. Los ingenieros de pavimentos acostumbran adoptar los límites legales de carga por eje a los efectos del diseño estructural, complementándolos con datos sobre cargas reales cuando esta información se encuentra al alcance de la mano.

Considerando la necesidad de permitir el transporte de cargas indivisibles que, por sus características excepcionales, son extrapesadas, extradimensionadas o ambas cosas simultáneamente, el Ministerio de Transporte ha fijado los requisitos y procedimientos para conceder los permisos pertinentes, cuya expedición ha delegado en el Instituto Nacional de Vías (Invías), entidad esta última que también está autorizada por ley para dar autorizaciones al transporte agrícola en combinaciones vehiculares extradimensionales por las carreteras nacionales (artículo 68, Ley 962 de 2005).

Contrariamente a lo que se pudiera creer, la circulación de estos vehículos extradimensionados y extrapesados no es infrecuente. Amparadas por las autorizaciones del Invías, diariamente transitan por las carreteras nacionales numerosas combinaciones vehiculares con dimensiones y pesos brutos colosales transportando, incluso, cargas como los productos de minería y otros que no cumplen el requisito de la indivisibilidad impuesto por las resoluciones del Ministerio de Transporte.

A esto se añade el interés del Mintransporte por legalizar la operación libre de los llamados vehículos combinados de carga (VCC), con longitudes hasta de 30 metros, pesos brutos que superan las 95 toneladas y relaciones potencia/peso muy bajas, cuya presencia no ha sido considerada hasta la fecha en los diseños geométrico, estructural y de señalización de las carreteras colombianas, hecho que genera riesgos de envergadura a los usuarios y a la misma infraestructura vial.

Palabras claves: Ministerio de Transporte, Instituto Nacional de Vías, cargas legales, cargas reales, factores de daño, cargas indivisibles, vehículos combinados de carga.

Abstract

Limits for dimensions and weight of cargo vehicles for a regular operation on the Colombian road infrastructure are set by Resolution 4100 of 2004 by the Ministry of Transportation (Mintransporte). Based on this regulation, the national road network has been designed and built, as well as its implementation and signaling. Pavement engineers usually consider the legal load limit per axis for structural damage effects, complementing them with data about actual loads when the information is accessible.

As there is a need to allow indivisible loads which, due to their exceptional characteristics, are overweight, oversized, or both, the Ministry of Transportation has set the requirements and procedures to obtain the necessary permits, whose issuance was assigned to the National Road Institute (Invías). The latter entity is legally allowed to authorize agricultural transportation in combined extra-dimensioned vehicles on national roads (article 68, law 962 of 2005).

Unlike popular belief, these oversized and overweight vehicles are not an uncommon sight. Enabled by Invías, different vehicles, with colossal dimensions and gross weights, travel along national roads on a daily basis; they even transport mining products and others that do not meet the indivisibility criteria set by the Ministry of Transportation. Additionally, Mintransporte is set on legalizing free transit for so-called combined cargo vehicles (VCC), reaching up to 30 m in length, gross weights over 95 tons and extremely low potency/weight, whose presence has not been considered in the geometrical, structural, and signaling designs of Colombian roads; this poses high risks for both users and road infrastructure.

Keywords: Ministry of Transportation, National Road Institute, legal loads, actual loads, damage factors, indivisible loads, combined cargo vehicles.

INTRODUCCIÓN

El transporte de carga por carretera incide directamente en el desarrollo global, al emplear a millones de personas y generar una proporción considerable del PIB de todos los países del mundo. En Colombia, ha sido desde hace muchos años el principal modo de transporte interno de carga, y representa actualmente más del 70 % del total¹. El transporte por vía terrestre constituye aproximadamente el 3,0 % del PIB colombiano², del cual el modo carretero aporta cerca del 75 %. Debido al elevado número de actores que participan en este subsector, la operación tiene un alto impacto

y requiere regulación. Esta función está hoy en manos del Ministerio de Transporte.

De acuerdo con el Índice de Competitividad Mundial, el desempeño de Colombia es bastante deficiente, pues ocupa el puesto 61 entre 138 países evaluados³. Esto se debe a varios factores, uno de los cuales es la carencia de una infraestructura adecuada, ya que, en relación con este indicador, Colombia ocupó en 2016 el puesto 84, mientras en el caso específico de la infraestructura de carreteras su puesto fue aún más desolador, el 120, es decir, que lo superó el 87 % de los 138 países encuestados. Las evaluaciones periódicas que realiza el Instituto Nacional de Vías al estado de la red vial a su cargo confirman las deficiencias, como se puede apreciar tras la inspección realizada por la entidad en el segundo semestre de 2018 sobre 5000 km pavimentados y 1000 no pavimentados de la red principal⁴ (figura 1).

Resulta entonces paradójico que, a pesar de que más de las dos terceras partes del transporte de carga interna se hacen por carretera, el estado de la red se pueda considerar tan deficiente a escala global. Las causas para que esto ocurra y para que el deterioro se produzca de manera prematura las describió el autor en otro documento⁵. Éstas se generan desde la etapa de planeamiento hasta la de mantenimiento, y el fenómeno se recrudece debido a la acción de agentes externos, en el que el de las sobrecargas vehiculares es uno de los principales.

Por otra parte, tanto sus antecesores como el hoy Ministerio de Transporte han reglamentado de manera al parecer poco técnica los límites de peso por eje y totales de los vehículos de transporte terrestre de carga por carretera para su operación normal en las carreteras nacionales, a lo que ha de sumarse el reciente interés de ese ministerio por facilitar la circulación de combinacio-

1. Informe Nacional de Competitividad 2016-2017 (octubre de 2016), Consejo Privado de Competitividad.
2. http://www.banrep.gov.co/es/contenidos/page/pib-precios-constantes-ramas_2.

3. World Economic Forum (2016). The Global Competitiveness Report 2016–2017. Ginebra: WEF.
4. <https://www.invias.gov.co/index.php/servicios-al-ciudadano/faqs/2-uncategorised/57-estado-de-la-red-vial>.
5. Fernando Sánchez Sabogal (abril-junio de 2014). Factores que han contribuido al deterioro prematuro de los pavimentos asfálticos en las carreteras nacionales. *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería*, 94, Bogotá.

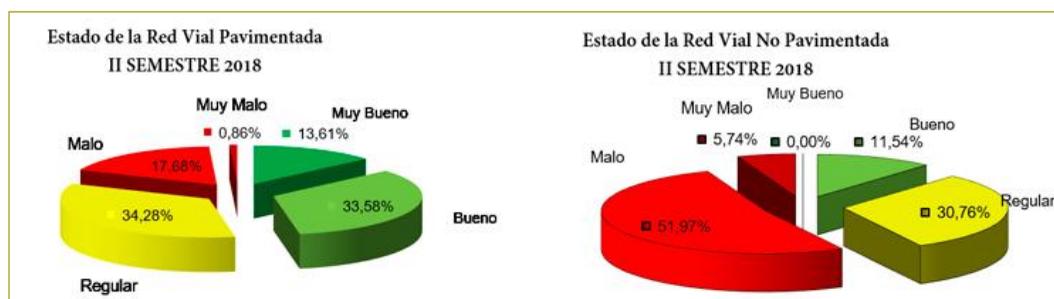


Figura 1. Estado de la red primaria a cargo del Invías en 2018.

nes vehiculares con pesos y dimensiones que resultan exorbitantes para las características físicas de la red vial.

Por último, no se puede pasar por alto la manera laxa como el Instituto Nacional de Vías ha dado aplicación a las leyes y resoluciones que lo facultan para expedir permisos para la circulación de unidades vehiculares, con pesos y dimensiones no convencionales, por las carreteras nacionales.

EVOLUCIÓN DE LOS PESOS LEGALES DE LOS VEHÍCULOS DE CARGA EN COLOMBIA

Las regulaciones limitantes de los pesos máximos permisibles por eje y vehiculares en Colombia han sufrido bastantes cambios durante los últimos 50 años, en parte para adaptarlas a las mejores características técnicas y posibilidades operativas de los vehículos de carga, y en parte también para satisfacer solicitudes del gremio transportador, generalmente aplicando el erróneo concepto de que el progreso sólo puede ser posible si se permite la circulación de vehículos con cargas de magnitudes que resultan inimaginables en países con un aceptable nivel de desarrollo.

En 1971, el Ministerio de Obras Públicas adoptó 8200 kg como peso máximo legal para cualquier eje simple y 14.500 kg para el eje tándem de rueda doble, y limitó el peso bruto máximo vehicular en función del número de ejes y de la distancia entre ellos, con un criterio similar al empleado en Estados Unidos de América. En aquel entonces, esas cargas legales por eje y totales se encontraban en consonancia con la reglamentación internacional sobre la materia.

Una resolución expedida en 1983 por el que ya se llamaba Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT) (Resolución 5735), soportada por los resul-

tados preliminares de un modelo simulador del comportamiento del parque automotor con respecto a la infraestructura vial, e invocando la aparente necesidad de “revaluar las normas existentes con el fin de corregir algunas deficiencias en las características del parque automotor actual y propender a su mejoramiento”, incrementó los límites de peso legal por eje hasta 10.000 kg para el simple de rueda doble y hasta 20.000 kilogramos para el tándem de rueda doble. En esa resolución se discriminó, por primera vez, el eje simple con rueda simple, el cual se limitó a 6000 kg. Así mismo, la resolución reglamentó el eje triple (trídem) de rueda doble, asignándole un peso máximo admisible de 24.000 kg.

Un informe elaborado en ese mismo año 1983 por el autor del presente artículo señaló que, a pesar de la actualización, los nuevos pesos por eje y brutos vehiculares legales ya los estaba excediendo el tránsito de ese momento “en aproximadamente un 30 % de los vehículos C2, un 50 % de los C3 y un 18 % de los C3-S2”⁶. Debido a ese hecho, que indicaba a las claras que la Resolución 5735 de 1983, expedida por el MOPT, no corrigió las supuestas “deficiencias en las características del parque automotor” y, posiblemente, más con el fin de mantener exultantes a los transportadores que de exigir el cumplimiento de la nueva reglamentación, que en ese momento ya era la más complaciente del continente americano, la administración del señor Rodolfo Segovia les dio, solo un par de años más tarde, una

6. Fernando Sánchez Sabogal. *Las cargas que circulan por las carreteras colombianas y su efecto en el diseño y comportamiento de los pavimentos flexibles*. Memorias del Segundo Congreso Latinoamericano del Asfalto. Mar del Plata, República Argentina, 1983.

ilimitada muestra de generosidad, añadiendo, mediante la Resolución 7830 de 1985, un 10 % a los límites recién aumentados, con lo que se llegó a 11.000 kg para el eje simple de rueda doble y a 22.000 kg por sistema tándem de rueda doble⁷. Estos incrementos, carentes de sustento técnico, fueron tan descabellados que hoy día, 34 años más tarde, el límite legal colombiano del eje tándem con sistema de rueda doble aún es prácticamente el más alto del mundo.

La resolución vigente en 2019, expedida por el ministerio en 2004 (Resolución 4100), mantuvo los pesos máximos por eje fijados en 1985, pero agregó una disposición según la cual los ejes simples con sistema de rueda sencilla de banda ancha pueden circular por las carreteras nacionales con el mismo peso bruto máximo que los simples de rueda doble⁸, acogiendo una incoherente recomendación incluida en una norma técnica colombiana elaborada por el Icontec en el año 2000⁹.

Como consecuencia de estos aumentos en los pesos admisibles por eje, los pesos brutos máximos vehiculares admisibles (PBMVA) también se han venido incrementando de manera sustancial. Por ejemplo, desde 1971 hasta la fecha, el PBMVA del C3 pasó de 22.700 kg a 28.000 kg y el del C3S2 de 39.600 kg a 52.000 kg. A estos pesos brutos máximos (e indirectamente a los de los ejes) se les autorizó en 2002, de manera indulgente y caprichosa, un incremento del orden del 2,5 % bajo el eufemístico nombre de “tolerancia positiva”, con el argumento de “que en el proceso de verificación de pesos y control de sobrepesos se presentan diferencias de medición en las básculas, las cuales dependen fundamentalmente de sus parámetros de construcción y calibración, haciendo necesario establecer una tolerancia como criterio de evaluación del peso bruto vehicular máximo autorizado”. En 2005, el Ministerio de Transporte intentó maquillar un poco esta coartada, dejándola de la siguiente manera: “a fin de tener en cuenta las diferencias ocasionadas por el peso del conductor, el peso del combustible, el exceso de peso producido por efecto de la humedad absorbida por las mercancías,

la calibración y operación de las básculas de control y cualquier otro aditamento que pueda variar la medición del peso vehicular”¹⁰. ¡Como si el peso bruto vehicular no debiera considerar ya esos factores, como ocurre en el diseño de las pistas de los aeropuertos!

REGLAMENTACIÓN FORÁNEA

Europa

En la referencia 11 se presenta un listado con los máximos pesos admisibles por eje y bruto vehicular para camiones en los países europeos, de acuerdo con información recolectada por el International Transport Forum¹¹. Los valores incluidos en dicha referencia permiten inferir, sin lugar a duda, que ninguno de los 44 países incluidos en la lista admite pesos por eje tándem como los autorizados en Colombia por el Ministerio de Transporte.

Estados Unidos

Estados Unidos de América dispone de un conjunto de normas que especifican los pesos máximos admisibles para los camiones convencionales que pretendan circular por el sistema interestatal de carreteras. Los límites fijados son:

- Peso bruto máximo vehicular: 80.000 libras (36.320 kilogramos).
- Peso máximo del eje simple con sistema de rueda doble: 20.000 libras (9080 kg).
- Peso máximo del eje tándem con sistema de rueda doble: 34.000 libras (15.440 kg).

Aparte de estos límites, hay reglamentaciones sobre puentes que restringen el peso y el espaciamiento entre los grupos de ejes. Mientras más largo sea el sistema vehicular y más ejes tenga, mayor es el peso con el que se les autoriza transitar, aunque sin superar el máximo citado (80.000 libras). La fórmula federal de puentes define esta situación.

7. Ministerio de Obras Públicas y Transporte, Resolución 007830 del 16 de septiembre de 1985.

8. Ministerio de Transporte, Resolución 4100 de 2004.

9. Instituto Colombiano de Normas Técnicas (Icontec) (2000). Norma técnica colombiana NTC 4788. Tipología para vehículos de transporte de carga terrestre, 30 de agosto.

10. Ministerio de Transporte, Resolución 2888 de 2005.

11. International Transport Forum (2015). OECD, Permissible maximum weights of lorries In Europe, August 3.

En las carreteras que no sean de administración federal, a cada estado norteamericano se lo autoriza a fijar su reglamento sobre pesos y dimensiones para los vehículos de carga de operación regular. Aunque muchos han acogido la norma federal, hay excepciones para situaciones concretas¹². Los valores máximos que se encuentran son de 20.000 libras (9080 kg) para los ejes simples direccionales, de 22.500 libras (10.215 kg) para los simples de rueda doble, de 41.000 libras (18.800 kg) para los tándem de rueda doble y de 60.000 libras (27.240 kg) para los triples de rueda doble. Respecto de los pesos brutos máximos, se encuentran casi en su totalidad por debajo de 95.000 libras (43.130 kg), con excepción de un par de estados en los que se permiten, para combinaciones vehiculares C3S3, hasta 120.000 libras (54.500 kg).

Canadá

En Canadá no hay una reglamentación de aplicación nacional sobre pesos y dimensiones, sino que cada provincia aplica la propia; sin embargo, sí existe una norma para el caso de la circulación interprovincial¹³. Aunque muchas personas creen que los límites de peso vehicular en Canadá son enormes, la realidad es bien distinta (tabla 1).

Mercosur

Por medio de la resolución Mercosur/GMC/RES. N.º 65/08, este mercado común suscribió el acuerdo sobre pesos y dimensiones de vehículos de transporte por carretera de pasajeros y carga que, en lo relacionado con los pesos por eje, fijó los siguientes límites máximos: eje simple direccional: 6000 kg; eje simple de rueda doble: 10.500 kg; eje tándem de rueda doble: 18.000 kg; y eje triple de rueda doble: 25.500 kg.

12. Federal Highway Administration (mayo de 2015). Compilation of existing state truck size and weights limits laws. Report to Congress. Washington, D.C.
13. Task Force on Vehicle Weights and Dimensions Policy (diciembre de 2014). Heavy Truck Weight and Dimension Limits for Interprovincial Operations in Canada.

México

La norma oficial mexicana NOM-012-SCT-2-2017, sobre los pesos y las dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan por las vías generales de comunicación de jurisdicción federal, fija los límites para las carreteras de la mayor importancia (ET y A) para los ejes y vehículos considerados en el presente artículo (tabla 1). En las demás carreteras primarias (tipo B), y en las secundarias (tipo C) y terciarias (tipo D), los límites máximos admitidos son menores. Los correspondientes a las carreteras tipo B se presentan más adelante (tabla 1¹⁴). La clasificación geométrica y las características que deben presentar las carreteras ET, A, B, C y D, están definidas en el *Manual de proyecto geométrico de carreteras*¹⁵.

Ecuador

El país vecino establece los límites de peso por eje y totales indicados también en la tabla siguiente (tabla 1¹⁶).

Comunidad de África Oriental (EAC)

La EAC, compuesta por Tanzania, Kenia, Uganda, Burundi y Rwanda, suscribió en 2103 un acta para el control de cargas vehiculares, en la que se fijan los límites de peso por eje y vehiculares (tabla 1). Además, en contraste con el Ministerio de Transporte de Colombia no permite que los ejes simples con sistema de rueda simple de banda ancha circulen con el mismo peso bruto máximo que los ejes simples de rueda doble¹⁷.

Algunos países de muy bajo nivel de desarrollo

Resulta necesario remitirse a países con un índice de desarrollo humano (IDH) muy precario para encon-

14. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5508944&fecha=26/12/2017.
15. Secretaría de Comunicaciones y Transportes (julio de 2018). *Manual de proyecto geométrico de carreteras 2018* (2.ª ed). México: Dirección General de Servicios Técnicos.
16. https://www.aduana.gob.ec/archivos/Boletines/tabla_nacional_de_pesos_y_dimensiones.pdf.
17. East African Community Vehicle Load Control Act (julio de 2013).

Tabla 1
Límites de peso por eje y bruto vehicular en algunas regiones del mundo

Tipo de vehículo	Eje simple direccional (kg)	Eje simple de rueda doble no direccional (kg)	Eje tándem de rueda doble (kg)	Eje triple de rueda doble (kg)	Máximo PBV (kg)
CANADÁ					
C2	7250	9100	-	-	16.350
C3	7250	-	17.000	-	24.250
C3S2	5500	-	17.000	-	39.550
C3S3	5500	-	17.000	21.000/24.000*	43.500/46.500*
* El máximo PBV depende de las separaciones entre las líneas de rotación					
MÉXICO (CARRETERAS ET4, ET2, A4 Y A2)					
C2	6500	12.500	-	-	19.000
C3	6500	-	21.000	-	27.500
C3S2	6500	-	21.000/19.000	-	46.500
C3S3	6500	-	21.000	26.500	54.000
MÉXICO (CARRETERAS B4 Y B2)					
C2	6000	10.500	-	-	16.500
C3	6000	-	17.000	-	23.000
C3S2	6000	-	17.000/15.000	-	38.000
C3S3	6000	-	17.000	22.500	45.500
ECUADOR					
C2	7000	11.000	-	-	18.000
C3	7000	-	20.000	-	27.000
C3S2	7000	-	20.000	-	47.000
C3S3	7000	-	20.000	24.000	51.000
PAKISTÁN					
C2	5500	12.000	-	-	17.500
C3	5500	-	22.000	-	27.500
C3S2	5500	-	22.000	-	49.500
C3S3	5500	-	22.000	31.000	58.500
COMUNIDAD DE ÁFRICA ORIENTAL					
C2	6000	10.000	-	-	16.000
C3	6000	-	18.000	-	24.000
C3S2	6000	-	18.000	-	42.000
C3S3	6000	-	18.000	24.000	48.000

trar situaciones que resulten parecidas o, incluso, más alarmantes que las autorizadas en Colombia. Pakistán, por ejemplo, tiene unos límites parecidos a los de México (tabla 1¹⁸). En Ghana, la situación sí es verdaderamente calamitosa, pues los PBV máximos admitidos son¹⁹: C2 = 21.000 kg; C3 = 30.500 kg; C3S2 = 53.500 kg; C3S3 = 60.000 kg.

18. http://downloads.nha.gov.pk/index.php?option=com_content&view=article&id=395&Itemid=85.

19. <http://www.highways.gov.gh/subpages.php?id=81>.

COMPARACIÓN DEL EFECTO DE LOS PESOS LEGALES POR EJE DE LOS PAÍSES CITADOS SOBRE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Uno de los primeros esfuerzos realmente serios para cuantificar el deterioro relativo producido en los pavimentos por cargas vehiculares de diferente magnitud y distintos sistemas de ejes fue el llevado a cabo en el AASHO Road Test. De allí salió la idea de fijar una carga por eje de referencia contra la cual se contrastarían los efectos de las demás cargas. La carga de referencia fueron un eje simple de rueda doble y un peso total de 18.000 lb-f (8172 kg).

Tabla 2
Pesos por eje equivalentes para pavimentos asfálticos según algunos investigadores

Referencia	Tipo de eje			
	Simple de rueda simple	Simple de rueda doble	Tándem de rueda doble	Triple de rueda doble
Stevenson ²¹	-	80 kN (18 kip) (8,2 t)	133,4 kN (30 kip) (13,6 t)	181,0 kN (40,7 kip) (18,5 t)
Christison ²²	-	80 kN (18 kip) (8,2 t)	133,5 kN (30 kip) (13,6 t)	186,9 kN (42 kip) (19,1 t)
Rilett & Hutchinson ²³	-	80 kN (18 kip) (8,2 t)	142,4 kN (32 kip) (14,5)	169,0 kN (38 kip) (17,2 t)
AASHTO ²⁴	-	80 kN (18 kip) (8,2 t)	146,8 kN (33 kip) (15,0)	213,6 kN (48 kip) (21,8 t)
Austrroads	53 kN (11,9 kip) (5,4 t) (ancho < 375 mm) ²⁵	80 kN (18 kip) (8,2 t)	135,0 kN (30.3 kip) (13,8 t)	182,0 kN (41 kip) (18,5 t)

Entre los abundantes criterios existentes para estimar el efecto de deterioro de una carga total por eje cualquiera respecto de otra con el mismo sistema de eje tomada como referencia en un pavimento asfáltico, el más simple y suficiente a los fines elementales de lo que se pretende poner de relieve en este artículo es la llamada “ley de la cuarta potencia”, mencionada por Yoder y Witczak²⁰. De acuerdo con esta ley, el efecto de una determinada carga total por eje sobre el pavimento con respecto a la de referencia es igual a la relación entre éstas elevada a la potencia 4.

A lo largo de los años, los eruditos han calculado magnitudes de los pesos de los ejes dobles y triples de rueda doble que, presumiblemente, producen en un pavimento asfáltico el mismo deterioro que el eje de referencia que se acaba de mencionar. Lo mismo para el caso de los ejes simples de rueda sencilla. Las diferencias entre los resultados de las investigaciones han sido notables, tanto por el criterio de comparación escogido por cada investigador (deflexión, rugosidad, agrietamiento, ahuellamiento, índice de servicio, etc.), como por las características consideradas en relación con los vehículos (tipo de neumáticos, presiones de inflado y de contacto, separaciones entre neumáticos en una misma línea de rotación y entre líneas de rotación consecutivas, tipo de suspensión vehicular, etc.), al igual que la composición de la estructura de pavimento adoptada en sus evaluaciones. A manera de ejemplo, se muestran los pesos por eje equivalentes propuestos por algunos investigadores y agencias viales (tabla 2).

Para los cálculos cuyos resultados se presentan enseguida, lo que interesa es el efecto relativo, dado que se trata de una comparación, motivo por el cual sería factible adoptar cualquiera de los criterios señalados. Para el caso, se han tomado los pesos por eje recomendados por Austrroads como equivalentes al del eje simple con sistema de rueda doble de 80 kN. Si el lector hace

20. E. J. Yoder & M. W. Witczak (1975). *Principles of pavement design* (2nd ed.). Nueva Jersey: John Wiley & Sons Inc.
21. J. M. Stevenson (1976). *Economics of road vehicle limits study*. New South Wales, Australia: National Association Australian State Road Authorities.
22. J. T. Christison (1986). *Pavements response to heavy vehicle test program*. Part I, Canroad Transportation Research Corporation.
23. L. R. Rilett & B. G. Hutchinson (1988). LEF estimation from Canroad pavement load-deflection data. *Transportation Research Record* 1196.
24. AASHTO (1993). *AASHTO guide for design of pavement structures*. Washington, D.C.
25. Austrroads (2017). *Guide to pavement technology*. Part 2. Pavement structural design. Sidney.

Tabla 3

Factores de daño por eje para los pesos legales tomando como referencia los estándares de diseño de Austroads

País	Eje simple direccional	Eje simple de rueda doble	Eje tándem de rueda doble	Eje triple de rueda doble	Relación máx./mín.
Colombia	1,52	3,23	6,46	2,83	4,25
Bélgica	2,82	4,59	-	-	
Noruega	3,72	3,87	-	-	
Polonia	2,10	3,87	-	-	
Estados Unidos	-	1,52	1,57	-	
Canadá	3,25 (C2 y C3) 1,08 (C3S2 y C3S3)	1,52	2,30	2,83	2,62
Mercosur	1,52	2,69	2,89	3,61	2,38
México (ET y A)	2,10	5,40	5,36	4,21	2,27
México (B)	1,52	2,69	2,30	2,19	1,77
Ecuador	2,82	3,23	4,41	2,83	1,56
Pakistán	1,08	4,59	6,46	7,88	7,30
Este de África	1,52	2,21	2,89	2,83	1,90

el ejercicio adoptando cualquiera de los otros criterios incluidos en la tabla, llegará a resultados muy similares.

El ejercicio consiste, simplemente, en calcular la equivalencia en ejes de 80 kN de los pesos legales por eje en algunos de los países mencionados en este artículo, respecto de los referenciales de Austroads, usando la ley de la cuarta potencia, en los casos en que fue posible disponer de la información discriminada según el tipo de eje (tabla 3).

COMENTARIOS SOBRE EL EFECTO DE LOS PESOS LEGALES POR EJE DE LOS PAÍSES REFERENCIADOS

Eje simple direccional

El efecto del peso máximo legal colombiano por eje simple direccional es bajo en general, comparado con los del concierto internacional, en especial con los países europeos, donde predominan los camiones de cabina adelantada y el peso legal es mayor. En comparación con los países de la región se encuentra en el entorno menos agresivo y, curiosamente, resulta superior al de Pakistán, por cuanto este país tiene un peso admisible por eje direccional muy bajo, a pesar de que los pesos admitidos para los demás tipos de ejes son desmesurados.

Eje simple de rueda doble

Como en el caso del eje direccional, los países europeos suelen admitir un peso legal mayor que el colombiano, por lo que su efecto en el pavimento es más agresivo. El efecto del peso máximo legal colombiano se halla dentro del promedio de los países latinoamericanos incluidos en la encuesta, en tanto que resulta muy superior al de los países del norte del continente.

Eje tándem de rueda doble

Como ya se mencionó, el eje tándem de rueda doble aprobado en Colombia es, desde hace casi cinco lustros, prácticamente el más agresivo del mundo. Su efecto en un pavimento triplica el de los ejes legales de Estados Unidos y Canadá, supera con holgura el que producen los ejes de los otros países latinoamericanos y africanos, y tan sólo empata con el de Pakistán, lo que en modo alguno no resulta muy digno de encomio.

Eje triple de rueda doble

Como el peso total admisible es semejante al de la mayoría de los países analizados, su efecto es similar. Dado que Mercosur y México (sólo en carreteras ET y A) aceptan pesos mayores, su efecto es superior, como también ocurre en Pakistán, cuyo peso máximo admisible parece encontrarse por fuera de toda lógica.

Análisis general

Si los factores de daño de los pesos legales por eje se encuentran en un rango reducido, esto podría ser indicativo de que el país al que representan los ha escogido aplicando un criterio técnico sensato desde el punto de vista de su efecto sobre las calzadas viales. Ese es, por ejemplo, el caso de Ecuador, donde la relación entre los factores de daño mayor y menor es 1,56, o el de la Comunidad del Este de África, donde es 1,90. Colombia y Pakistán presentan las relaciones más elevadas (4,25 y 7,30), lo que da a entender que los pesos máximos legales por eje en estos países se escogieron con un criterio técnico limitado o francamente ausente. En esto resulta determinante, por supuesto, el elevado límite admisible asignado en estos dos países al peso del eje tándem con rueda doble, y en Pakistán, también, al del eje triple.

FACTORES DE DAÑO VEHICULAR GENERADOS POR LOS PESOS LEGALES

Establecido un factor daño para cada tipo de eje con el máximo peso legal por país o región, es posible estimar el que producen los camiones que circulen con el máximo peso vehicular admitido. A continuación se muestran los valores obtenidos en los casos en los que su cálculo resultó posible con los datos disponibles (tabla 4). Estos valores permiten hacer los comentarios que se presentan enseguida.

Tabla 4
Factores de daño vehicular para los PMBV admitidos

País o región	C2	C3	C3S2	C3S3
Colombia	4,75	7,98	14,44	10,81
Bélgica	7,41	6,41	-	-
Noruega	7,59	6,95	-	-
Polonia	5,97	6,09	-	-
Estados Unidos	-	-	4,16	3,09
Canadá	4,77	5,55	5,65	6,21
Mercosur	4,21	4,41	7,30	8,02
México (ET y A)	7,50	7,46	12,82	11,67
México (B)	4,21	3,82	6,12	6,01
Ecuador	6,05	7,23	11,64	10,06
Pakistán	5,67	7,54	14,00	15,42
Este de África	3,73	4,41	7,25	7,24

Camión C2

Los países europeos, cuyas cargas máximas admisibles por eje direccional y eje simple de rueda doble son mayores que las americanas, presentan el mayor factor de daño para camiones de este tipo circulando con el peso bruto máximo admisible.

Camiones C3 y C3S2

Como era de esperar, Colombia y Pakistán se llevan el galardón por amplio margen, debido al peso por eje tándem que admiten sus reglamentaciones, así sus pesos admisibles para el eje direccional sean relativamente bajos. El factor daño aceptado para estos camiones en los dos países duplica el consentido en algunos de los incluidos en la evaluación.

Camión C3S3

Los camiones permitidos para circular por las vías de Pakistán son, con gran diferencia, los más agresivos. También son altos los admitidos en los caminos más importantes de México, seguidos de cerca por Colombia y Ecuador. En el otro extremo se encuentra Estados Unidos de América, donde la limitación del peso vehicular a 80.000 lb (36.320 kg) hace que los camiones con esta configuración no puedan ofrecer un factor de daño superior a 3,09; es decir, es el 29 % del admitido en Colombia y el 20 % del aceptado por Pakistán. En otras palabras, por una carretera interestatal de Estados Unidos deben pasar más de tres camiones C3S3 con su máxima carga legal para producir el mismo daño que produciría la pasada de sólo uno en las condiciones legales vigentes en Colombia. Si las carreteras norteamericanas son mucho mejores que las nuestras, es evidente que no son las cargas excesivas las que generan desarrollo y mejor calidad de vida a los habitantes de un país.

SOBRECARGAS Y SOBREDIMENSIONES

El efecto adverso de las cargas vehiculares pesadas sobre el comportamiento y la durabilidad de los pavimentos está documentado desde hace mucho tiempo. “No hay duda de que la mayor parte del daño causado a las vías es producido por los pesados vehículos de motor y sus remolques”, se puede leer en un libro im-

preso en Londres en 1919²⁶. En un informe publicado en Sudáfrica en 1997²⁷ se dice que las investigaciones realizadas allí y en Estados Unidos demostraron que el daño producido en los pavimentos por las cargas por eje que excedían los límites legales superaba más allá de toda proporción el incremento en la magnitud de las cargas, hasta el punto de que un eje que transmitiera el doble de la carga legal podía causar entre 4 y 60 veces el deterioro producido por esta última, dependiendo de la condición de la estructura y del tipo de carretera.

Las cargas excesivas no solamente ocasionan un daño considerable a la red vial nacional sino que, además, generan serios problemas para su mantenimiento (figura 2). Adicionalmente, afectan en forma considerable la seguridad de la circulación vehicular, ya que pueden provocar que los camiones se vuelquen, que se dificulte su manejo o que se afecten las operaciones de frenado, generando riesgos sobre los demás usuarios de las carreteras.



Figura 2. Un ejemplo del efecto de las sobrecargas sobre la infraestructura vial nacional²⁸.

26. H. Percy Bulnois (1919). *Modern roads*. Londres: Edward Arnold.
27. Department of Transport (1997). *The damaging effects of overloaded heavy vehicles on roads*. ISBN 1-86844-285-3. Pretoria, South Africa.
28. Foto @cesarcolmena, <http://www.radiosantafe.com/2016/08/23/colapso-de-puente-entre-aguazul-y-yopal-deja-10-heridos-e-incomunicados-a-casanare-arauca-y-el-meta/>.

En una encuesta llevada a cabo por el Instituto Nacional de Vías en 1995, se encontraron ejes simples direccionales hasta de 13 toneladas, ejes simples de rodado doble hasta de 32 t, ejes tándem de rueda doble hasta de 40 t y triples hasta de 57 t, en tanto que en relación con el peso bruto vehicular, se detectaron camiones C2 hasta con 35 t, C3 hasta de 39 t, C3S2 hasta 71 t y C3S3 hasta 86 t²⁹. La situación no ha mejorado mucho durante el presente siglo. Un informe elaborado por Macea et al haciendo uso de la información de 38 operativos de pesaje realizados en 2011 por el Instituto Nacional de Vías³⁰ dice que “se observó que los camiones C3 y C3S3 son los que mayor daño le causan a la infraestructura vial colombiana, ya que se encuentran circulando excesivamente sobrecargados en algunos tramos departamentales del país”, en especial en el departamento del Cesar.

En consecuencia, si las cargas legales colombianas se encuentran dentro de las más agresivas del mundo, ¿qué se podrá decir de los aprietos a que estarán sometidos los pavimentos (y también los usuarios) al tener que soportar de manera permanente cargas en exceso de ellas, ante la consuetudinaria ausencia de adecuados medios de control o la indiferencia de quienes deben aplicarlos?

A esta deprimente situación ha puesto también su valioso grano de arena el Instituto Nacional de Vías. La resolución 4959 de 2006 del Ministerio de Transporte autorizó al Invías para expedir permisos de circulación a vehículos que transportan cargas extradimensionadas y extrapesadas **indivisibles**, las cuales suelen requerir el empleo de vehículos con sistemas de ejes con un mayor número de líneas de rotación que los convencionales. La resolución del Ministerio exige taxativamente que el peso máximo por eje de los vehículos o modulares propuestos no supere el peso o carga máxima por

29. Fernando Sánchez Sabogal (1999). *Las cargas del tránsito automotor y su efecto sobre el comportamiento de los pavimentos flexibles. Análisis de la situación existente en las carreteras colombianas a fines del siglo XX*. Memorias del X Congreso Iberoamericano del Asfalto. Sevilla, España.
30. Luis F. Macea, Luis G. Fuentes & Alex E. Álvarez (marzo de 2013). Evaluación de factores camión de los vehículos comerciales de carga que circulan por la red vial principal colombiana. *Revista Facultad Ingeniería Universidad de Antioquia*, 66.

eje autorizado por las autoridades competentes para la circulación por las vías. A falta de reglamentación legal sobre los pesos máximos para sistemas de ejes con cuatro o más líneas de rotación consecutivas, el Invías ha autorizado, no se sabe al socaire de qué aval técnico, cargas brutas para este tipo de configuraciones obtenidas a partir del simple empleo de operaciones aritméticas básicas. Así, para el eje cuádruple de rueda doble decidió que a las 24 t que autoriza el Ministerio de Transporte para el eje triple en la Resolución 4100 de 2004, bastaba sumarle las 11 t autorizadas para un eje simple independiente, lo que lo llevó a fijar como aceptable una carga de 35 t para ese sistema de eje (figura 3)³¹. Con fines comparativos, baste decir que la carga máxima admisible en Australia para el sistema de eje cuádruple de rueda doble es de 27 t.

Pero con los sistemas de ejes conformados por más líneas de rotación la situación resulta aún más esperpéntica, pues el Invías ha autorizado pesos totales que ha obtenido multiplicando el peso legal de un eje simple de rueda doble (11 t) por el número de líneas de rotación que constituyen el sistema de eje del semirremolque. De esta manera, a un semirremolque conformado por diez ejes de rueda doble (S10) el Invías le ha autorizado $10 \times 11 = 110$ t (figura 3)³². Aunque parezca increíble, una conocida firma consultora local, que asesora a algunos transportadores, ha aplicado también semejante despropósito para respaldar los intereses de sus contratantes, en perjuicio de la red vial.

Adicionalmente, en algunas de las autorizaciones que el Invías expide con el respaldo de la Resolución 4959 de 2006 del Ministerio de Transporte se advierten unos auténticos disparates. Por citar un ejemplo, en su Resolución 09326 de 2016³³, el Invías autorizó la circulación de una combinación C3S2S2, conocida como bitrén, con una longitud máxima de 20 metros, condición físicamente imposible habida cuenta de la realidad física de este tipo de combinación vehicular (figura 4). Además, se ignoró que esta configuración

31. <https://www.invias.gov.co/index.php/servicios-al-ciudadano/normatividad/resoluciones-circulares-otros/6556-resolucion-07699-del-4-de-octubre-de-2017/file>.

32. *Ibíd.*

33. <https://www.rutaalmar.com/wp-content/uploads/2018/12/Resolucion-09326.pdf>.

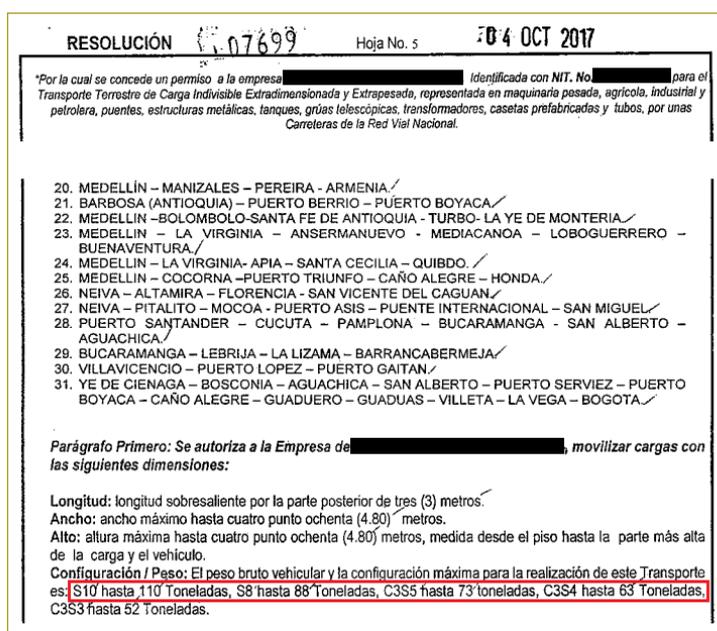


Figura 3. Reproducción parcial de la Resolución 07699 de 2017, expedida por el Invías.

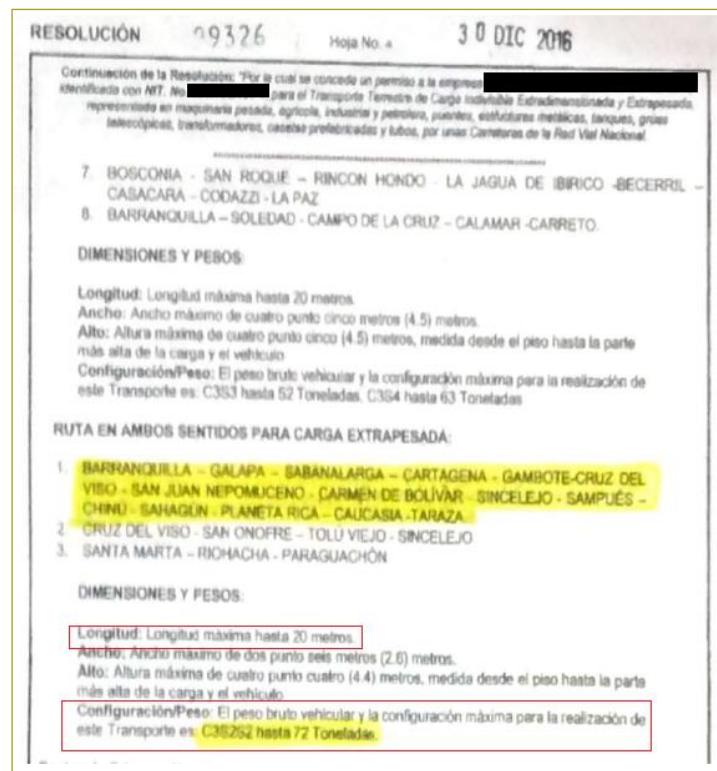


Figura 4. Reproducción parcial de la Resolución 09326 de 2016, promulgada por el Invías.

vulnera el Código Nacional de Tránsito, por cuanto implica necesariamente el enganche del segundo semirremolque en el primero (figura 5), y la Ley 769 de 2002

(Código Nacional de Tránsito)³⁴ define en su artículo 2 un semirremolque como un “Vehículo sin motor, a ser halado por un automotor sobre el cual se apoya y le transmite parte de su peso”.

Estos permisos, que habría que suponer que son ocasionales y para un número limitadísimo de vehículos y de rutas, dadas las características supuestamente excepcionales de las cargas por transportar, se han venido otorgando continuamente a centenares de combinaciones vehiculares que circulan a sus anchas por toda la red vial principal por términos hasta de un año, sin que se verifique siquiera si las cargas son indivisibles y si los pesos y dimensiones con los que circulan se encuentran realmente dentro de los generosos límites fijados en las resoluciones del Instituto Nacional de Vías.



Figura 5. Combinación vehicular C3S2S2³⁵.

LOS BOMBEROS ARROJAN GASOLINA AL FUEGO. RESOLUCIÓN 2546 DE 2018 DEL MINISTERIO DE TRANSPORTE

Ante un fallido intento por normalizar unas combinaciones vehiculares de hasta 30 m de longitud a través de una norma técnica elaborada por el Icontec a solicitud del Ministerio de Transporte y a instancias del gremio industrial³⁶, la entidad concibió, mediante su Resolución 02546 del 4 de julio de 2018, una prueba piloto en la que

autorizaba que nueve tipos de vehículos combinados de carga (VCC) utilicen sectores de la red vial nacional durante un año, lapso tras el cual decidirá, en su sabiduría y a la luz de los resultados de la prueba, si los VCC quedan incluidos en la reglamentación como vehículos convencionales de carga y, por lo tanto, de operación absolutamente libre y normal por las carreteras del país³⁷. Estas unidades están constituidas por camiones tractores y semirremolques y remolques con un total de 7, 8 y 9 líneas de rotación, conformando sistemas de ejes simple, tándem y triple, con longitudes vehiculares hasta de 30 m y pesos brutos que van desde 62 hasta 94 toneladas (a las que se debe agregar la generosa tolerancia positiva del orden de 2%), valores estos obtenidos por el ministerio mediante la suma aritmética de las cargas por eje admisibles, fijadas en su Resolución 4100 de 2004.

Las autoridades viales de los países con igual o mayor avance tecnológico y, por supuesto, con mayor respeto por la infraestructura de transporte y por sus usuarios nunca han sido tan generosas con los transportadores ni tan afrentosas con sus pavimentos. Más adelante se muestran los límites autorizados por la Resolución 246 de 2018, expedida por el Ministerio de Transporte para los VCC, así como los admitidos por las autoridades del ramo de Argentina, Brasil, México, Australia y Canadá (figura 6). Los valores hablan por sí solos. Estos valores desvirtúan nuevamente el falso paradigma que circula en Colombia, según el cual si se autorizan cargas vehiculares excesivas se contribuye en grado sumo al desarrollo económico del país y al bienestar de sus habitantes. Todos los países mencionados en la figura 6 tienen mayor nivel de desarrollo que el nuestro. Y no sólo de desarrollo económico. También un mejor índice de calidad de vida (QLI), en el que Colombia ocupa el modestísimo puesto 57³⁸.

El exceso queda aún más manifiesto con un ejemplo claro: dentro de los VCC autorizados por el Ministerio de Transporte, al 3S3R3 (9 líneas de rotación) se le permite un peso bruto de 85 toneladas (más los 1620 kg de tolerancia positiva). En la reglamentación australiana existe el 3S3R5, el cual tiene dos líneas de rotación más

34. Ley 769 de 2002, Por la cual se expide el Código Nacional de Tránsito Terrestre y se dictan otras disposiciones.

35. <https://www.analdex.org/2018/07/09/resolucion-2546-de-2018-del-ministerio-de-transporte-marco-para-prueba-piloto-de-vehiculos-combinados-de-carga/>.

36. Asociación Nacional de Empresarios (ANDI) (septiembre de 2013). *Guía para la implementación de flota de vehículos combinados de alto rendimiento*. Bogotá: ANDI.

37. *Ibíd.*, nota 35.

38. https://www.numbeo.com/quality-of-life/rankings_by_country.jsp.

DESIGNACIÓN	CONFIGURACIÓN	PESO BRUTO MÁXIMO VEHICULAR (t)						OBSERVACIONES
		COLOMBIA ¹	ARGENTINA ²	BRASIL ³	MÉXICO ⁴	AUSTRALIA ⁵	CANADÁ ⁶	
3-S1-D1-S2 o 3-S1-R3	 Tran A,6 Tran C Número de ejes: 7	72,0	-	-	60,5	-	54,6	
3-S2-D1-S2 o 3-S2-R3	 Tran A,6 Tran C Número de ejes: 8	83,0	-	-	63,0	-	58,5	
3-S2-D1-S3 o 3-S2-R4	 Tran A,6 Tran C Número de ejes: 9	94,0	-	-	66,5	-	-	
3-S3-D1-S2 o 3-S3-R3	 Tran A,6 Tran C Número de ejes: 9	85,0	-	-	-	-	-	
3-S2-D3-S2 o 3-S2-R4	 Tran A,6 Tran C Número de ejes: 9	94,0	-	74,0	66,5	74,0	-	
3-S2-S2	 Tran B Número de ejes: 7	72,0	60,0	57,0	58,5	57,0	56,5	Argentina: sólo puede circular libremente con carga indivisible
3-S3-S1	 Tran B Número de ejes: 7	62,0	-	-	-	-	54,6	
3-S3-S2	 Tran B Número de ejes: 8	74,0	-	-	60,0	59,0	62,5	
3-S3-S3	 Tran B Número de ejes: 9	76,0	75,0	74,0	-	64,5	-	Argentina: sólo puede circular en corredores definidos por la Dirección Nacional de Vialidad

¹ Resolución 2546 de 2018 del Ministerio de Transporte (admite, además, tolerancias positivas del orden de 2 %).

² Decreto 32 de 2018.

³ Resoluciones Contrans.

⁴ Norma oficial mexicana NOM-012-SCT-2-2107 (solamente pueden circular por caminos ET y A) (hay tolerancias de 1,5 t en eje motor y de 1,0 en eje de carga).

⁵ National Heavy Vehicle Regulator.

⁶ Heavy truck weight and dimension limits for interprovincial operations in Canada (2014).

Figura 6. Pesos brutos vehiculares máximos admitidos a combinaciones vehiculares de carga.

que el autorizado por el ministerio. A pesar de ello, el peso autorizado en Australia para el 3S3R5 es sólo de 79 toneladas³⁹ (6 t menos que el colombiano o hasta 7,62 t, si se considera la tolerancia positiva).

Por otra parte, el Ministerio de Transporte ha ignorado que la circulación de vehículos muy pesados, con siete, ocho o nueve líneas de rotación en situación de canalización, reduce los periodos de reposo previstos en el diseño convencional de pavimentos, generando así el sobreesfuerzo de las diferentes capas de la estructura, especialmente las asfálticas, cuyo efecto no es otro que la reducción de su resistencia a la fatiga y, consecuentemente, la aceleración de su deterioro^{40, 41}.

El BID menciona que “un camión sobrecargado es difícil de conducir y detener. Las cargas muy pesadas suponen un estrés adicional en las llantas, frenos, suspensión, el sistema de enfriamiento y la transmisión. Todo ello supone un deterioro considerable de los elementos técnicos de los vehículos, lo que puede ser una causa de siniestro”⁴². El Ministerio de Transporte parece que pensara lo contrario. No en vano olvidó mencionar, entre los considerandos de su Resolución 2546 de 2018, que el artículo 2 literal e) de la Ley 105 de 1993 establece que “la seguridad de las personas constituye una prioridad del sistema y del sector transporte”.

Al hecho de por sí agravante del peso bruto, ha de sumarse el no menos importante sobre la longitud que la Resolución 2546 de 2018 del Ministerio de Transporte admite a esas combinaciones vehiculares. La figura 7 permite compararla con las permitidas en otros países de similar o superior nivel de desarrollo y ubicación dentro del Índice de Competitividad Mundial. Las características geométricas de las carreteras colombianas tienen mucho que envidiar a las canadienses, australianas o argentinas. También se debe tener en cuenta la no muy excelsa cultura vial de los conductores colombianos de

vehículos pesados. Las carreteras del país, que transcurren principalmente por una topografía compleja, no se construyeron a partir de diseños que tuvieran en cuenta las enormes combinaciones vehiculares que pretende imponer el Ministerio de Transporte en la prueba piloto. De hecho, las carreteras más recientes se han construido con base en el *Manual de diseño geométrico de carreteras*, de 2008⁴³, donde los camiones de diseño considerados son el 3S2 y el 3S3.

La consecuencia práctica del uso libre de las carreteras nacionales por estas nuevas combinaciones vehiculares de gran longitud en una vía de una sola calzada es evidente: la invasión del carril vecino en curvas de radio no muy amplio, que se convierte en un peligro para los usuarios que circulan en sentido contrario; el incremento de los tramos de la red vial en los que será imposible el sobrepaso y, por supuesto, la necesidad de rediseñar y ajustar la señalización horizontal y vertical en todas las carreteras por las cuales se permita su circulación. Estudios sobre el tema hay en el país que ya han puesto de presente estas dificultades⁴⁴.

Sobre este asunto, el autor hace suyas las recomendaciones de un estudio elaborado por profesionales argentinos, en el que se concluye la necesidad de considerar previamente esos vehículos en el diseño de la distancia de visibilidad de paso de las carreteras, con el propósito de resguardar la seguridad de todos los usuarios, tomando en cuenta “que nuestras rutas poseen, a diferencia de lo que ocurre en otros países, un alto porcentaje de vehículos pesados en su composición”. En otras palabras, que antes de autorizar su circulación, incluso a título de prueba, es necesario verificar y modificar geoméricamente los corredores en los que se proponga permitir la circulación de los llamados VCC⁴⁵.

39. <https://www.nhvr.gov.au/files/201707-0577-common-heavy-freight-vehicles-combinations.pdf>.

40. Martins de Oliveira (mayo de 2016). Grouted macadam material characterization for pavement design. Nottingham: The University of Nottingham.

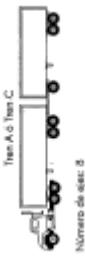
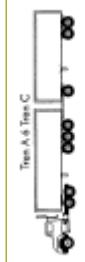
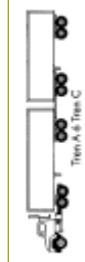
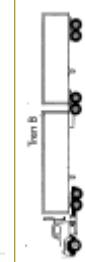
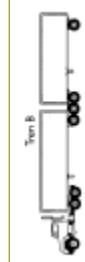
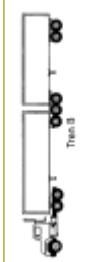
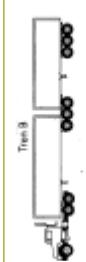
41. *Shell Pavement Design Manual* (1978). Londres.

42. <https://idblegacy.iadb.org/es/temas/transporte/guia-bid-de-seguridad-vial/circulacion-de-vehiculos-pesados-con-sobrecarga,4239.html>.

43. Instituto Nacional de Vías (2008). *Manual de diseño geométrico de carreteras*. Bogotá: Invías.

44. Ary Bustamante Asociados Ltda. (diciembre de 2011). Estudio y análisis de las variables que intervienen en el comportamiento del tránsito y los pavimentos bajo la acción de la tipología de nuevos vehículos de carga a los autorizados en la Resolución 4100 de 2004 para transitar por las carreteras de Colombia. Informe final. Popayán.

45. Ramón Barraza, Enrique Lascano, Rodrigo Ruiz López & Carla Sansone (s.f.). Uso del vehículo bitrén y sus implicancias, 56 pp.

DESIGNACIÓN	CONFIGURACIÓN	DIMENSIONES MÁXIMAS (m) (longitud/anchura/altura)						OBSERVACIONES
		COLOMBIA ¹	ARGENTINA ²	BRASIL ³	MÉXICO ⁴	AUSTRALIA ⁵	CANADÁ ⁶	
3-S1-D1-S2 0 3-S1-R3		30/2,6/4,4	-	-	31/2,6/4,25	-	25/2,6/4,15	
3-S2-D1-S2 0 3-S2-R3		30/2,6/4,4	-	-	31/2,6/4,25	-	25/2,6/4,15	
3-S2-D1-S3 0 3-S2-R4		30/2,6/4,4	-	-	31/2,6/4,25	-	-	
3-S3-D1-S2 0 3-S3-R3		30/2,6/4,4	-	-	-	-	-	
3-S2-D3-S2 0 3-S2-R4		30/2,6/4,4	-	30/2,6/4,4	31/2,6/4,25	36,5/2,5/4,3	-	
3-S2-S2		30/2,6/4,4	22,4/2,6/4,3	30/2,6/4,4	31/2,6/4,25	19/2,5/4,3	27,5/2,6/4,15	
3-S3-S1		30/2,6/4,4	-	-	-	-	27,5/2,6/4,15	
3-S3-S2		30/2,6/4,4	-	-	31/2,6/4,25	26/2,5/4,3	27,5/2,6/4,15	
3-S3-S3		30/2,6/4,4	25,5/2,6/4,3	30/2,6/4,4	-	26/2,5/4,3	-	Argentina: pueden circular con una longitud de hasta 30,25 m, con permiso especial de V.N.

¹ Resolución 2546 de 2018 del Ministerio de Transporte.

² Decreto 32 de 2018.

³ Resoluciones Contran.

⁴ Norma oficial mexicana NOM-012-SCT-2-2107 (solamente pueden circular por caminos ET y A).

⁵ National Heavy Vehicle Regulator.

⁶ Heavy truck weight and dimension limits for interprovincial operations in Canada (2014).

Figura 7. Dimensiones máximas admitidas a vehículos combinados de carga.

A todo lo anterior se deben agregar las autorizaciones permanentes que otorga el Invías para la circulación de trenes cañeros de hasta 50 m de longitud y pesos por eje y brutos poco o absolutamente nada sometidos a control oficial, e incluso empleando neumáticos para uso exclusivo de fuera de carretera (figura 8), al abrigo de un artículo incluido en la llamada ley antitrámites, en el que la delegación para estas autorizaciones aparece sorprendentemente amalgamada con delegaciones relacionadas con asuntos tan variopintos como la supresión de sellos en la papelería oficial, los trámites para inscribirse en el programa de desplazados o los procedimientos para el divorcio ante notarios.



Figura 8. Tren cañero por una carretera nacional (nótese que los remolques utilizan neumáticos para uso exclusivo fuera de carretera, *off road*)⁴⁶.

Para terminar, también merece consideración el asunto referente a la relación potencia/peso mínima, que exige el ministerio a los VCC en su resolución. La relación potencia/peso es un factor importante para conocer el comportamiento que podrá tener un vehículo en una carretera en lo referente a aceleración y potencia. Los objetivos de su reglamentación son varios: a) preservar el estado de las carreteras, muy deterioradas por el exceso de peso con el que acostumbran circular los camiones, sumando a ello la insuficiencia e ineficacia de los controles en todo el país; b) garantizar que en las pendientes ascendentes la velocidad de los vehículos no se reduzca demasiado, generando colas, con el efecto

negativo que esto produce sobre los costos de operación de los demás usuarios que circulan tras él (situación que, por supuesto, se vuelve absolutamente crítica cuando el vehículo por sobrepasar tiene 30 metros de longitud); c) finalmente, la función es preventiva; esto es así por cuanto un vehículo de gran porte sobrecargado precisa una mayor distancia de frenado, con las consecuencias que ello puede ocasionar en lo que a accidentes se refiere, sobre todo al circular en pendientes descendentes.

A pesar de todos estos escollos, el Ministerio de Transporte ha sido muy dádivo en su Resolución 2546 de 2018 con los postulantes a participar en la prueba piloto de vehículos combinados de carga (VCC), pues solo les exige una relación potencia/peso mínima de 5,5 CV/tonelada. En otros países los valores mínimos exigidos para esta relación son mayores, a veces hasta en más de 20 %, a pesar de que los pesos brutos máximos que admiten son muy inferiores a los que fija el Ministerio de Transporte (figura 9).

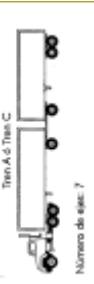
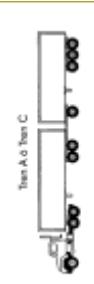
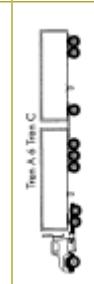
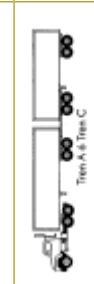
CONSIDERACIONES FINALES

La única pretensión de este artículo es llamar la atención de quienes lo lean sobre la situación imperante en Colombia en relación con los pesos y las dimensiones de algunos vehículos pesados que están haciendo uso permanente de la red vial nacional, así como sobre los vehículos con dimensiones y pesos excesivos por los que el Ministerio de Transporte viene manifestando un desmedido interés en ensayar, con el fin de autorizarlos sin una evaluación previa de las características geométricas y estructurales de las carreteras del país, así como los efectos no menos importantes sobre la subsistencia de los pequeños transportadores. Como dijo un reconocido economista argentino: “Hay un montón de prioridades previas antes que esta innovación, como el estado de las rutas o la seguridad. La autorización de bitrenes no es la bala de plata”⁴⁷.

Tanto la situación existente como la patrocinada en la Resolución 2546 de 2018 del Ministerio de Transporte, ambas de presumible incidencia negativa sobre la seguridad y la comodidad de los demás usuarios, y sobre el

46. <https://www.elpais.com.co/valle/prohiben-circulacion-de-trenes-caneros-en-tulua.html>.

47. Lucio Castro. Economistas debaten el uso de los “bitrenes” que autorizó Cristina en las rutas. LPO, *La política online*, 233/04/2014.

DESIGNACIÓN	CONFIGURACIÓN	RELACIONES MÍNIMAS POTENCIA/PESO (CV/t)						OBSERVACIONES
		COLOMBIA ¹	ARGENTINA ²	BRASIL ³	MÉXICO ⁴	AUSTRALIA ⁵	CANADÁ ⁶	
3-S1-D1-S2 0 3-S1-R3		5,5	-	-	6,6	-	6,7	Canadá: requisito en British Columbia
3-S2-D1-S2 0 3-S2-R3		5,5	-	-	6,8	-	6,7	Canadá: requisito en British Columbia
3-S2-D1-S3 0 3-S2-R4		5,5	-	-	6,5	-	-	
3-S3-D1-S2 0 3-S3-R3		5,5	-	-	-	-	-	
3-S2-D3-S2 0 3-S2-R4		5,5	-	5,7	6,5	-	-	
3-S2-S2		5,5	6,0 y 6,75	5,7	6,8	-	6,7	Canadá: requisito en British Columbia
3-S3-S1		5,5	-	-	-	-	6,7	Canadá: requisito en British Columbia
3-S3-S2		5,5	-	-	6,7	-	6,7	Canadá: requisito en British Columbia
3-S3-S3		5,5	6,0 y 6,75	5,7	-	-	-	Argentina: 6,0 para PBV entre 45 y 60 t; y 6,75 para PBV ≥ 60 t

1 Resolución 2546 de 2018 del Ministerio de Transporte.
 2 Decreto 32 de 2018.
 3 Resoluciones Contran.
 4 Norma oficial mexicana NOM-012-SCT-2-2107 (solamente pueden circular por caminos ET y A).
 5 National Heavy Vehicle Regulator.
 6 Heavy truck weight and dimension limits for interprovincial operations in Canada (2014).

Figura 9. Relaciones mínimas potencia/peso exigidas en algunos países.

desempeño de la red vial, han carecido de la divulgación pública suficiente; además, paradójicamente, no están contempladas en los manuales de diseño de carreteras de la propia agencia oficial encargada de expedir los permisos de circulación de los vehículos sobredimensionados o extrapesados por la red vial nacional. Debido a esta falta de información, tanto la realidad que están

sobrellevando estoicamente las carreteras del país, como el flagelo al que pudieran quedar expuestas en el futuro, no son objeto de consideración en las cátedras de diseño vial de nuestras facultades de ingeniería, ni los han tomado en cuenta hasta el presente los diseñadores de las carreteras colombianas.

Detección y evaluación de la presencia de *Enterococcus* en la laguna de Fúquene

Detection and assessment of *Enterococcus* presence in the Lake Fuquene

BRYAM ORLANDO SÁNCHEZ ESCOBAR¹ - GLADYS ROCÍO GONZÁLEZ LEAL²

1. Ingeniero civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

2. Bióloga. Especialista en Microbiología. Profesora titular de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

bryam.sanchez@mail.escuelaing.edu.co - gladys.gonzalez@escuelaing.edu.co

Recibido: 24/05/2019 Aceptado: 10/06/2019

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista

<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

En este artículo se muestran los resultados de la detección y evaluación de la existencia de *Enterococcus* en la laguna de Fúquene por medio de la técnica de sustrato definido, al tiempo que se contempla, lo que implica, en materia ambiental, la presencia de dichos microorganismos patógenos y su impacto en la salud de las poblaciones involucradas en el consumo del agua de dicha laguna.

Palabras claves: laguna de Fúquene, enterococos, técnica de sustrato definido, indicadores de contaminación fecal.

Abstract

This article shows the results of the detection and assessment of *Enterococcus* in Lake Fuquene through the defined substrate technique, while simultaneously, analyze the environmental implications of its presence and its impact on the health of affected populations who consume water from the lake

Keywords: lake Fuquene, enterococcus, defined substrate technique, fecal contamination indicators.

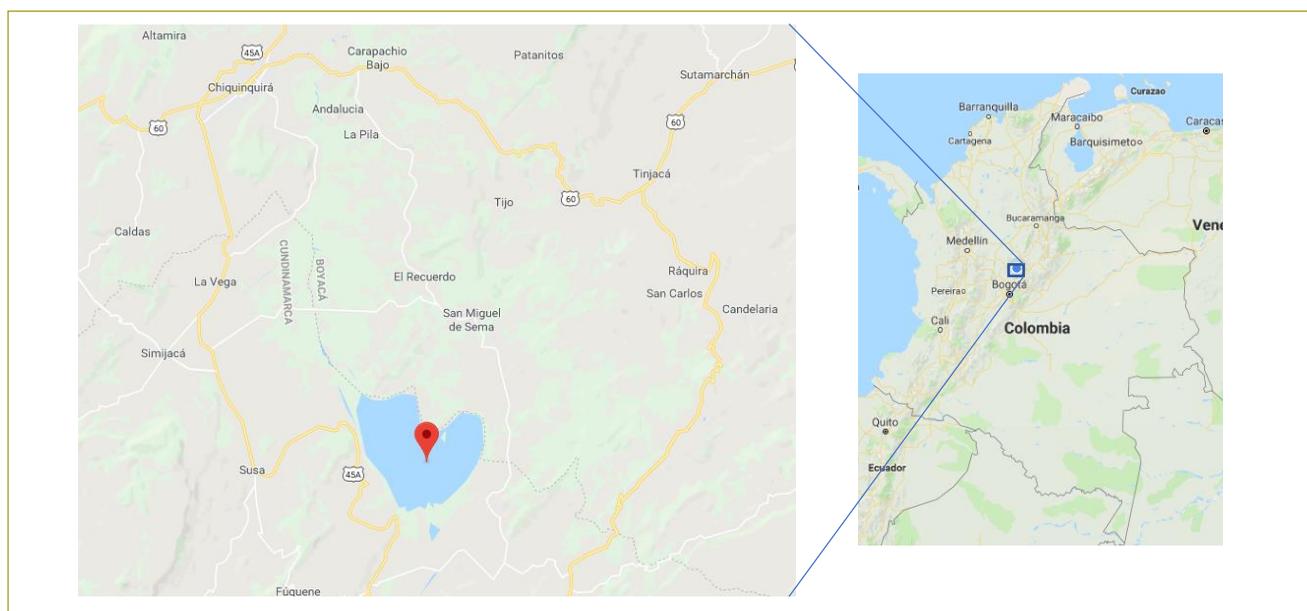


Figura 1. Localización de la laguna de Fúquene.

Fuente: Tomada y adaptada de Google Maps, 2018.

INTRODUCCIÓN

Laguna de Fúquene

La laguna de Fúquene (localizada entre los departamentos de Boyacá y Cundinamarca), con una extensión de 3060 ha, recibe descargas de aguas residuales domésticas e industriales, provenientes principalmente de actividades de las industrias láctea, agrícola y de pastoreo, de varios municipios que se encuentran a su alrededor y que han afectado las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas del agua; dicha agua se está utilizando a su vez para el abastecimiento de otras poblaciones rurales y urbanas cuyo único afluente es el río Suárez, que desemboca al noroeste de la laguna. Adicionalmente, abastecerá a poblaciones en el departamento de Santander, como los municipios de Puente Nacional y Barbosa.

Debido a la afectación de la laguna por estos vertimientos, se ha evidenciado un aumento de la eutrofización, lo que ha generado alteraciones considerables en el paisaje y en la navegabilidad, así como impactos en el medio biótico de ésta.

Enterococcus y su impacto en la salud

Las bacterias patógenas llegan a los cuerpos de agua superficiales provenientes de la materia fecal humana y animal, por descargas de aguas residuales sin tratar

o con tratamiento deficiente, descargas de plantas que procesan carne de aves y de ganado; en zonas rurales, la defecación a campo abierto constituye también una fuente de contaminación de las aguas superficiales.

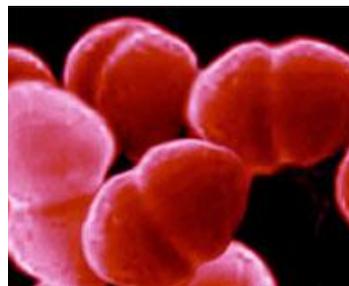


Figura 2. *Enterococcus*.

Fuente: Tomada de <http://apps1.semarnat.gob.mx/>.

La presencia de microorganismos patógenos en el agua de la laguna de Fúquene genera un gran impacto en la salud de los habitantes de las poblaciones aledañas. Los actuales indicadores de contaminación fecal en Colombia son los coliformes fecales; los *Enterococcus* son más resistentes que los coliformes fecales a condiciones ambientales adversas, además de que son muy resistentes a los antibióticos; de allí el interés de detectarlos y analizar su presencia en el agua de la laguna de Fúquene.

Los *Enterococcus* son bacterias de forma esférica, aerobias y anaerobias facultativas, generalmente dispuestas

Tabla 1
Prioridades de morbilidad atendida en Chiquinquirá

	Causa de morbilidad autorizada	Boyacá 2012	Chiquinquirá 2012
Morbilidad por grandes causas	Enfermedades no transmisibles	54,20	43,76
	Condiciones transmisibles y nutricionales	20,74	39,8
	Lesiones	6,78	31,69
	Condiciones mal clasificadas	16,71	20,03
	Condiciones materno perinatales	1,69	3,73
Eventos de alto costo	Prevalencia de enfermedad renal crónica en fase cinco con necesidad de terapia de restitución o remplazo renal	53,75	0
	Tasa de incidencia de enfermedad renal crónica en fase cinco con necesidad de terapia de restitución o remplazo renal por 100.000 afiliados	45,45	0

Fuente: Secretaría de Desarrollo y Bienestar Social de Chiquinquirá.

de a dos células o en forma de cadena. Dos especies habitan en el intestino del ser humano: *Enterococcus faecalis* y *Enterococcus faecium*. Calificadas como patógenos oportunistas, pueden causar diversas enfermedades del tracto urinario, endocarditis, bacteriemia y meningitis, entre otras.

La incidencia anual de bacteriemias nosocomiales provocadas por *Enterococcus* es de 1 o 2 episodios por cada 1000 pacientes hospitalizados. Puede evidenciarse que en Chiquinquirá la incidencia de enfermedades transmisibles (entre las que se incluyen enfermedades de transmisión hídrica) presenta un alto índice de morbilidad atendida.

Según el Sistema Integrado de Información de la Protección Social (Sispro), la tercera causa de morbilidad en el municipio son las condiciones transmisibles y nutricionales, mientras que las enfermedades infecciosas y parasitarias ocupan el segundo lugar de consultas; en 2011 la morbilidad por EDA en menores de 1 año se presentó en 487 casos y en menores de 5 se presentó en 774 casos; en 2012 la morbilidad por EDA en la población general se presentó en 4910 casos, con la siguiente distribución específica por grupos vulnerables; menores de 1 año: 324, menores de 5 años: 707, mayores de 60 años 249, y en 2014, morbilidad por EDA 2878 casos en total, menores de 5 años: 663; mayores de 60 años 305 casos reportados. Como se puede observar, los casos de EDA han disminuido gradualmente; sin embargo, aún se registran casos en la población general y en grupos etarios vulnerables (<http://www.hospital-regionalchiquinquirá.gov.co/>).

Las infecciones urinarias son las que con más frecuencia producen estos organismos. La tasa de incidencia de estas infecciones aumenta drásticamente y son la causa más común de bacteriemia.

En Colombia, la Resolución 631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos específicos de aguas residuales a cuerpos de agua superficiales, establece el análisis y reporte de los valores de la concentración en número más probable (NMP/100 mL) de los coliformes termotolerantes, pero no tiene contemplado el análisis de *Enterococcus*.

La Resolución 1207 de 2014, promulgada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas, establece para uso agrícola un máximo de 100 NMP/100 mL

En México y Estados Unidos, por ejemplo, la detección de *Enterococcus* como indicadores de contaminación fecal en aguas está reglamentada para aguas superficiales; de allí la importancia de detectarlos en el agua de la laguna de Fúquene.

METODOLOGÍA

Muestreo

Para la recolección de las muestras en la laguna de Fúquene se tuvo en cuenta la ubicación de los afluentes, tales como los canales veredales y los ríos que desem-

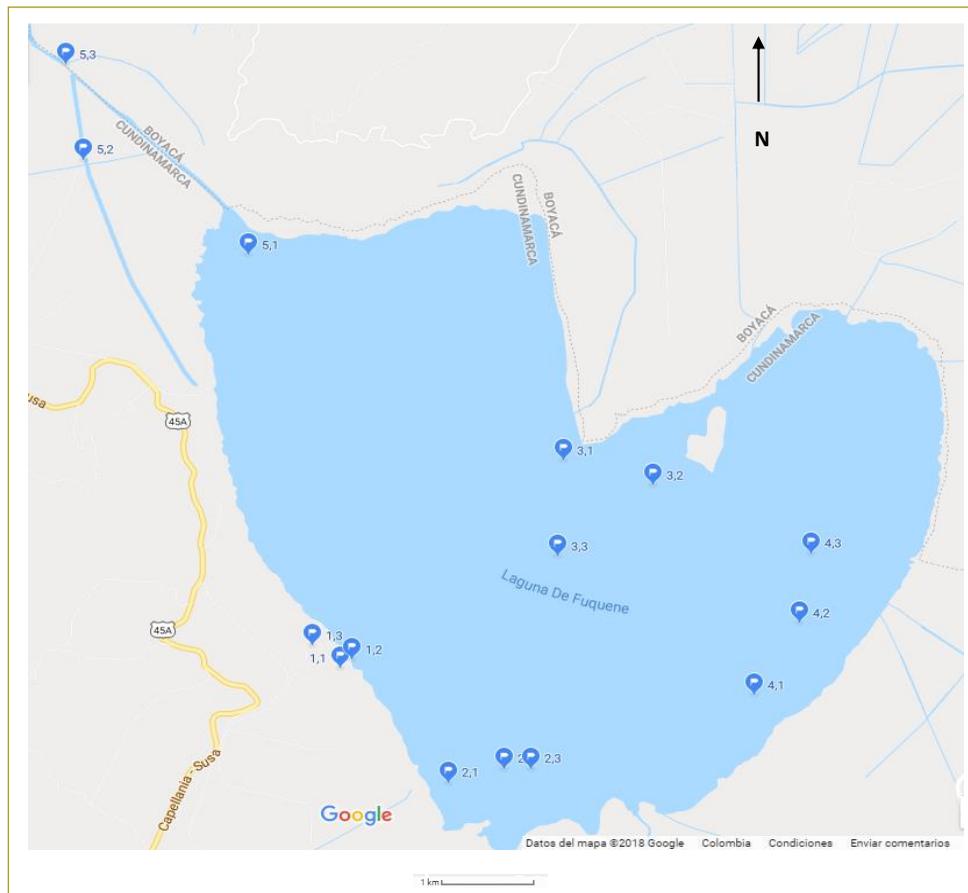


Figura 3. Ubicación sitios de muestreo.

Fuente: Tomada y adaptada de Google Maps 2018.

bocan en esta; adicionalmente, se tomaron muestras en algunos puntos del río Suárez, el cual es un efluente, disponiéndose de las siguientes ubicaciones:

En total, se recolectaron 15 muestras de agua tomadas en 5 sitios diferentes de la laguna de Fuquene; además, se tomaron 3 muestras por zona, conforme a los protocolos de muestreo.



Figura 4. Captación de muestra puntual superficial.

Procesamiento de las muestras

Una vez recolectadas las muestras, se procesaron en el Laboratorio de Microbiología de la Escuela Colombiana de Ingeniería para el análisis del contenido de *Enterococcus* mediante la técnica de sustrato definido (Enterolert) de Laboratorios Idexx. Defined Substrate Technology® (Tecnología de sustrato definido [DST®]).

Después de un periodo de incubación de 24 horas a 41 °C, se procede a realizar el conteo de las celdas que emiten fluorescencia bajo la lámpara de luz ultravioleta de 6 vatios, con una longitud de 365 nm; aquellas que emiten fluorescencia son positivas para *Enterococcus*. Posteriormente, se determina el número más probable por medio de la tabla de NMP.



Figura 5. Sellador Quanty-Tray. Sealer 2X.



Figura 6. Bandeja Quanty-Tray con muestra y medio de cultivo Enterolert.



Figura 7. Bandeja bajo lámpara de luz ultravioleta 24 horas después. Fluorescencia: positivo para *Enterococcus*.

Figura 8. Visualización de fluorescencia en bandejas.

Fuente: Tomadas en el Laboratorio de Microbiología de la Escuela Colombiana de Ingeniería.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el laboratorio para cada ubicación (figura 3), se presentan en la tabla 2:

Se puede observar que la concentración de *Enterococcus* es alta en las orillas de la laguna, en la formación del río Suárez (ubicación 5,3) y en la zona sur, que equivale a la zona 2. Lo anterior permite evidenciar una alta descarga de materia orgánica de origen fecal.

Tabla 2
Promedio del número más probable (NMP) por zonas en la laguna

Zona	Muestra	NMP 100 mL	Confiabilidad (95 %)		Promedio de cada zona NMP	Desviación estándar de cada zona
			Límite inferior	Límite superior		
1	1,1	6,3	2,5	12,7	9,0667	4,7863
	1,2	5,1	1,7	10,6		
	1,3	15,8	8,8	25,7		
2	2,1	272,3	183,5	382,9	98,0333	123,2251
	2,2	10,9	5,6	19,5		
	2,3	10,9	5,6	19,5		
3	3,1	1	0,1	5,5	1	0
	3,2	1	0	3,7		
	3,3	1	0	3,7		
4	4,1	1	0	3,7	2,3667	1,2919
	4,2	4,1	1,2	9,1		
	4,3	2	0,3	7,1		
5	5,1	1	0	3,7	20,7333	19,1705
	5,2	14,5	7,8	2		
	5,3	46,7	33,3	64,2		

Al compararse gráficamente los resultados de cada muestra, se tendrá que:

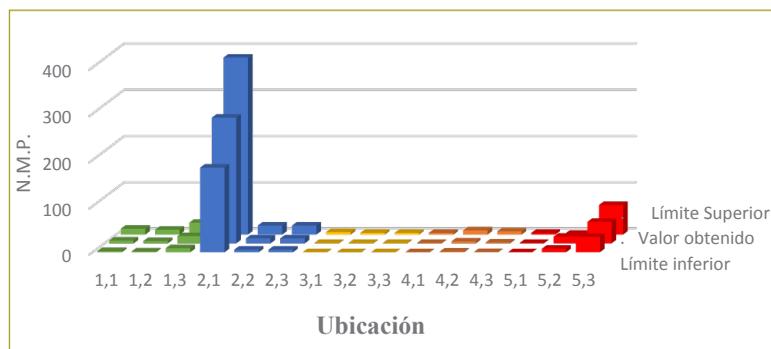


Figura 9. Concentración de *Enterococcus* (NMP/100 mL) en función de la ubicación (figura 3).

Se puede apreciar la importante concentración de *Enterococcus* en la zona 2 (azul), lugar donde hay descarga de aguas residuales por parte del municipio de Ubaté, reconocido por su industria láctea a escala nacional. Se observa una notable disminución del contenido de *Enterococcus* en las zonas más distantes de las orillas.

CONCLUSIONES

- La presencia de *Enterococcus* en el agua de la laguna de Fúquene indica contaminación de origen fecal, lo que confirma la descarga de aguas residuales a la laguna.
- La alta cantidad de *Enterococcus* en la laguna, especialmente en las orillas, implica un riesgo potencial de enfermedades para las comunidades de las zonas aledañas.
- Es evidente la contaminación microbiológica en el agua de la laguna de Fúquene en cuanto a la presencia de *Enterococcus*. A pesar de las cifras suministradas por la Secretaría de Salud de Chiquinquirá en cuanto a la elevada incidencia de enfermedades, no se puede asegurar que éstas sean ocasionadas por tales microorganismos.
- El contenido de *Enterococcus* es menor en las zonas 3 y 4, correspondientes a las partes central y occidental de la laguna, lo cual permite concluir que la contaminación microbiológica se debe a las descargas de canales veredales, además de la infiltración en el suelo de la materia fecal de la actividad ganadera.

- Las descargas de los canales veredales proporcionan importantes concentraciones de contaminantes. Esto genera eutrofización y contribuye al deterioro ambiental de la laguna, por lo que afecta la salud de los habitantes del lugar.
- Considerando las condiciones ambientales de la laguna, se recomienda hacer un monitoreo continuo para comprender la influencia de dichas condiciones en la presencia de *Enterococcus*.
- Las descargas de aguas residuales del municipio de Ubaté no satisfacen el límite de *Enterococcus* establecido por la Resolución 1207 de 2014, el cual es de 100 NMP/100 mL.
- El río Suárez es el río que abastece el municipio de Chiquinquirá, y de acuerdo con las altas concentraciones de *Enterococcus* encontradas allí se evidencia un riesgo potencial de enfermedades que pueden afectar a la población, debido a los inadecuados procesos de tratamiento de agua para consumo.
- Se recomienda contemplar los límites admisibles de *Enterococcus* en la Resolución 631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales a cuerpos de agua superficiales.

REFERENCIAS

- Álvarez, B. R., Larrea Murrel, J. A., Pérez, M. H., Rojas Badía, M. M., y Rojas Hernández N. M. (2013). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas *Revista Cenic de Ciencias Biológicas*, 44(3).
- High Epidemio, 48(2). Ciudad de La Habana, mayo-ago. 2010. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032010000200006, revista cubana de salud.
- Zumaeta, M.A. *Aspectos biológicos de la calidad del agua*, cap. 2.2. Sección 2,2 <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manual/tomol/dos.pdf>.
- Organización Mundial de la Salud. *Guía para la calidad del agua potable*, 1, p. 207. Ginebra.
- Estado de Hawái, Departamento de Salud. *Ramada de limpieza del agua. Datos de calidad del agua. Microbiología*, Hawái. <http://cwb.doh.hawaii.gov/CleanWaterBranch/WaterQualityData/default.aspx>.
- Laguna de Fúquene (2018). Recuperado de Google Maps.
- Norma Mexicana NMX-AA-120-SCFI. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2016). *Requisitos y especificaciones de sustentabilidad de calidad de las playas*, cap.5. Requisitos naturales, p. 10.
- Plan de Salud Territorial del Municipio de Chiquinquirá, 2016-2019. Alcaldía municipal de Chiquinquirá. Área de Planeación y Desarrollo del sector de la salud. Chiquinquirá (Boyacá), mayo de 2016, capítulo 3, sección 1, subsección 1.1.

Sand Island Wastewater Treatment Plant: Appendix C: *Mambala Bay Study Summary*, Microbial contaminants, p. C-14, table 3.1. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ficha técnica del análisis del agua. México, Semarnat. Recuperado de: http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/gob-mx/playas/programas_playas_limpias/ficha_tecnica_analisis_del_agua.html.
Secretaría de Desarrollo y Bienestar Social de Chiquinquirá. Análisis de situación de salud con el modelo de los determinantes sociales de salud de Chiquinquirá, 2013. Área de planeación y desarrollo del sector de la salud por la cultura de la salud, capítulo 2, sección 2.2 (Análisis de la morbilidad).

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Resolución 631 de 2016, capítulo III, valores límites máximos permisibles microbiológicos en vertimientos puntuales de aguas residuales (ARD y ARND) a cuerpos de aguas superficiales.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Resolución 1207 de 2014 (Julio 25), *Diario Oficial* N.º 49.242, del 13 de agosto de 2014, artículo 7.º, parágrafo 1.

Villamarín, L.M. (2014). *Análisis de la calidad trófica de la laguna de Fúquene* (tesis de maestría). Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Estudio experimental y teórico del efecto de la desecación en la capacidad portante de cimentaciones superficiales

Experimental and theoretical study of the effect of desiccation in the load capacity of surface foundations

CATALINA LOZADA LÓPEZ

Profesora asistente de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

catalina.lozada@escuelaing.edu.co

Recibido: 12/06/2019 Aceptado: 20/06/2019

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista

<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

Durante los periodos de sequía, las condiciones climáticas en la interfase aire-suelo generan un proceso de flujo de vapor de agua ascendente, en el cual el suelo pierde humedad y, por tanto, la succión aumenta. La relación entre la succión y el contenido de humedad se establece a través de la curva de retención de agua, la cual es única para cada suelo y resulta fundamental para el estudio del comportamiento mecánico de los suelos no saturados.

Las teorías recientes de la mecánica de suelos no saturados incluyen la succión en el cálculo de la resistencia al corte, la cual se incrementa con el aumento de la succión. Por lo tanto, el incremento de la resistencia al corte con la pérdida de humedad del suelo produce un aumento de la capacidad portante de las cimentaciones superficiales, determinada en forma experimental y analítica por varios autores.

En este artículo se estudia el efecto de las variables climáticas en el proceso de desecación y en el consecuente aumento de la capacidad portante teórica de una cimentación superficial.

Palabras claves: desecación, succión, mecánica de suelos no saturados, capacidad portante.

Abstract

During dry periods, the climatic conditions in the soil-air interface produce an ascendant flux of water vapor, causing the loss of water content of the soil. As the soil loses water content, suction increases; the Soil Water Characteristic Curve that is unique for each soil and is fundamental to study the behavior of unsaturated soils establishes the relation between suction and water content. The recent theories of the unsaturated soil mechanics include suction in the calculus of soil shear strength that increases with suction. Therefore, the increase of the bearing capacity with the loss of soil water content produces an increase of the bearing capacity of the shallow foundations that have been determined experimentally and analytically by various authors. This paper studies the effect of the environmental variables in the process of desiccation and the consequent increase of theoretical bearing capacity of a shallow foundation.

Keywords: desiccation, suction, unsaturated soil mechanics, bearing capacity.

INTRODUCCIÓN

Las condiciones climáticas en la superficie del suelo condicionan los procesos de transferencia de calor y de vapor de agua en su interior. Específicamente, en condiciones secas, el flujo de agua es ascendente y el suelo pierde humedad. Esta pérdida de humedad depende de la cobertura vegetal en la superficie, la interacción con las variables climáticas y la posición del nivel freático.

Los cambios de humedad producen cambios de volumen, principalmente en las arcillas, lo que puede ocasionar asentamientos y afectaciones a estructuras circundantes. Al perder humedad el suelo, la succión matricial aumenta y se produce también un cambio en la resistencia al corte de éste.

Para entender el comportamiento de la deformación y de la resistencia del suelo, especialmente durante los periodos secos, es necesario estudiar el fenómeno de la evaporación. El entendimiento de este proceso permite predecir el cambio en la succión con el tiempo, la cual es una variable de estado responsable de los cambios de resistencia del suelo [1][3].

En el presente artículo se muestran los resultados experimentales sobre evaporación en arcillas, y posteriormente se presenta el efecto de la succión generada por la desecación en la capacidad portante de cimentaciones superficiales.

EFFECTO DE LA DESECACIÓN EN LA RESISTENCIA DEL SUELO

El criterio de falla de Mohr-Coulomb extendido permite incluir en el cálculo de la resistencia al corte el efecto de la succión en los suelos parcialmente saturados [4]. En este criterio se agrega un eje adicional, en el que se incluye la succión matricial; los puntos que se encuentran en el espacio esfuerzo normal, succión y resistencia última pasan por una envolvente de resistencia, la cual puede establecerse en términos de esfuerzos totales o efectivos [5].

En la siguiente figura se muestra la envolvente de resistencia de Mohr-Coulomb extendida en términos de esfuerzos efectivos, donde la pendiente de la curva en el espacio succión y resistencia al corte se indica como φ'_b (figura 1).

La ecuación que permite determinar la resistencia al corte del suelo en términos de esfuerzos efectivos, incluyendo la succión del suelo, se da por la ecuación propuesta por [2]:

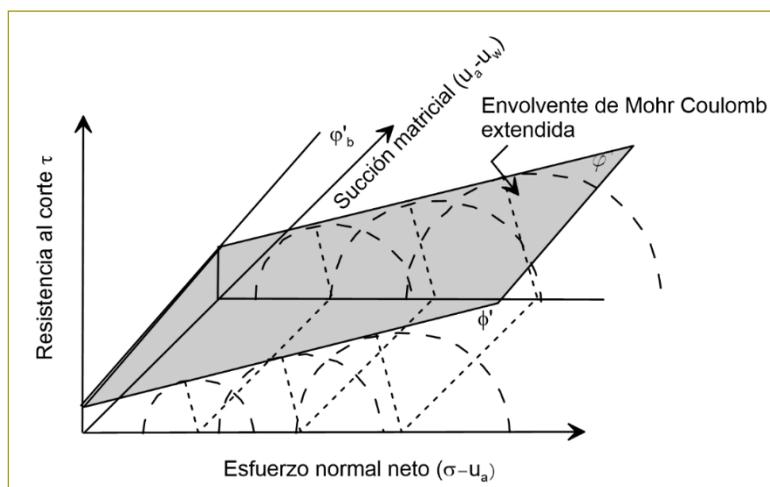


Figura 1. Envolvente de resistencia. Criterio de Mohr-Coulomb extendido. Adaptado de [6].

$$\tau_{ff} = c' + (\sigma_f - u_a)_f \tan \varphi' + (u_a - u_w)_f \tan \varphi^b \quad (1)$$

Donde:

φ' : ángulo de fricción interna.

c' : cohesión efectiva.

φ^b : ángulo de cambio de resistencia al corte con respecto a la succión mátrica.

u_a : presión del aire.

$(u_a - u_w)$: succión matricial.

El criterio de Mohr-Coulomb extendido para la condición saturada da como resultado la ecuación tradicional del criterio de falla de Mohr-Coulomb, donde la resistencia última es:

$$\tau_{ff} = c' + \sigma_f \tan \varphi' \quad (2)$$

EFFECTO DE LA DESECACIÓN EN LA CAPACIDAD PORTANTE DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES

La capacidad portante teórica de cimentaciones superficiales en suelos no saturados ha sido estudiada recientemente por autores como [7], [8]. La ecuación propuesta por [9] es una aproximación planteada en términos de esfuerzos efectivos. Para el análisis de resistencia a corto plazo, la ecuación se expresa de la siguiente manera:

$$q_u = (S_u + (u_a - u_w)_f \tan \varphi_b) N_c \quad (3)$$

Donde S_u es la resistencia al corte no drenado, $(u_a - u_w)_f$ es la succión final tomada de la curva de retención de humedad SWCC, y $N_c = 5,14$ es el factor de capacidad portante.

Otra ecuación que busca una aproximación para calcular la capacidad portante en suelos no saturados para materiales puramente cohesivos es [1]:

$$q_u = \left[\frac{q_{u(\text{unsat})}}{2} \right] \left[1 + 0,2 \left(\frac{B}{L} \right) \right] N_c \quad (4)$$

Donde $q_{u(\text{unsat})}$ es la resistencia máxima obtenida con ensayo de compresión inconfundida, B es el ancho y L es el largo de la zapata.

Las anteriores ecuaciones las han validado experimentalmente los autores mencionados, sobre todo utilizando suelos arenosos; en la actualidad, no existen estudios en suelos puramente cohesivos donde se puedan validar o formular las ecuaciones correspondientes.

ESTUDIO DEL PROCESO DE DESECACIÓN DE UNA MUESTRA DE SUELO USANDO UNA CÁMARA DE SIMULACIÓN CLIMÁTICA

Para determinar la influencia de las variables climáticas en la variación de la succión del suelo, se hicieron ensayos de desecación usando una cámara de simulación climática [10]. Esta cámara permite simular condiciones específicas de humedad relativa, temperatura, velocidad del viento y radiación solar de manera simultánea. Con los resultados de succión obtenidos para cada suelo, posteriormente se realizaron cálculos teóricos del incremento de la capacidad portante utilizando la ecuación (3).

Propiedades hidráulicas del suelo

El material empleado en esta investigación fue arcilla Speswhite, la mineralogía de este suelo corresponde a un caolín y se obtiene en el sur de Londres. Los valores de límite líquido, límite plástico y gravedad específica son 55 %, 32,3 %, y 2,65, respectivamente [11]. Para estudiar el efecto de las condiciones ambientales en la evaporación de agua en el suelo, es necesario caracterizar las propiedades de retención de agua del material.

Esta caracterización se obtiene realizando la curva de retención de agua SWCC, utilizando un potenciómetro de punto de rocío WP4. Para la elaboración del ensayo, el suelo se preparó con un contenido de humedad correspondiente a 1.5 veces el límite líquido. Posteriormente la muestra fue secada al aire libre y mantenida en condiciones herméticas durante 24 horas para garantizar la homogenización del contenido de humedad para luego tomar la medida de succión. Este procedimiento se repitió para diferentes contenidos de humedad. Se determinó el cambio de volumen de la muestra para cada contenido de humedad y se calculó el grado de saturación. La curva de retención de humedad de este suelo se muestra a continuación (figura 2).

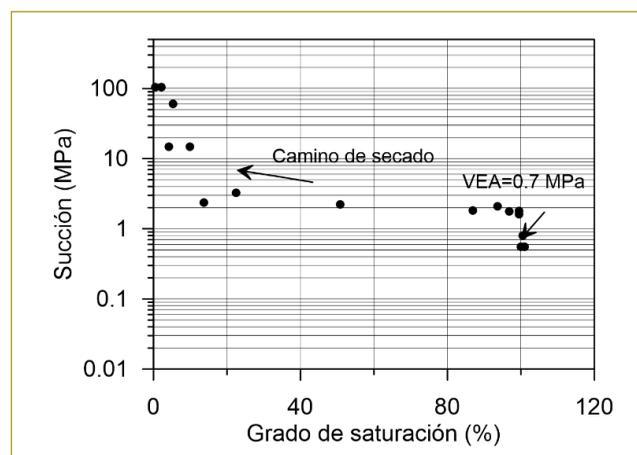


Figura 2. Curva de retención de la arcilla Speswhite.

La ecuación que permite ajustar la curva de retención de humedad del caolín Speswhite, de acuerdo con las formulaciones de Van Genuchten (1980) y Fredlund y Xing (1994), es:

$$w = w_r + \frac{w_s - w_r}{\left\{ \ln \left[e + (\psi / a)^n \right] \right\}^m} \quad (5)$$

Donde w es el contenido de humedad gravimétrico, w_s es el contenido de humedad gravimétrico para el cual el aire comienza a entrar en el suelo, tomado como 0,5, w_r es el contenido de humedad gravimétrico residual tomado como 0,04, e es el número de Euler, ψ es la succión total [kPa] y los parámetros de ajuste son $a = 1,40$, $n = 3,1$, y $m = 1,0$. El valor de entrada de

aire VEA, el cual indica el nivel de succión para el que el aire comienza a entrar en el suelo, es $VEA=0,7$ kPa.

Modelación física de las variables ambientales durante el proceso de secado

Se realizaron tres ensayos de evaporación para muestras de suelo con un espesor de 1 mm ($T1$, $T2$ y $T3$) y un ensayo para una muestra de agua ($T1_w$). Los ensayos se hicieron en un contenedor cuadrado de vidrio dentro de la cámara de simulación climática. El procedimiento experimental consistió en las siguientes etapas:

1. Estabilización de las condiciones ambientales específicas en la cámara climática para cada ensayo durante 30 minutos.
2. Preparación de la muestra de suelo con un contenido de humedad correspondiente a 1,5 veces el límite líquido.
3. Cálculo de la tasa de evaporación potencial para la muestra con agua y tasa de evaporación real para la muestra con suelo. Se ubicó una balanza electrónica en la base del contenedor para medir el peso de la muestra durante el proceso de secado. A lo largo del ensayo se midieron la temperatura del aire y la humedad relativa.

La temperatura del aire se midió a una altura de 100 mm de la superficie del suelo y la humedad relativa del aire se midió a 4 mm desde la superficie del suelo. Estas mediciones se realizaron en el centro del contenedor. La radiación solar se impuso con longitudes de onda pertenecientes al espectro de luz infrarroja utilizando lámparas infrarrojas y la temperatura del agua se registró con una cámara infrarroja. Más adelante se muestran las

especificaciones generales de cada ensayo y las variables ambientales registradas (tabla 1).

RESULTADOS DE LA EVAPORACIÓN DEL AGUA. EVAPORACIÓN POTENCIAL

Dado el acoplamiento de los procesos de transferencia de calor y de flujo de agua en el suelo, producto de las variables ambientales impuestas durante el ensayo de evaporación potencial, se obtiene una tasa de evaporación del agua (figura 3). La tasa de evaporación potencial (EP) se calcula como la primera derivada de la curva de agua evaporada en función del tiempo. En este ensayo la tasa de evaporación potencial corresponde a un valor constante de 14,7 mm/día para las condiciones ambientales mostradas en la tabla siguiente (tabla 1).

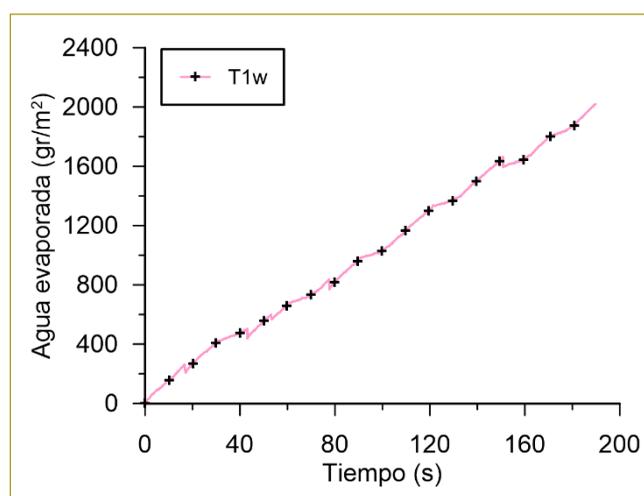


Figura 3. Ensayo de evaporación potencial, $T1_w$. Adaptado de [10].

Tabla 1
Especificaciones de los ensayos

Ensayo	Duración	Radiación	Velocidad del viento	Humedad relativa	Temperatura del agua	Temperatura del aire
	min	W/m ²	m/s	%	°C	°C
$T1_w$ agua	180,0	1040	1,74	34,1	27,3	40,9
$T1$ suelo	211,3	1040	1,74	23,0	37,4	42,0
$T2$ suelo	255,0	0	1,44	37,6	26,6	28,0
$T3$ suelo	327,2	0	1,36	47,2	26,1	27,0

RESULTADOS DE LA EVAPORACIÓN EN MUESTRAS DE ARCILLA. EVAPORACIÓN REAL

La evaporación real del suelo es un proceso mucho más complejo que la evaporación potencial, el cual depende de las condiciones ambientales y de la disponibilidad de agua en la superficie.

El ensayo T1 se realizó con la mayor temperatura y la menor humedad relativa, debido a la imposición de radiación dentro de la cámara por medio de lámparas infrarrojas. El ensayo T3 presenta la mayor humedad relativa y la menor temperatura a causa de la ausencia de radiación solar y la menor velocidad del viento. A renglón seguido se muestra el valor del agua evaporada en el tiempo para los ensayos hechos en arcilla. En estos ensayos la tasa de evaporación es constante al inicio del ensayo y posteriormente disminuye con el tiempo, a medida que el agua se evapora desde la superficie del suelo (figura 4).

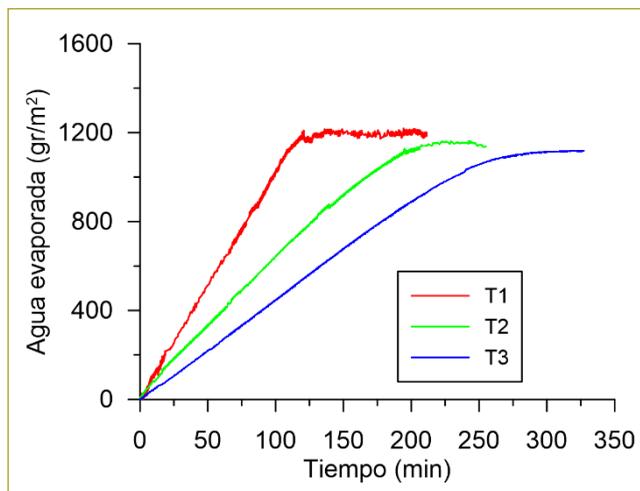


Figura 4. Ensayos de evaporación real. Ensayos T1, T2 y T3. Adaptado de [10].

El contenido de humedad de las muestras de suelo se determinó con el peso de sólidos inicial y el registro del agua evaporada en el tiempo (figura 5). Esto indica una disminución en el contenido de humedad hasta alcanzar un valor de humedad del suelo constante (cerca al valor del contenido de agua residual de la SWCC), lo que señala el final del proceso de evaporación.

Utilizando la ecuación (5), la cual relaciona los valores de humedad gravimétrica con un valor de succión, se determinó el valor de la succión para cada ensayo. Más adelante se muestra que la succión aumenta drásticamente cuando alcanza el valor de entrada de aire

VEA=0,7 kPa, correspondiente a un contenido de humedad de $w = 50 \%$ (figura 6).

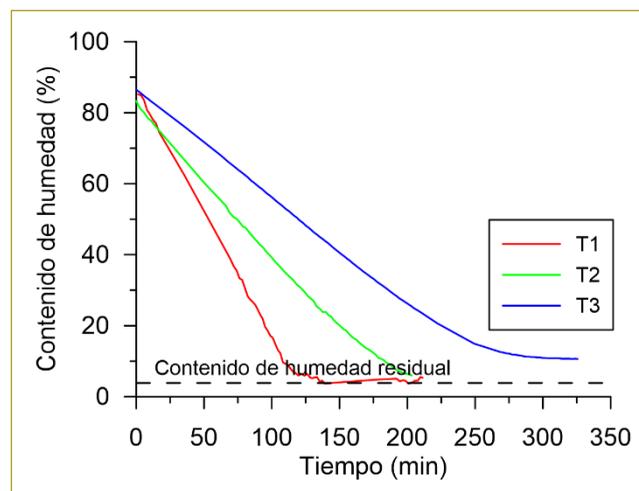


Figura 5. Contenido de humedad. Ensayos T1, T2 y T3. Adaptado de [10].

Los valores de succión del ensayo T1 aumentan mucho más rápido que en los ensayos T2 y T3, debido a las condiciones climáticas extremas. El ensayo T3 tiene el menor incremento de valor de succión con el tiempo debido a las condiciones ambientales aplicadas, principalmente la ausencia de la radiación solar.

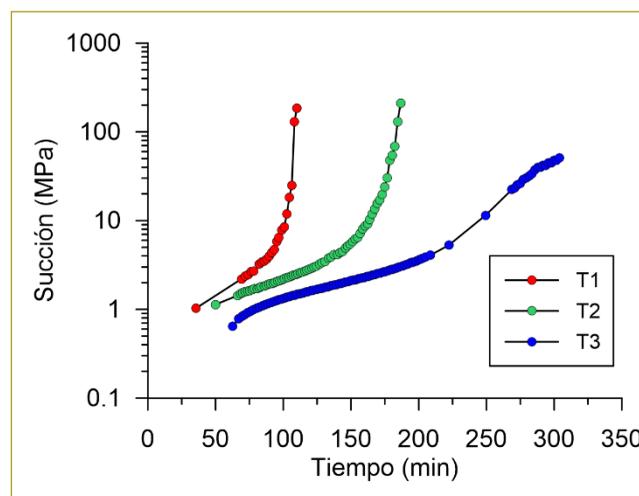


Figura 6. Evolución de la succión del suelo en el tiempo. Ensayos T1, T2 y T3. Adaptado de [10].

Similar al proceso de evaporación potencial (EP), la evaporación real (ER) se calcula como la primera derivada del agua evaporada en función del tiempo. De acuerdo con los resultados experimentales, los cuales

siguen un comportamiento evidenciado también en la bibliografía existente [12], [13], la tasa de evaporación real es constante si la succión es menor que el valor de entrada de aire (VEA). En esta condición, la ER se determinó como 14.64 mm/día, 9,53 mm/día y 6,44 mm/día para los ensayos T1, T2 y T3. La tasa de evaporación real en el ensayo T1 es similar al ensayo T1_m debido a las condiciones climáticas similares en la cámara.

EFFECTO DE LA SUCCIÓN EN LA CAPACIDAD PORTANTE. EJEMPLO DE APLICACIÓN PARA EL SUELO DE ESTUDIO

Para simular el efecto de la succión en la capacidad portante de una cimentación superficial, se hicieron cálculos teóricos de capacidad portante para las muestras de suelo T1, T2 y T3, sometidas al proceso de desecación mencionado anteriormente. Los cálculos se hicieron utilizando la ecuación (3) y se tomó un ángulo de fricción φ_b , el cual se calculó para la arcilla Speswhite a partir de ensayos de corte directo con diferentes contenidos de humedad [14], dando como resultado $\varphi_b = 22,1^\circ$ para $s < 450$ kPa y $\varphi_b = 8,3^\circ$ para $s > 450$ kPa. Según este resultado y con $S_u = 25,2$ kPa para una condición saturada, se obtiene la resistencia última del suelo considerando el efecto de la succión. A continuación se presentan la succión final para cada ensayo y el correspondiente valor de resistencia al corte no drenado (tabla 2).

Tabla 2

Resistencia al corte no drenado teórica para cada ensayo

Ensayo	Succión final	S_u
	kPa	kPa
T1 _{suelo}	3000	462,8
T2 _{suelo}	800	141,9
T3 _{suelo}	20	33,3

Más adelante se muestra la variación de la capacidad portante del suelo con el tiempo para una cimentación superficial cuadrada, $N_c = 5,14$, utilizando la formulación teórica propuesta en la ecuación (3). Así mismo, se evidencia un gran incremento de la capacidad portante en el suelo del ensayo T1 para un tiempo de 100 min, y luego de esto se produce para el ensayo T2 a los 175 minutos y finalmente para el ensayo T3 a los 250 minutos. Lo anterior se debe a la velocidad de desecación a la cual fueron sometidos los ensayos, donde a mayor

tasa de desecación el tiempo en el cual aumenta considerablemente la succión es menor (figura 7).

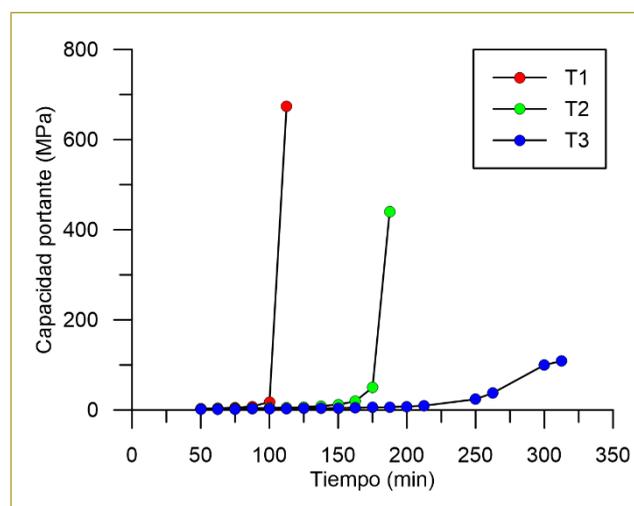


Figura 7. Aumento de la capacidad portante con la succión. Arcilla Speswhite.

CONCLUSIONES

La cámara de simulación climática es una herramienta para la modelación física a escala reducida, la cual permite simular fenómenos como la evaporación potencial y real. De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente artículo, se observa que la tasa de evaporación potencial es controlada por el conjunto de las condiciones climáticas establecidas, como la temperatura del aire, la radiación solar, la velocidad del viento y la humedad relativa. Con respecto a la evaporación real, ésta se controla mediante las variaciones ambientales y por medio de la succión del suelo, la cual es la principal restricción física durante el proceso de evaporación.

Las condiciones ambientales en la atmósfera que simula un proceso de desecación aumentan considerablemente la resistencia del suelo. Esto se debe al aumento de la succión matricial que ocurre al disminuir el grado de saturación. El efecto de la succión se puede incluir en el modelo de Mohr-Coulomb extendido para el caso de los suelos no saturados. Al aplicar este modelo en las teorías clásicas de capacidad portante para una carga en condiciones no drenadas, se puede establecer el aumento de la capacidad portante debido al incremento de la succión. Para los ensayos realizados en este trabajo, el aumento teórico de la resistencia es muy grande y el tiempo en el cual se alcanzan estos valores depende de

la tasa de desecación, alcanzándose en tiempos menores a mayor tasa de desecación.

REFERENCIAS

- [1] Vanapalli, S. & Oh, W. (2019). Mechanics of unsaturated soils for the design of foundation structures, ... *Conf. Eng. Mech. Struct. ...*, pp. 363–377.
- [2] Vanapalli, S.K., Fredlund, D.G., Pufahl, D.E. & Clifton, W. Model for the prediction of shear strength with respect to soil suction, *Canadian Geotechnical Journal*, 33 (3), p. 2.
- [3] Oloo, S., Fredlund, D. & Gan, J.K.-M. (1997). Bearing capacity of unpaved roads, *Can. Geotech. J.* 34, (1981), pp. 398–407.
- [4] Fredlund, D.G. (1979). Second Canadian Geotechnical Colloquium: Appropriate concepts and technology for unsaturated soils. *Can. Geotech. J.*, 16 (1), pp. 121-139.
- [5] Fredlund, D., Morgenstern, N. & Widger, R. (1978). The shear strength of unsaturated soils, *Can. Geotech. Rev. Can.*, 321, pp. 313–321.
- [6] Fredlund, D.G. & Rahardjo, H. (1993). *Soil Mechanics for Unsaturated Soils*.
- [7] Oh, W. T. & Vanapalli, S. K. (2008). *Modelling the Stress versus Settlement Behavior of Model Footings in Saturated and Unsaturated Sandy Soils*, pp. 1-6.
- [8] Vanapalli, S. K. & Mohamed, F. M.O. (2013). Bearing capacity and settlement of footings in unsaturated sands, *Int. J. Geomate*, 5 (1), pp. 595-604.
- [9] Vanapalli, S. & Mohamed, F. (2007). Bearing capacity of model footings in unsaturated soils, *Exp. Unsaturated Soil Mech.* pp. 1-11.
- [10] Lozada, C., Caicedo, B. & Thorel, L. (2018). Physical modelling of atmospheric conditions during drying. *Proceedings of the 9th International Conference on Physical Modelling in Geotechnics*, 1.
- [11] Thorel, L., Ferber, V., Caicedo, B. & K.I.M. (2011). Physical modelling of the wetting-induced collapse of an embankment base, *Géotechnique*, 61 (5), pp. 409-420.
- [12] Wilson, G.W. (1990). *Soil Evaporative Fluxes for Geotechnical Engineering Problems*.
- [13] Wilson, G.W., Fredlund, D.G. & Barbour, S.L. (1994). Coupled soil-atmosphere modelling for soil evaporation, *Can. Geotech. J.*, 31 (2), pp. 151-161.
- [14] Lozada, C., Caicedo, B. & Thorel, L. (2015). Effects of cracks and desiccation on the bearing capacity of soil deposits, *Géotechnique Lett.* 5, (5), pp. 112-117.

CONMEMORACIÓN CENTENARIA JULIO GARAVITO, 1920-2020

Julio Garavito y sus estudios sobre la Luna, en el marco del Año Internacional de la Astronomía (AIA 2009)

JULIO GARAVITO CENTENNIAL COMMEMORATION, 1920-2020

Julio Garavito and his studies about the moon, part of the International Year of Astronomy (IYA 2009)

GABRIEL H. PULIDO CASAS

Profesor distinguido de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

gabrielpulidocasas@gmail.com

Recibido: 14/06/2019 Aceptado: 21/06/2019

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

En este artículo se refleja, parcialmente, el contenido de temas tratados por el autor en presentaciones de abril de 2009 y en el marco de ECIciencia (Expresión del ingenio. Encuentro científico y cultural interuniversitario), evento insignia de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, presentaciones que coincidieron con la activa participación de la Escuela en la celebración del Año Internacional de la Astronomía (AIA 2009).

Se publica ahora, como parte del conjunto de actividades con las cuales la Escuela se suma a las conmemoraciones y homenajes institucionales que se llevarán a cabo con motivo del centenario del fallecimiento de don Julio Garavito Armero, ilustre matemático, ingeniero, profesor y astrónomo colombiano.

En este contexto, se destacan aspectos selectivos relacionados con la astronomía y su importancia como ciencia, con la Luna y con el perfil del Julio Garavito astrónomo y sus trabajos sobre la Luna, en el marco de la celebración centenaria y su coincidencia con los 50 años de la Misión Apolo 11 y la llegada del hombre a la Luna, el 20 de julio de 1969.

Palabras claves: Julio Garavito, astronomía, Apolo 11, Año Internacional de la Astronomía.

Abstract

This article partially shows the content of topics addressed by the author in lectures made in 2009 and in the ECIciencia event, flagship event of Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. These presentations matched the active participation of the institution in the International Year of Astronomy (IYA 2009).

It is now published, as one of the institutional activities that honor one century since the decease of Julio Garavito Armero, recognized Colombian mathematician, professor, and astronomer.

Within this context, we can highlight selected aspects related to astronomy and its importance as a science, with the Moon, and the profile of astronomer Julio Garavito and his works about the Moon, within the centennial celebration and its coincidence with the 50th anniversary of Apollo 11 and the Moon Landing on July 20, 1969.

Keywords: Julio Garavito, astronomy, Apollo 11, International Year of Astronomy.



EL AÑO INTERNACIONAL DE LA ASTRONOMÍA (AIA 2009)

Por iniciativa de la Unión Astronómica Internacional y solicitud formal del gobierno de Italia, en el año 2007 la Organización de las Naciones Unidas (ONU), en su 62 Asamblea General, proclamó el 2009 como el Año Internacional de la Astronomía, para destacar y celebrar aspectos esenciales y cruciales de la astronomía en la historia de la ciencia y de la humanidad.

La Unión Astronómica Internacional, fundada en 1919, es una importante organización que agrupa a varias sociedades astronómicas nacionales. Este órgano de carácter internacional promueve y salvaguarda la ciencia de la astronomía y toma decisiones en ese campo de la ciencia, tales como fijación de estándares, y análisis y denominación de planetas y objetos celestes.

La proclamación de AIA 2009 –y las celebraciones correspondientes– se hizo coincidir explícitamente con los 400 años de haberse realizado las primeras observaciones del firmamento con telescopio, por parte de Galileo Galilei, en 1609. Estas observaciones fueron pioneras en el ámbito de la astronomía, pues se hicieron a partir del instrumento y los lentes diseñados por los neerlandeses para escudriñar el firmamento.



Las observaciones de Galileo pretendían probar la concepción heliocéntrica de Copérnico, centrada en el Sol, publicadas en 1543 dentro de la más acertada comprensión sobre el verdadero orden de los planetas en el sistema solar. Tales observaciones, que incluyeron montañas y cráteres de la Luna, pléyade de estrellas invisibles al ojo humano, fases de Venus, lunas satélites de Júpiter (Ganímedes, Calisto, Ío y Europa), manchas solares, etc., permitieron corroborar el modelo heliocéntrico del sistema solar e iniciar una revolución científica que tuvo un profundo impacto en la concepción del mundo y del universo.

Las celebraciones contempladas dentro del AIA 2009 coincidieron, también, con los 400 años de la publicación de la obra *Astronomía nova*, de Johannes Kepler, y la presentación de las leyes fundamentales de la mecánica celeste, principalmente en cuanto al movimiento planetario y el giro de los planetas alrededor del Sol en órbitas elípticas.

Algunos eventos ya celebrados, análogos a este de la astronomía, han sido el Año Geofísico Internacional, llevado a cabo entre julio de 1957 y diciembre de 1958; el Año Internacional de la Física, realizado en el 2005, y el Año de la Ciencia, en el 2007.

Con la proclamación del AIA 2009 se trató, fundamentalmente, de brindar a los habitantes de la Tierra una oportunidad de conocer más sobre el papel e importancia de la astronomía en la cultura humana, así como de propiciar una plataforma de información acerca de los últimos descubrimientos astronómicos y el rol y trascendencia de la astronomía dentro de la educación en ciencias. Así, por ejemplo, la astrofísica se está proponiendo encontrar mayores explicaciones sobre cómo nacen y evolucionan las galaxias y cuál es la estructura, a gran escala, del universo.

ALGUNOS EVENTOS INTERNACIONALES DE AIA 2009

El mundo, en el marco del Año Internacional de la Astronomía, dio relevancia y respuesta a la iniciativa con variados eventos, tales como realización de cerca de 1500 sobresalientes encuentros sobre astronomía oficialmente organizados en más de 130 países; numerosos enlaces institucionales y portales web de astronomía a lo largo y ancho del mundo; “Fiestas de estrellas”, representadas en centenares de valiosos telescopios repartidos en varios países para facilitar las

observaciones y mostrar las maravillas del cielo; “Horas de astronomía” en todo el planeta, con conexión de grandes observatorios en el globo; “La vuelta al mundo en 80 telescopios”, con un conjunto de transmisiones ininterrumpidas, en directo vía internet, durante 24 horas seguidas desde los telescopios más avanzados del mundo; exposiciones “De la Tierra al universo”, en ciudades como Murcia, en España; concursos fotográficos como “El cielo nocturno del Uruguay”.

La NASA lanzó y puso en el espacio la sonda y telescopio espacial Kepler en la cámara más grande y potente destinada a estos fines, dentro de cuya misión, de tres años y medio, escudriñó el espacio exterior para explorar planetas similares a la Tierra, que pudieran albergar formas de vida. El objetivo consistió en observar y analizar más de 100.000 estrellas similares al Sol dentro de una región de las constelaciones de Cisne y Lira, de la Vía Láctea. Se trató de lograr observaciones a los llamados “exoplanetas”, ya identificados, consistentes en cuerpos rocosos a distancias de sus estrellas que les permitieran mantener agua en forma líquida. Esta misión de observación espacial es considerada como la más osada, desde cuando en 1990 se lanzó el telescopio Hubble.

ALGUNOS EVENTOS NACIONALES

- Alcaldía de Bogotá - AIA 2009
- Programa “El Universo: Para que lo descubran”

La Alcaldía Mayor se manifestó con un interesante y variado conjunto de eventos, que incluyeron el Festival de la Luna en Chía (Asociación de Astrónomos Universidad de los Andes); Día Mundial contra la Contaminación Lumínica; Astronomía al Parque. Observaciones astronómicas en parques distritales y bibliotecas públicas; Programa 100 horas de Astronomía; Semana del Espacio - Universidad Sergio Arboleda, Celebración Satélite Libertad; “Fiesta de estrellas”, desierto de la Tatacoa, Huila; Celebración 40 años de la Misión Apolo 11 en la Luna, 1969-2009; Encuentro Nacional de Astronomía 2009; Expociencia - Expotecnología Corferias, Bogotá; Programa NAWA - Universe Awareness - Explora el Mundo; Programa Planeta de noche - Observación del cielo nocturno - Medida de la contaminación lumínica; Exposiciones fotográficas itinerantes de astronomía 2009. Programa Galileo para profesores; Olimpiadas Nacionales de Cohetería.

EVENTOS AIA 2009 EN LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

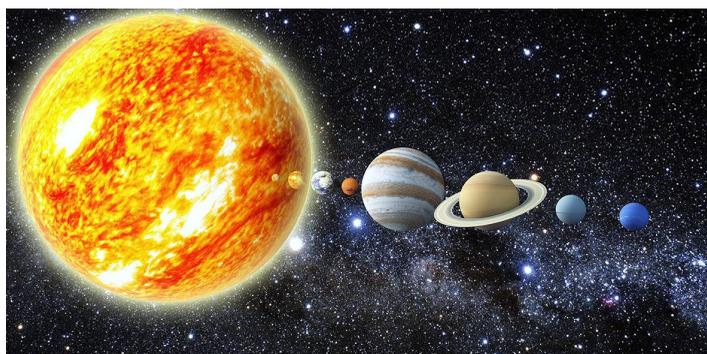
La Escuela, por obvias razones y alrededor de los reconocimientos nacionales e internacionales al ilustre ingeniero colombiano, por sus valiosos aportes a la astronomía, otorgó especial importancia a su participación en la celebración del Año Internacional de la Astronomía (AIA 2009).

Esta participación se produjo a través de un conjunto de actividades desarrolladas dentro y fuera de su campus, dirigidas y coordinadas por el profesor Bernardo Liévano León (q.e.p.d.). Éstas formaron parte de la programación de ECiencia del año 2009, y se destacaron las siguientes:

- Conferencia sobre la vida y obra de Julio Garavito Armero, dictada por el ingeniero Gabriel H. Pulido Casas, profesor de la Escuela, el día 26 de octubre, durante la Semana de la Astronomía, llevada a cabo en el Aula Máxima.
- Observaciones astronómicas dirigidas, en el campus y con disponibilidad de instrumentos para la comunidad de la Escuela.
- Curso semestral de elementos básicos de astronomía, dictado por el ingeniero Bernardo Liévano, en el cual participaron los profesores Gonzalo Jiménez Escobar, Héctor Hernández R., Jaime Isaza y Gabriel H. Pulido Casas, y un estudiante de ingeniería civil. El curso incluyó visitas y observaciones en el Observatorio Astronómico Nacional y en los observatorios de las universidades Nacional, Andes y Sergio Arboleda.
- Visita a la Universidad Sergio Arboleda, institución con la que se mantuvo un convenio de cooperación para actividades relacionadas con la astronomía. Un grupo de profesores de la Escuela participó en la observación nocturna del planeta Marte, dentro del fenómeno y la coyuntura del mayor acercamiento a la Tierra en sus recorridos por órbitas elípticas, que se da aproximadamente en unos 60.000 años.

LA ASTRONOMÍA

Astronomía, locución griega que significa “ley de los astros” o “ciencia que rige las estrellas”. Como ciencia, estudia los astros y los fenómenos celestes. Para ello, combina todas las ciencias aplicadas a la materia, más



allá de la Tierra, y puede considerarse entre las más antiguas y completas de las ciencias a lo largo de la historia de la humanidad y de las civilizaciones.

Al hablar de astronomía, se hace referencia a una importante, compleja y muy antigua ciencia, dedicada al estudio profundo del universo, con investigaciones y observaciones sobre su origen y evolución, formación de los planetas, estrellas satélite y cuerpos que conforman las galaxias, con énfasis en nuestro sistema solar.

La astronomía ha estado íntimamente ligada a los seres humanos desde la más remota antigüedad. Todas las civilizaciones han tenido contactos y desarrollo con esta ciencia y son muchos los personajes que la han cultivado e investigado en profundidad, como Aristóteles, Tales de Mileto, Aristarco de Samos, Claudio Ptolomeo, Nicolás Copérnico, Johannes Kepler, Galileo Galilei, Isaac Newton, Immanuel Kant y Albert Einstein.

Esta ciencia se propone avanzar, cada más y mejor, en el conocimiento sobre el origen, evolución y naturaleza del universo; con esto ha contribuido enormemente al desarrollo tecnológico y a la invención de aplicaciones para muy variados y trascendentes campos, tales como las telecomunicaciones, la navegación marítima y aérea, la meteorología, así como también al desarrollo de campos especializados de la astronomía como la astrometría (posición de los objetos en el firmamento), la astrofísica (física del universo), la cosmología (origen y evolución del universo), ciencia planetaria (estudio de planetas del sistema solar y de los extrasolares), astrobiología (estudio de aparición y evolución de sistemas biológicos en el universo).

La astronomía ha estado en la propia base de las civilizaciones. De la regularidad del movimiento de los astros en el cielo surgieron los calendarios, las primeras leyes físicas y los cimientos de la ciencia. Con los calendarios, el florecimiento de la agricultura, y gracias

a ésta, el surgimiento de los poblados, los primeros inventos, la escritura y la aparición de los imperios. Por sus legados, desde las antiguas civilizaciones hasta los más recientes descubrimientos y desafíos de la modernidad, la astronomía es reconocida como la más antigua y, al mismo tiempo, la más moderna de todas las ciencias.

Las universidades, por obvias razones, se unieron a la celebración enmarcada dentro del Año Internacional de la Astronomía. Casos especiales y sobresalientes en América Latina fueron los de Argentina y México, a los cuales se sumó la Escuela Colombiana de Ingeniería, en el ámbito de ECIciencia del año 2009 y a manera de eco de tan importante llamado. Por lo demás, lo hizo en acto justiciero dentro de esa coyuntura al rendir homenaje a Julio Garavito Armero, personaje cuyo nombre enaltece a esta institución de educación superior fundada hace 47 años.

LA LUNA

La Luna es el único satélite natural del planeta Tierra y por su tamaño es el quinto satélite más grande del sistema solar. Tiene un diámetro de 3474 kilómetros (un cuarto del de la Tierra), está a 384.400 kilómetros de distancia de la Tierra y recorre a su alrededor una órbita elíptica de baja excentricidad. Posee, como la Tierra, movimientos de rotación y traslación, sincronizados con un ciclo de aproximadamente 27,5 días, dentro del cual se dan las cuatro fases lunares: luna nueva, cuarto creciente, luna llena y cuarto menguante.

Su prominencia y luminosidad espectacular en el firmamento, su ciclo regular de fases, los eclipses y muchos otros fenómenos propios de la Luna lo han hecho objeto de especialísima atracción e influencia a lo largo de la historia de la humanidad, sus culturas, tradiciones, mitos y calendarios.

La Luna influye en diversos fenómenos de la superficie terrestre, principalmente en la formación de mareas por atracción gravitacional; las aguas que se encuentran frente a la Luna se elevan y las aguas del lado opuesto permanecen en su nivel normal, dentro de un ciclo de cada doce horas, aproximadamente.

Los eclipses lunares, parciales o totales, como eventos astronómicos, ocurren cuando la Tierra en su recorrido se interpone entre el Sol y la Luna, formando un cono de sombra que oscurece o tapa a esta última.

Galileo fue quien observó la Luna por primera vez, con telescopio, en el año 1609.

El interés de la humanidad y de la ciencia por este satélite terrestre ha originado muchas misiones espaciales, lideradas sobre todo por la NASA y otras importantes agencias, para su estudio y exploración, particularmente a partir de 1958. Han tenido alcances y resultados muy variados, tales como las misiones orbitales no tripuladas, de impacto no tripulado, alunizaje no tripulado, hasta llegar a la Misión Apolo 11, con alunizaje tripulado, caminata, actividad extravehicular en la superficie lunar y extracción de muestras, realizadas el 20 de julio de 1969, y las siguientes misiones Apolo tripuladas.

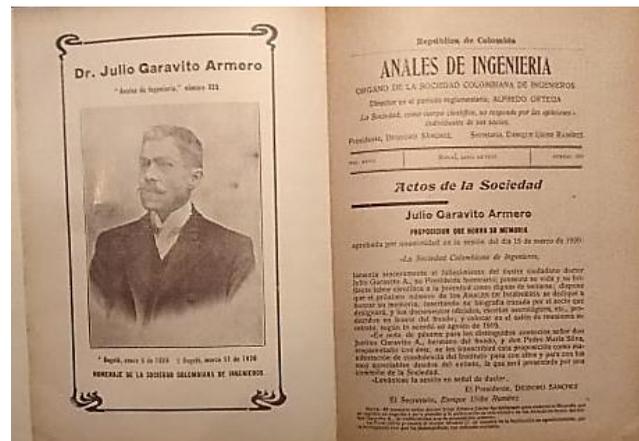
JULIO GARAVITO Y SUS TRABAJOS SOBRE ASTRONOMÍA Y LA LUNA

Dentro del perfil de este ilustre personaje colombiano se han destacado su formación sobresaliente y sus contribuciones, principalmente como matemático, ingeniero, astrónomo, profesor e investigador en estas áreas.

Julio Garavito, luego de obtener sus títulos de matemático e ingeniero civil, en 1891 y 1892, respectivamente, fue nombrado profesor y poco después director del Observatorio Astronómico Nacional, cargo que ejerció durante 27 años, la última mitad de su vida. Ello, de por sí, guarda estrecha relación con su vocación, dedicación, constancia, alcance y profundidad en sus emprendimientos y logros dentro del campo de la astronomía.

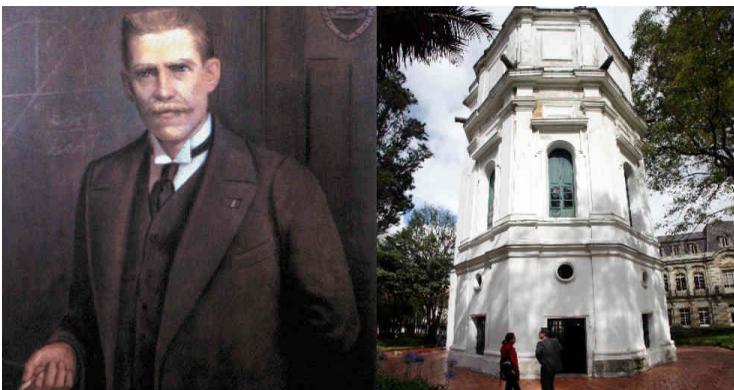
Algunos trabajos de Garavito sobre astronomía

- **Geodesia astronómica.** Desde la Oficina de Longitudes, cuya organización él dirigió, Garavito desarrolló métodos de observación y reducción del



número de observaciones para optimizar el uso y el potencial de los modestos instrumentos entonces disponibles para las correspondientes observaciones astronómicas. En una serie de artículos, muy al inicio de su gestión como director del Observatorio Astronómico, expuso los métodos prácticos propuestos para la latitud y la longitud de cualquier lugar del país, con el fin de adaptar los aplicables a países septentrionales mediante transformaciones a condiciones e instrumentos disponibles en Colombia. Con ello, se propiciaba el avance de trabajos de cartografía prioritariamente requeridos por el país, en especial en la delimitación de algunas de sus fronteras,

- **Observaciones al cometa de 1901.** El 24 de abril de 1901 se pudo ver un cometa en Colombia y Garavito hizo tres observaciones con instrumentos tan precarios como un cronómetro de bolsillo y un teodolito inglés Traughton & Sims, observaciones adicionales con los cálculos de elementos para la determinación de su órbita. Los cálculos se publicaron con una exposición del método de Olbers para una órbita cometaria. Esas observaciones y las logradas más adelante con el cometa de 1901 le sirvieron de base para iniciar una serie de trabajos y exposiciones sobre mecánica celeste dentro del ejercicio de sus cátedras.
- **Observaciones del eclipse total de Sol del 3 de febrero de 1916.** Para lograrlo, Garavito organizó una expedición a Puerto Berrío, patrocinada por el Observatorio Astronómico Nacional –entidad que él dirigía– y acompañado de un distinguido grupo de ingenieros. Para las observaciones, Garavito recurrió a un instrumento ecuatorial dotado de astrógrafo para captar fotografías de la corona solar durante la



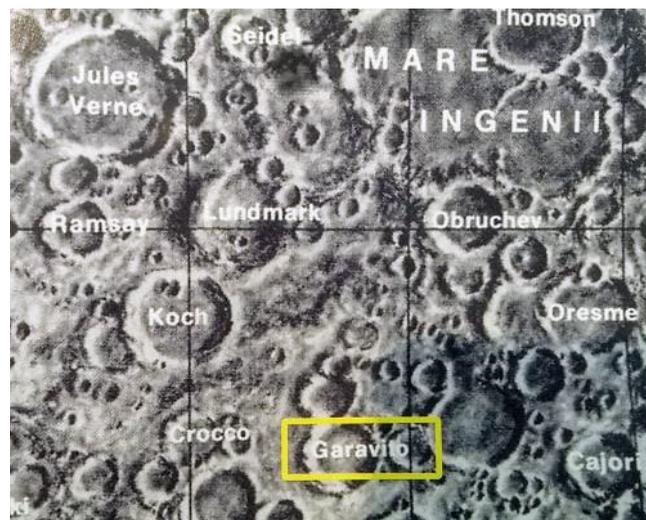


totalidad del fenómeno observado. Una detallada memoria de la observación se publicó en la revista *Anales de Ingeniería*, de la Sociedad Colombiana de Ingenieros, de noviembre y diciembre de 1916.

- **Movimiento de la Luna.** Se considera el trabajo de mayor trascendencia y reconocimiento en los ámbitos nacional e internacional, tanto por lo oportuno como por su naturaleza y aportes, en lo relativo a estudios y observaciones astronómicas del satélite que la ciencia de entonces consideraba trascendental. Se trata, según los expertos, de una de las “grandes tareas de la astronomía matemática”, rematada con su obra cumbre de las tablas de la Luna, apoyada en formulaciones de la mecánica celeste.

Para la época, este trabajo representó una valiosa contribución a un tema que la astronomía abordaba, en lo referente al movimiento y trayectoria de la Luna y la necesidad de contar con elementos de orientación, precisión y seguridad para navegación de altamar. Los estudios pertinentes ofrecían soluciones apropiadas en la medida en que pudieran conocerse con exactitud indicadores sobre su movimiento, posición de las estrellas y posiciones relativas de éstas con la Luna que, junto con otros datos de tiempo de navegación, hora solar local, etc., ofrecían bases para calcular la longitud en medio del océano.

Los estudios de Julio Garavito al respecto, aunque inconclusos, llegaron a tratar el movimiento del nodo de la Luna y fueron conocidos y destacados interna-



cionalmente. Apoyados en la teoría de Hill-Brown y fortalecidos con los propios desarrollos matemáticos de Garavito, al llegar a órdenes superiores de las series aplicadas al caso, permitieron avanzar significativamente en ese campo de investigación.

Como reconocimiento a su formación, dedicación, conocimientos y estudios en astronomía, y principalmente por su dedicación a observaciones y estudios específicos y elaboración de tablas sobre el movimiento de la Luna, la Unión Astronómica Internacional lo exaltó. En honor de su talento y labor científica como astrónomo, en el año 1970 asignó dentro de la nomenclatura lunar el nombre de Garavito a un cráter de impacto de la Luna en el hemisferio sur de la cara oculta. El cráter tiene 80 kilómetros de ancho y está localizado en las coordenadas latitud 48 grados al sur y longitud 157 grados al este. En la actualidad, cinco cráteres llevan los nombres de Garavito, cuatro de los cuales son satélites, identificados como C, D, Q, Y.

REFERENCIAS

- Arias de Greiff, J. (2009). *Julio Garavito, vida y obra*. Medellín: Comfama.
- Duncan, J. (2007). *Astronomía*. Barth, UK: Parragon.
- Duque Escobar, G.
- Wikipedia

Guía metodológica para elaborar estudios básicos orientados a incorporar la gestión del riesgo en la planificación territorial en los suelos urbanos, de expansión urbana y rural, para los fenómenos de inundación, avenidas torrenciales y remoción en masa

Methodological guide for the elaboration of basic studies for risk management incorporation in territorial planning in urban, urban expansion, and rural soils, for flooding phenomena, torrential avenues, and mass removal

GERMÁN CAMILO BELLO ZAPATA¹ - HÉCTOR MATAMOROS RODRÍGUEZ²

1. Ingeniero civil. Estudiante de la maestría en Ingeniería Civil, con énfasis en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

2. Magister en Ingeniería Civil. Profesor asociado de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

german.bello-z@mail.escuelaing.edu.co - hector.matamoros@escuelaing.edu.co

Recibido: 20/06/2019 Aceptado: 28/06/2019

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

El ordenamiento territorial y ambiental en Colombia se enfrenta a múltiples desafíos, desde la interacción de las poblaciones con su entorno, su desarrollo, su calidad de vida, hasta el cumplimiento cabal de las leyes. Este último es el que impone el mayor reto, pues de no cumplirse o incorporarse completamente, el resultado será seguir con el uso de la primera generación de planes de ordenamiento territorial (POT), instrumentos desactualizados y que no representan la dinámica actual. La presente *Guía para la elaboración de estudios básicos para la incorporación de la gestión del riesgo en el ordenamiento territorial* proporciona un conjunto de lineamientos y herramientas para el desarrollo de los contenidos básicos necesarios para articular los procesos de la gestión del riesgo en la revisión o formulación de los POT, orientándolos al conocimiento, reducción y manejo de riesgo futuro, en busca de que las entidades territoriales tomen decisiones para garantizar el desarrollo seguro de sus territorios, con el fin de mejorar su eficacia e integrar estos temas en la planificación del desarrollo, con especial énfasis en las zonas propensas a desastres, sectores vulnerables y grupos poblacionales. Mediante el uso estratégico de la *Guía* se espera mejorar la comprensión de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que enfrentan los municipios en el momento de hacer los estudios básicos, en cuanto a la disponibilidad de información (aspectos físico-bióticos), qué tipo de información buscar y dónde se puede encontrar, así como insumos cartográficos para identificar las variables e información temática que permita desarrollar los estudios básicos y mapas temáticos.

Palabras claves: Plan de Ordenamiento Territorial, urbano, expansión urbana, rural, amenaza, inundación, avenida torrencial, remoción en masa.

Abstract

The Territorial and environmental planning of our territory faces multiple challenges, from the interaction of the populations with their environment, their development, quality of life, to the full compliance of the laws. The latter imposes the greatest challenge, because if it is not completely fulfilled and incorporated, the result will be to continue using the first generation of the Land Ordering Plan (POT in Spanish), whose instruments are outdated and do not represent the current dynamics.

The present Guide for the elaboration of basic studies for risk management incorporation in Territorial Planning, provides a set of guidelines and tools for the development of the basic contents necessary to articulate the processes of Risk Management in the revision and / or formulation of Territorial Plans. This is done to guide plans to the knowledge, reduction, and management of future risks. Therefore, decision-making by the territorial entities will guarantee the safe development of their territories, to improve their effectiveness and integrate these issues while developing plans, emphasizing on disaster-prone areas, vulnerable sectors, and population groups.

Through the strategic use of the Guide, it is expected to improve the understanding of the strengths, opportunities, weaknesses, and threats faced by municipalities at the time of the basic studies, in terms of

the availability of information (physical-biotic aspects), which type of information to find and where to find it, as well as cartographic inputs to identify the variables and key information that allow the development of basic studies and thematic maps.

Keywords: Urban planning, urban, urban expansion, rural, threat, flood, torrential avenue, mass removal.

INTRODUCCIÓN

La incorporación de la prevención y reducción de riesgos en la Planificación del Desarrollo Territorial se viene abordando desde la aplicación de la Ley 9 de 1989, cuando por primera vez se dispuso la obligatoriedad de incluir en los planes de desarrollo acciones concretas para la intervención del territorio, y la definición de responsabilidades y competencias con respecto a la visión de futuro de los municipios, así como desde la promulgación del Decreto Ley 919 de 1989 que ordena a las entidades territoriales incorporar el componente de prevención de desastres en los procesos de planificación territorial, sectorial y de desarrollo.

Adicionalmente, en la Ley 1523 del 4 de abril de 2012 se abordó un nuevo concepto de la gestión del riesgo en cuanto a su incorporación en la inversión pública e integración, desde dos perspectivas: una que asimila este tipo de gestión como condicionante para el uso y ocupación del territorio, y otra en la que la gestión del riesgo es determinante para el ordenamiento territorial municipal.

Teniendo en cuenta este nuevo concepto, con el presente artículo se busca dar los pasos básicos para orientar la incorporación de la gestión del riesgo en la planificación territorial en una forma técnica y adecuada, de conformidad con el Decreto 1807 de 2014, que reglamenta el artículo 189 del Decreto Ley 019 de 2012, en cuanto a las condiciones para la delimitación y zonificación de las áreas de amenaza, en condición de amenaza y en condiciones de riesgo. Su articulación se fundamenta en las etapas que se desarrollan para efectuar los procesos de formulación o revisión de los planes de ordenamiento, mediante acciones de integración dirigidas a fortalecer los procesos de ordenamiento territorial en el país.

El contenido de la guía está dividido en tres partes y un anexo técnico. La primera contiene los aspectos generales, antecedentes, marcos normativo e institucional. La segunda presenta el estudio de cuatro casos de incorporación de la gestión del riesgo, a través de la sistematización de experiencias, que arrojó como resul-

tado conclusiones magníficas, puesto que no importan el tamaño del municipio, ubicación o posibilidad de recursos humanos, técnicos, tecnológicos y económicos; todos, en un alto grado de similitud, tienen las mismas falencias, imposibilitando la actualización de sus planes de ordenamiento y anclando su territorio a un desarrollo desordenado. Esto amenaza su sostenibilidad ambiental y, más grave aún, que su población siga asentada en zonas de riesgo y con una alta posibilidad de desarrollarse en zonas de amenaza.

En la tercera parte se relacionan en detalle las fuentes, escalas e información complementaria que los municipios deben tener en cuenta para la incorporación de la gestión del riesgo. En un principio se podría pensar que esto es obvio en el inicio de las etapas de actualización de los POT, pero es sumamente preocupante –y desconcertante a la vez– que así no sucedan las cosas los municipios no conocen su territorio ni la información que tienen para su correcto desarrollo; aparte de esto, unos pocos consultores aparecen como “salvadores” y se presentan como idóneos en estos temas, y los resultados, tal como se concluye en el ejercicio realizado en la sistematización de experiencias, es que no logran incorporar de manera correcta la gestión del riesgo y mucho menos concertar con las autoridades ambientales sus POT.

El anexo técnico corresponde a un diagrama de flujo, que orienta al usuario en el proceso de incorporación de la gestión del riesgo para suelos urbanos, expansión urbana y rurales, aclarando por supuesto algunos conceptos propios del ordenamiento, que la reglamentación asociada a la gestión del riesgo no contempla, así como normas urbanísticas que deben establecerse en los POT para garantizar que durante su vigencia se cumplan los objetivos en cada uno de los componentes definidos por la Ley 388 de 1997.

METODOLOGÍA

El uso correcto de las herramientas parte de su conocimiento y, por supuesto, de la actualización que éste tiene en particular cuando se refiere a normativa, a continuación se presentan las leyes o decretos que en materia de gestión de riesgo la legislación colombiana tiene vigentes y que, obviamente, es el primer paso para una correcta elaboración de los estudios básicos (tabla 1).

Tabla 1
Normativa en Colombia relacionada con las etapas de la gestión del riesgo

Ley/decreto	Descripción	Vigencia	Etapas de la gestión del riesgo		
			Conocimiento	Reducción	Manejo
Decreto 1547 de 1984	Por medio del cual se crea el Fondo Nacional de Calamidades.	Modificado por el artículo 70 del Decreto 919 de 1989			
Ley 9 de 1989	Ley de reforma urbana, la cual determina los parámetros de planificación y gestión urbana en Colombia. Obliga a incorporar en los planes de desarrollo aspectos de gestión del riesgo para la reubicación de asentamientos en zonas de alto riesgo.	Modificado por la Ley 2 de 1989 y derogado parcialmente por la 388 de 1997.			
Ley 99 de 1993	Ley de medio ambiente, la cual organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y define su articulación con el SNPAD, define la prevención de desastres y las medidas de mitigación como asunto de interés colectivo y de obligatorio cumplimiento. Obliga a las CAR a realizar actividades de análisis, seguimiento, prevención y control de desastres, y a asistir a las autoridades competentes en los aspectos de prevención y atención de emergencias y desastres.	Vigente			
Decreto 2190 de 1995	Por el cual se ordena la elaboración del Plan Nacional de Contingencia contra derrames de hidrocarburos, derivados y sustancias nocivas, en aguas marítimas, fluviales y lacustres. El Decreto 321 de 1999 adopta el Plan Nacional.	Vigente			
Ley 388 de 1997	Ley de ordenamiento territorial, la cual obliga a los todos los municipios del país a formular planes de ordenamiento territorial (POT), teniendo en cuenta la zonificación de amenazas y riesgos.	Vigente			
Decreto 879 de 1998	Por el cual se reglamentan las disposiciones referentes al ordenamiento del territorio municipal y distrital, y a los POT.	Vigente			
Climático - CMNUCC 2001	Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, elabora el primer inventario nacional de gases de efecto invernadero	Vigente			
Decreto 4628 de 2010	Dicta normas para la expropiación por vía administrativa para la atención de la emergencia en casos necesarios.	Vigente			
Decreto 4629 de 2010	Modifica transitoriamente el artículo 45 de la Ley 99 de 1993 y se dictan otras disposiciones para atender la situación de desastre nacional y de emergencia.	Vigente			
Decreto 4673 de 2010	Añade el artículo 38 de la Ley 1333 de 2009 y dicta las disposiciones para atender la situación de desastre nacional, con directrices específicas para las autoridades ambientales.	Vigente			
Decreto 4002 de 2004	Por el cual se establece que teniendo en cuenta razones de excepcional interés público, o de fuerza mayor o caso fortuito, el alcalde municipal o distrital podrá iniciar el proceso de revisión del plan, las cuáles serán la declaratoria de desastre o calamidad pública, y por los resultados de estudios técnicos detallados sobre amenazas, riesgos y vulnerabilidad que justifiquen la recalificación de áreas de riesgo no mitigable y otras condiciones de restricción diferentes de las inicialmente adoptadas en el POT.	Vigente			
Decreto 4147 de 2011	Crea la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. Promueve articulación de los sistemas nacionales de planeación, bomberos, ambiente, gestión del riesgo y ciencia y tecnología.	Vigente			
Decreto Ley 019 de 2012 Antitrámite	Artículo 189. Incorporar la gestión del riesgo en la revisión de los planes de ordenamiento territorial.	Vigente			
Ley 1523 de 2012	Por la cual se adopta la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones.	Vigente			
Decreto 1807 de 2014	Por el cual se reglamenta el artículo 189 del Decreto Ley 019 de 2012 en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial y se dictan otras disposiciones.	Vigente			
Decreto 308 de 2016	Adopción del Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres 2015-2025, el cual tiene como objetivo orientar las acciones del Estado y de la sociedad civil en cuanto al conocimiento, reducción y manejo de desastres en cumplimiento de la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, que contribuyan a la seguridad, bienestar y calidad de vida de las personas y el desarrollo sostenible del territorio nacional.	Vigente			

Fuente: Elaboración propia, complementada y ajustada a partir de la *Guía metodológica para incorporar la prevención y la reducción de riesgos en los procesos de ordenamiento territorial*. Plan Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres, Gobernación del departamento de Córdoba.

Una vez que se reconocen las leyes y decretos que nos rigen para la incorporación de la gestión del riesgo, es mucho más efectivo buscar la información que debemos tener en cuenta para dar inicio a la correcta incorporación de éste.

Así mismo, es de suma importancia conocer procesos similares y documentarse, sin caer en procesos de un simple copiado, pues las condiciones de cada territorio varían en un alto grado y mucho más para un departamento como el que compone el territorio de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR); a continuación se presenta un resumen de las lecciones aprendidas, en especial de los desaciertos y aspectos positivos evidenciados durante el proceso que llevan a cabo cuatro municipios ante la autoridad ambiental: Quebradanegra, Gachancipá, Albán y La Peña (tabla 2).

De la revisión realizada, que fue factor de decisión para proponer esta metodología, se evidencia que se tenían las mismas dificultades en el momento de la incorporación de la gestión del riesgo en la actualización de los POT y, por supuesto, lo sucedido con el municipio de La Peña, que ni siquiera utiliza los estudios e insumos entregados por la corporación, lo que permitiría concluir de manera anticipada que definitivamente no existe conocimiento de lo importante que es planificar el territorio.

Lograr la correcta incorporación de la gestión del riesgo en la actualización de los POT no es una simple acción concreta, sino un proceso que comprende un marco lógico y conocimiento mismo del territorio en suelos urbanos, expansión urbana y rurales; el planteamiento para cada uno de ellos se resume a continuación (figuras 1 y 2).

Los aspectos más relevantes en la incorporación de los estudios básicos se describen a continuación:

Paso 1: Análisis de la información existente.

Antes de abordar un camino complejo y que resultara en situaciones como las descritas en la sistematización de experiencias valoradas, es necesario hacer un diagnóstico de la información de que disponemos y las escalas en las cuales ésta se encuentra, pues para suelos urbanos y de expansión urbana se requiere que esté a escala 1:5000 y para suelos rurales a 1:25.000.

Cabe destacar en este paso que los procesos de avenida torrencial deben trabajarse e incorporarse a escala 1:2000, en la totalidad del suelo urbano y de expansión,

y para el suelo rural en los sectores de alta potencialidad de presencia de este fenómeno; por eso es muy importante que quien lidere este proceso conozca el territorio.

Paso 2: Estudio de cada fenómeno. Las variables para el estudio de cada uno de los fenómenos son muy particulares, por lo que su estudio deben hacerlo preferentemente especialistas independientes; de esta manera se conforma un grupo interdisciplinario que permite lograr resultados óptimos.

Para el caso del fenómeno de inundación en suelos rurales y para territorios de gran superficie, la normativa permite hacer uso de estudios e insumos a escalas de 1:50.000 o incluso 1:100.000.

Paso 3: Zonificación de la amenaza. En este paso, y con los resultados que se obtienen de la clasificación de ésta en alta, media y baja, se puede garantizar una correcta incorporación de la gestión del riesgo, pues la cartografía que se elabora será fundamental para realizar los cruces con el modelo de ocupación existente del territorio.

Paso 4: Cruces cartográficos. Una vez definidas las zonas de amenaza, nos concentraremos únicamente en las clasificadas como alta y media; de igual manera, debemos tener claro dentro del modelo de ocupación vigente los suelos urbanos, expansión urbana, rurales suburbanos y centros poblados que no se han desarrollado; éstos serán considerados como polígonos con condición de amenaza y se deberán delimitar mediante sistemas coordenados, para poder habilitar su posterior desarrollo por medio de licencias urbanísticas o de parcelación, siempre que se cuente con estudios de detalle.

Para zonas clasificadas como amenaza alta y que ya se encuentren desarrolladas o que tengan dentro de esta zona infraestructura vial, equipamientos comunales o servicios públicos, se configuran como zonas con condición de riesgo y también se deben delimitar y ser de inmediata intervención con estudio de detalle, para definir si el riesgo configurado es mitigable o no; en el caso de suelos urbanos o de expansión urbana, deberán adoptarse medidas complementarias, como el cambio de uso del suelo o restringir densidad de ocupación.

Paso 5: Incorporación de los estudios. Ya definidas las zonas con condición de amenaza y de riesgo, y con los soportes del cabal cumplimiento de lo establecido para los estudios básicos, éstos se incorporarán en el documento técnico de soporte DTS, del proceso de actualización, o formulación del POT.

Tabla 2
Sistematización de experiencias en municipios de Cundinamarca

Municipio	Desiertos	Aspectos positivos
Quebradanegra	El mapa de pendientes no tiene una categorización adecuada ni acorde con lo dispuesto en la metodología presentada.	Participación de la comunidad y delegados de la administración municipal en la gestión del riesgo de desastres participando en el taller "Conocimiento y planificación de la incorporación del riesgo y cambio climático en los POT-Determinantes Ambientales", convocado por la autoridad ambiental.
	Hace falta una leyenda temática, que describa las unidades de manera cualitativa de los planos de geología y geomorfología.	El municipio cuenta con los estudios producto del convenio con la gobernación de Cundinamarca, los cuales brindan los insumos básicos para adelantar los estudios de riesgo.
	Aparte de los estudios presentados, faltan la delimitación y la zonificación de las áreas de amenaza para uso del suelo urbano, suelo rural y suelo de expansión urbana, según las escalas establecidas por el Decreto 1807 del 19 de septiembre de 2014, así como las áreas en condición de amenaza.	El municipio cuenta con información cartográfica base sobre las amenazas y las vulnerabilidades existentes en el territorio, como insumo para posteriormente elaborar los mapas temáticos.
	En los mapas de zonificación por movimientos en masa, no se categorizan en la leyenda el grado de amenaza en alta, media o baja.	Se ha generado interés y conciencia sobre las amenazas presentes en el municipio y sobre la necesidad y posibilidad de reducirlas.
		Se tienen identificadas las variables e información temática (pendientes, geología, geomorfología, fenómenos de remoción en masa, suelos, formaciones superficiales, fallas, entre las principales). Esta información es útil para todas las evaluaciones de amenaza y se usa dependiendo de la metodología que se va a implementar y el evento que se esté analizando, ya sea remoción en masa, inundación o avenida torrencial.
Gachancipá	No se tiene claridad entre las escalas de trabajo y las escalas de salida gráfica de la información presentada para los tres tipos de suelo: rural, urbano y expansión.	El municipio cuenta con información cartográfica base sobre las amenazas y las vulnerabilidades existentes en el territorio, como insumo para posteriormente elaborar los mapas temáticos.
	Se presenta un mapa de pendientes para los estudios de área urbana con escala de los estudios del área rural, el cual para este tipo de suelo deber ser de mayor detalle.	Se hizo asistencia técnica por parte del grupo de gestión del riesgo de la corporación para explicar los alcances de la normativa vigente y se le informa sobre el proceso de revisión de los estudios allegados.
	No se presentan estudios para centros poblados o áreas de expansión urbana. Tampoco hay claridad en los estudios sobre la existencia o no de estas áreas.	Se ha generado interés y conciencia sobre las amenazas presentes en el municipio y sobre la necesidad y posibilidad de reducirlas.
	No se hizo zonificación de amenaza para el resto de fuentes hídricas presentes en el municipio, sólo se tomó en cuenta el río Bogotá.	Se tienen identificadas las variables e información temática (pendientes, geología, geomorfología, fenómenos de remoción en masa, suelos, formaciones superficiales, fallas, entre las principales). Esta información es útil para todas las evaluaciones de amenaza y se usa dependiendo de la metodología que se va a implementar y el evento que se esté analizando, ya sea remoción en masa, inundación o avenida torrencial.
	La zonificación de amenaza por inundación para el área urbana debe ser a escala 1:5000 y no se evidencia en los estudios entregados.	Se tomó como insumo la información de los estudios del Pomca del río Bogotá para la amenaza por inundación.
	No se generaron estudios por el fenómeno de avenida torrencial, lo cual no se sustenta con claridad en el documento técnico.	
Albán	Los estudios presentados para el componente urbano no corresponden a análisis de amenazas sino a susceptibilidad. La cartografía presentada es sobre susceptibilidad y no corresponde a lo querido por la normativa.	El municipio tiene todo el interés en incorporar el componente de gestión del riesgo en la revisión general de su esquema de ordenamiento.
	No hay delimitación de áreas en condición de amenaza, para ninguno de los eventos.	De acuerdo con la información suministrada en la formulación de sus estudios, el municipio cuenta con la distribución espacial de los fenómenos amenazantes en su territorio.
		En los estudios presentados se evidencia que cuentan con los insumos de variables o información temática (pendientes, geología, geomorfología, fenómenos de remoción en masa, suelos, formaciones superficiales, fallas, entre las principales). Esta información es útil para todas las evaluaciones de amenaza y se usa dependiendo de la metodología que se va a implementar y el evento que se esté analizando, ya sea remoción en masa, inundación o flujos torrenciales.
		El municipio cuenta con cartografía base en la que se esquematiza la topografía, los ríos, las quebradas, el perímetro urbano y las principales vías del municipio.
La Peña	No hay zonificación de áreas en amenaza ni zonificación de áreas en condición de amenaza, como lo nombra en el documento técnico.	El municipio cuenta con información cartográfica base sobre las amenazas y las vulnerabilidades existentes en el territorio, como insumo para posteriormente elaborar los mapas temáticos.
	En el documento de soporte técnico no se evidencia la determinación de medidas de intervención orientadas a establecer restricciones y condicionamientos de las áreas amenazadas por algún tipo de evento.	Se hizo asistencia técnica por parte del grupo de gestión del riesgo de la corporación para explicar los alcances de la normativa vigente y se le informa sobre el proceso de revisión de los estudios allegados.
	No hay evidencia de inventarios por procesos en remoción en masa que ayuden como insumo a la zonificación de este fenómeno.	El municipio cuenta con cartografía base en la que se esquematiza la topografía, los ríos, las quebradas, el perímetro urbano y las principales vías del municipio.
	No se hace uso de estudios que le entregó la corporación para complementar o articular la información que tiene el municipio para realizar los estudios básicos que permitan tener un conocimiento de las amenazas presentes en el territorio.	

Fuente: Elaboración propia derivada del análisis de los informes técnicos, CAR, C. A. (2016). Informe técnico N.º 346 de 20 de octubre de 2016. Informe EOT, municipio de La Peña (Cundinamarca). Bogotá, D.C., Cundinamarca-CAR, C. A. (2016). Informe técnico N.º 119 del 20 de mayo de 2016. Concepto de riesgo para la revisión EOT, municipio de Albán. Bogotá, D.C., Cundinamarca-CAR, C. A. (2016). Informe técnico N.º 354 del 18 de noviembre de 2016. Concepto de riesgo para revisión EOT, municipio de Quebradanegra. Bogotá, D.C., Cundinamarca-CAR, C. A. (2017). Informe técnico DGOAT N.º 0145 del 12 de junio de 2017. Concepto de riesgo para revisión EOT, municipio de Gachancipá. Bogotá, D.C.

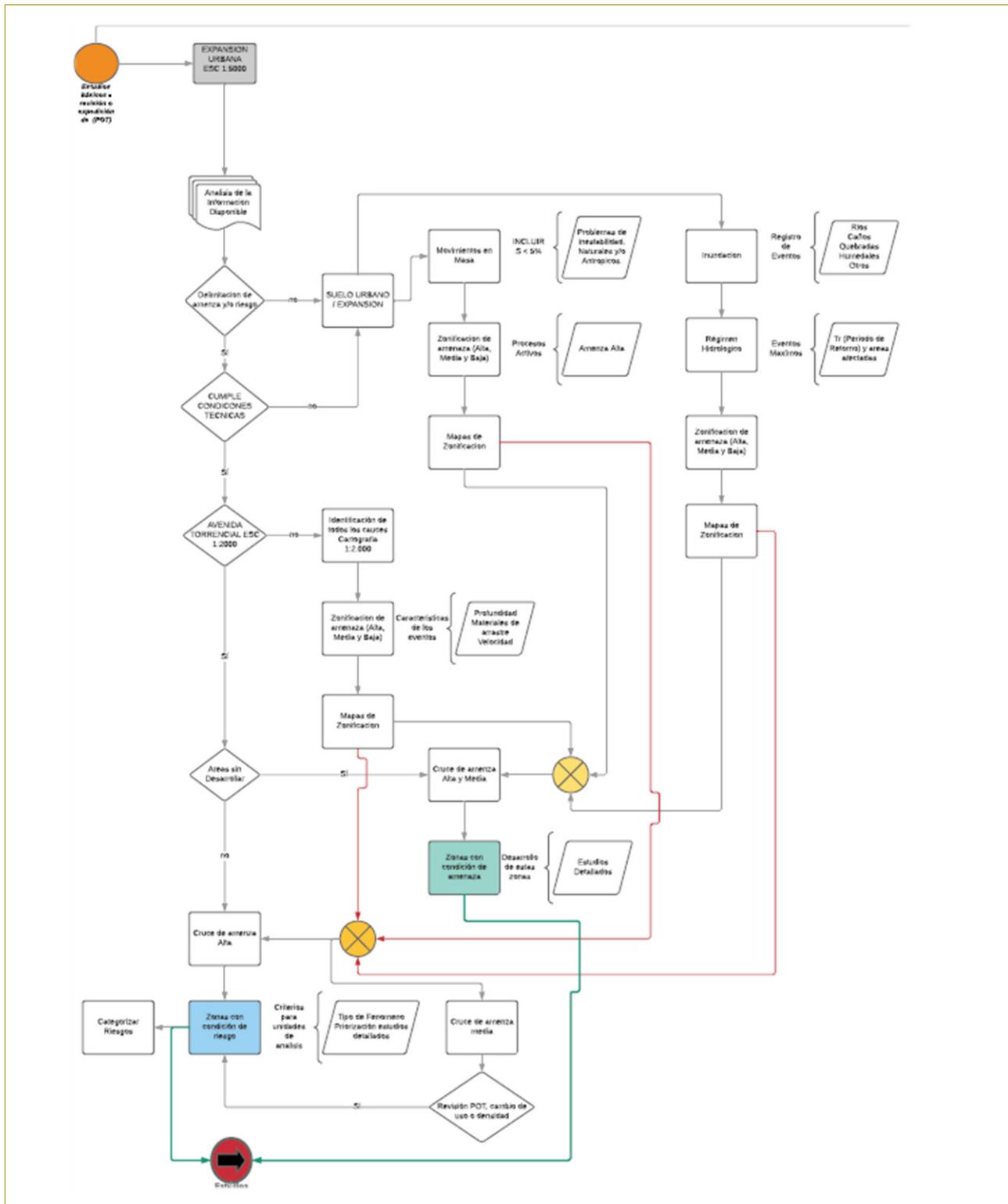


Figura 1. Diagrama de flujo. Incorporación de estudios básicos de riesgo para suelo urbano y de expansión urbana.

Su correcta incorporación deberá realizarse en los tres componentes que conforman el POT: componente general, urbano y rural. Esto permitirá, mediante normas urbanísticas para el desarrollo del suelo, cumplir con la mitigación tanto de la amenaza como del riesgo; adicionalmente, se deberán definir los programas y proyectos en el marco del programa de ejecución del POT, para garantizar los recursos durante su vigencia que es de tres periodos constitucionales. Así se podrá garantizar un desarrollo realmente sostenible del territorio y con una correcta ocupación de éste.

CONCLUSIONES

- Se diseñó una guía metodología para la inclusión de la gestión del riesgo dentro de los planes de ordenamiento territorial, en la que se describen los procesos metodológicos, tablas y fichas que facilitarán la organización y adecuada búsqueda de los insumos y demás contenidos que deben tenerse en cuenta en la incorporación de la gestión del riesgo en la actualización de los POT.
- Como resultados del proceso propuesto se tendrán las zonas de riesgo o áreas críticas, donde la población no debe asentarse ni desarrollar actividades que incrementen el riesgo de desastres.
- La cartografía resultante de este proceso permite obtener información fiable sobre la amenaza y el riesgo que presenta el municipio, lo que es de gran utilidad tanto en la fase de planificación de grandes obras públicas como en su fase de ejecución, al igual que la hora de adoptar las oportunas medidas de prevención, mitigación y corrección.
- Una de las grandes limitantes en los ámbitos local, regional y nacional para la mayoría de los municipios es que los recursos asignados para hacer estudios de amenaza y riesgo son escasos.
- En la formulación de los planes de ordenamiento, los contenidos, políticas, programas y proyectos se deben enfocar en la incorporación de las amenazas y el riesgo como determinantes para el uso y la ocupación de las áreas en amenaza; en este contexto, los resultados de los análisis de amenaza y riesgo se convierten en elementos indispensables para lograr dicho objetivo.
- Como consecuencia de la implementación de la metodología de sistematización de experiencias se pudieron determinar los aciertos y también las falencias en que incurrieron los cuatro municipios analizados en el momento de realizar el proceso de incorporación de la gestión del riesgo, las cuales fueron determinantes para la formulación metodológica de la guía.
- Como resultado de la sistematización de las experiencias de los cuatro estudios de caso en el municipio de Cundinamarca, se pueden evidenciar las falencias al incorporar los estudios básicos de gestión del riesgo en la revisión de los ordenamientos, en cuanto a dónde buscar la información, a qué entidades acudir y el desconocimiento de la información que hay que solicitar.
- Es importante que desde el gobierno nacional se preste más atención a las realidades de los municipios y departamentos, antes que seguir actualizando normas; así mismo, hay que procurar que los esfuerzos y recursos se direccionen de manera efectiva y no por un mero cumplimiento de entidades de orden estatal.
- El uso de herramientas tecnológicas es fundamental en el mundo de hoy, pero deben potenciarse aquellas de código libre para que todos los municipios tengan la posibilidad de iniciar su proceso de actualización de los POT, teniendo en cuenta que más del 80 % de los municipios de Cundinamarca son categorías V y VI, por lo que sus presupuestos son escasos.

REFERENCIAS

- Cundinamarca-CAR, C. A. (2016). Informe técnico N.º 346 del 20 de octubre. Informe EOT, municipio de La Peña (Cundinamarca). Bogotá, D.C.
- Cundinamarca-CAR, C. A. (2016). Informe técnico N.º 119 del 20 de mayo. Concepto de riesgo para la revisión EOT, municipio de Albán. Bogotá, D.C.
- Cundinamarca-CAR, C. A. (2016). Informe técnico N.º 354 del 18 de noviembre. Concepto de riesgo para revisión EOT, municipio de Quebradanegra. Bogotá, D.C.
- Cundinamarca-CAR, C. A. (2017). Informe técnico DGOAT N.º 0145 del 12 de junio. Concepto de riesgo para la revisión EOT, municipio de Gachancipá. Bogotá, D.C.
- Decreto 879, "Por el cual se reglamentan las disposiciones referentes al ordenamiento del territorio municipal y distrital y a los planes de ordenamiento territorial" (Ministerio de Desarrollo Económico, 13 de mayo de 1998).
- Ley 388 de 1197 de ordenamiento territorial (Congreso de la República, 18 de julio de 1997).
- Decreto 1807 de 2014, "Por el cual se reglamenta el artículo 189 del Decreto Ley 019 de 2012 en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial y se dictan otras disposiciones".

Obtención de carbón activado a partir de tusa de maíz y evaluación de su eficiencia en el tratamiento de aguas residuales de la industria lechera

Activated coal retrieval from corn cobs and its efficiency assessment in treating wastewater from the dairy industry

JENNY PAOLA CHAVES CONTRERAS¹ - MARÍA PAULINA VILLEGAS DE BRIGARD²

1. Magíster en Ingeniería Civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

2. Magíster en Ciencias y Técnicas del Agua. Profesora titular de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

jenny.chaves-c@mail.escuelaing.edu.co - maria.villegas@escuelaing.edu.co

Recibido: 20/06/2019 Aceptado: 28/06/2019

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista

Resumen

En Colombia se generan actualmente alrededor de 11,6 millones de toneladas de residuos sólidos al año¹, de los cuales podría aprovecharse entre el 40 y 80 %; sin embargo, el porcentaje de reciclaje y aprovechamiento es aún muy bajo. Por otra parte, las fuentes hídricas son incapaces, por sí mismas, de absorber y neutralizar la elevada carga contaminante de las aguas residuales de la industria; por eso se busca constantemente la optimización de los procesos de tratamiento para remover o reducir los contaminantes. En el presente trabajo se evalúa el uso de carbón activado –obtenido a partir de tusa de maíz– en el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea, a escala de laboratorio. Para tal fin, se emplearon tres tipos de carbón: un carbón artesanal de tusa de maíz, elaborado en laboratorio, y dos comerciales –uno de origen mineral y otro de origen vegetal–. Se hicieron ensayos de cocheda mediante un aparato de jarras, manteniendo una agitación constante a lo largo de cada ensayo. La eficiencia del tratamiento se evaluó a través de análisis físicos y químicos. Los resultados obtenidos mostraron remociones adecuadas de materia orgánica con el carbón de tusa y el carbón mineral, lo cual los convierte en una opción para el tratamiento de aguas residuales. Con el carbón de tusa se lograron remociones similares a las del carbón mineral, lo que demuestra que la tusa de maíz es una posible fuente de elaboración de carbón activado.

Palabras claves: aguas residuales, tratamiento de agua, industria láctea, carbón activado, tusa de mazorca .

Abstract

Colombia generates around 11.6 million tons of solid waste a year, between 40% and 80% can be repurposed; however, recycling and repurposing percentages are still low. On the other hand, hydric sources are unable, on their own, to absorb and neutralize the high polluting load coming from industries' wastewater; as a result, there is a constant search for optimized treatment processes, either to remove or to reduce contaminants.

In this paper, the use of activated coal is assessed – retrieved from corn cobs- in treating wastewater from the dairy industry, at the lab scale. To this end, three types of coal were used: one obtained from corn cobs (laboratory made) and two commercial versions (one mineral and the other vegetal). Casting tests were made through a jar device, keeping a constant stirring throughout each test. Treatment efficiency was assessed through physical and chemical analyses. Obtained results showed adequate organic matter removal with corn-cob coal and mineral coal, which turns them into an option to treat wastewater. Corn-cob coal showed similar results to mineral coal, showing that corn cobs are a possible source to produce activated coal.

Keywords: wastewater, water treatment, dairy industry, activated coal, corn cob:

1. Departamento Nacional de Planeación (DNP).

INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales provienen de casi todas las actividades humanas realizadas con agua y sus niveles de contaminación crecen, al igual que la demanda de agua en el mundo. El problema principal de las aguas residuales es su vertimiento en el medio ambiente sin un adecuado tratamiento; la falta de manejo de otras aguas genera daños en el medio ambiente y en la salud humana, por lo que resulta indispensable la búsqueda continua de soluciones para su control.

La industria láctea genera gran cantidad de aguas residuales, concentrando en éstas la mayor cantidad de contaminantes originados en sus procesos. En Colombia se estima una generación anual de casi 14.000 millones de litros de aguas residuales industriales sólo para la producción de leche procesada (Minagricultura, 2016).

En varios estudios realizados a escala mundial se demuestra la viabilidad técnica de usar carbón activado como método de tratamiento de aguas residuales. El carbón activado se presenta como una alternativa viable para el tratamiento de aguas residuales mediante el proceso de adsorción debido a sus propiedades físicas, tales como un área superficial específica muy grande y microporosidad elevada. Según Rouquerol, el término “carbón activado” se refiere a carbones muy porosos producidos a partir de materiales ricos en carbono, mediante diversas formas de activación química o física (José Carriazo, 2010).

Prácticamente, cualquier material orgánico con proporciones elevadas de carbono podría ser apto para transformarlo en carbón activado. Los carbones activados industrialmente pueden provenir de cortezas de almendras, cáscara de coco, turba, petróleo, brea, palmeras u otras maderas, y carbón mineral. Los factores que se deben tener en cuenta para elegir un material de partida adecuado son buena disponibilidad y bajo costo.

En Penang (Malasia), Foo et al. evaluaron la cinética del carbón activado elaborado con semillas de tamarindo y demostraron la viabilidad técnica para el empleo de este tipo de carbón en la remoción de materia orgánica. En otro estudio, liderado por Velásquez, se indicó que se puede obtener carbón activado de las cáscaras de coco llevando a cabo un proceso físico-químico. Estos proyectos demuestran que a partir de residuos orgánicos se puede producir carbón activado mediante procesos físicos y químicos, y que sus propiedades permiten remover materia orgánica.

La tusa del maíz es un residuo que no representa ningún valor para los cultivadores, por lo cual generalmente se quema a cielo abierto, convirtiéndose en un problema de contaminación del aire. Esta situación, aunada a los esfuerzos por reducir los residuos generados por la actividad humana, lleva a buscar una solución para el aprovechamiento de la tusa; una solución es la producción de carbón activado.

Para establecer la eficiencia del carbón de tusa en la remoción de materia orgánica se realizaron ensayos con éste y otros dos tipos de carbón activado, con el fin de tratar un agua residual de la industria lechera.

La ejecución de este proyecto es un aporte novedoso a los estudios de tratamiento de aguas residuales, puesto que contribuye con resultados experimentales al análisis de la viabilidad técnica de aprovechar un residuo, como la tusa de mazorca, y de utilizar carbón activado en el tratamiento de las aguas residuales de la industria lechera.

RESULTADOS

La eficiencia del carbón obtenido se evaluó comparándolo con dos carbones comerciales, uno de origen mineral y otro vegetal, aplicados sobre muestras de agua residual de la industria lechera, con diferentes dosis y diferentes tiempos de contacto. La eficiencia del tratamiento se estableció a partir de la remoción de parámetros como el color, la DBO, la DQO y los sólidos totales y suspendidos.

El carbón vegetal comercial no presentó buenos resultados en ninguno de los ensayos, por lo cual se descartó y no se incluyen sus resultados.

Obtención de carbón activado

El carbón activado de tusa de maíz se obtuvo mediante un proceso físico de secado para reducir la humedad, carbonización a temperatura superior a 500 °C y activación a temperatura superior a 900 °C en presencia de vapor de agua. La granulometría promedio del carbón obtenido se presenta más adelante (tabla 1).

Absorbancia

La absorbancia se determinó a través de las muestras a tres longitudes de onda diferentes: 436, 525 y 620 nm.

Igualmente, se presentan los resultados obtenidos a una longitud de onda de 525 nm. El comportamiento en el tiempo, para las otras dos longitudes de onda, es similar (figura 1).

Tabla 1
Granulometría del carbón de tusa

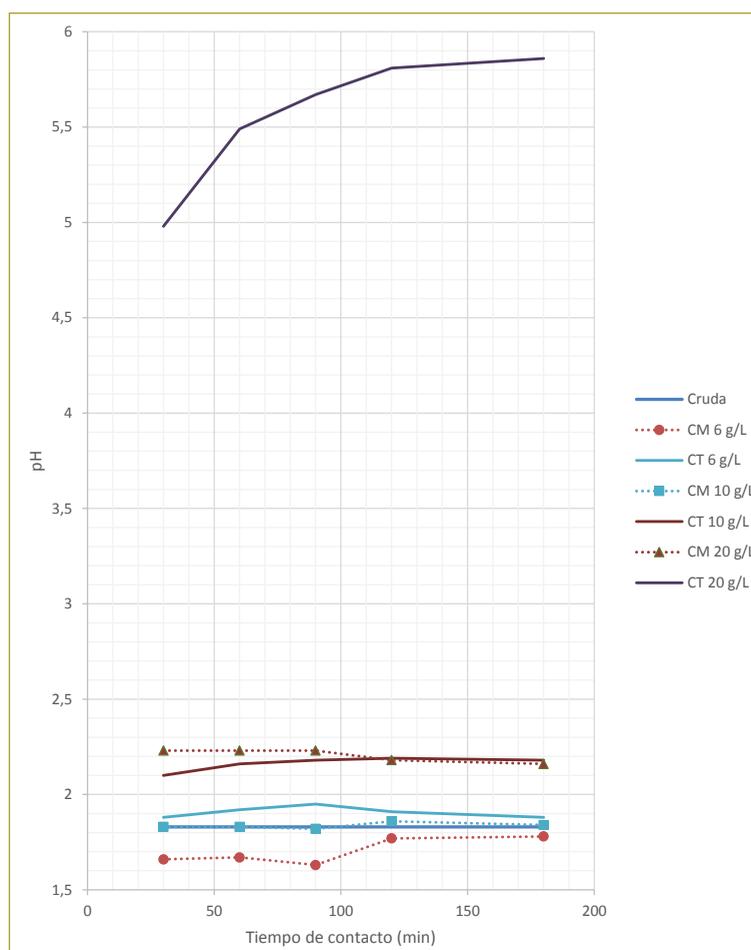
Malla N.º	% de carbón retenido	% de carbón que pasa
20	0,0	100,0
40	10,9	89,1
50	6,1	83,0
60	5,7	77,3
80	6,6	70,7
100	35,7	35,0
200	26,5	8,5

Por cada kilogramo de tusa de maíz se obtuvieron 120 g de carbón activado.

Se puede observar que las dosis de 20 g/L de carbón de tusa, y 10 y 20 g/L de carbón mineral, logran una reducción significativa de absorbancia, incluso con tiempos de contacto de 30 minutos.

pH

El comportamiento del pH a lo largo de los ensayos se puede observar a continuación (figura 2).



CM: carbón mineral; CT: carbón de tusa.

Figura 2. Comportamiento del pH.

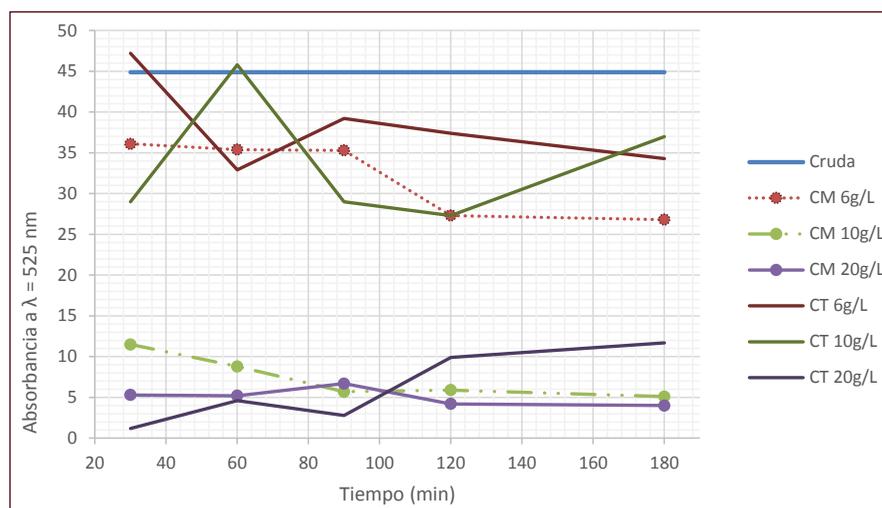


Figura 1. Comportamiento de la absorbancia/m a $\lambda = 525$ nm.

Se puede observar una ligera variación en el pH para las diferentes dosis, con excepción de la de 20 g/L de carbón de tusa, en la que aumentó considerablemente.

DQO

La remoción de materia orgánica, medida a través de la DQO, se determinó sobre muestras tratadas con dosis de 20 g/L, tanto para el carbón mineral como para el carbón de tusa, con tiempos de contacto de 30 y 180 minutos². A renglón seguido se presentan las eficiencias de remoción obtenidas (tabla 2).

Tabla 2
Remoción de DQO

Tipo de carbón usado	Tiempo de contacto (min)	DQO (mg/L)	Eficiencia de remoción (%)
Agua residual cruda	--	4660	---
Carbón de tusa	30	3107	33,3
Carbón mineral		2330	50,0
Carbón de tusa	180	777	83,3
Carbón mineral		1553	66,7

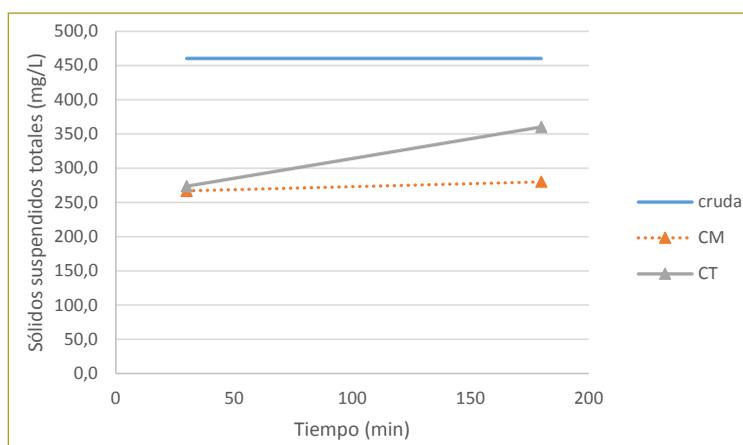
A mayor tiempo de contacto se obtienen mejores porcentajes de reducción, tanto para el carbón de tusa como para el carbón mineral

Sólidos suspendidos

En las figuras siguientes se presentan los resultados de los sólidos suspendidos totales y volátiles, correspondientes a dosis de 20 mg/L de carbón activado y tiempos de contacto de 30 y 180 minutos (figuras 3 y 4).

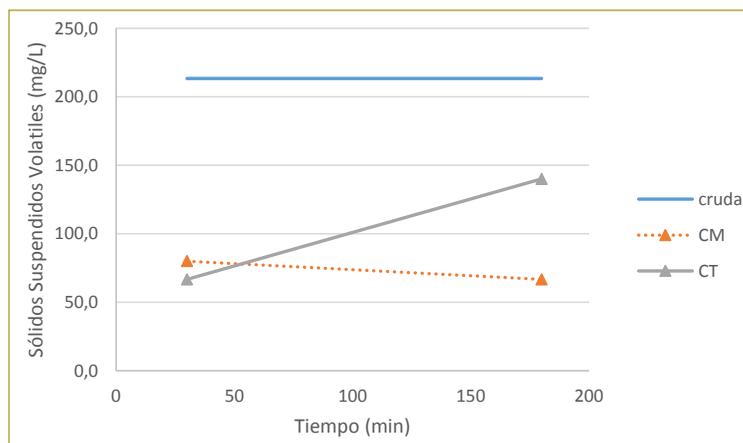
Así mismo, se resumen los resultados obtenidos al tratar el agua residual de la industria lechera con los dos tipos de carbón activado, con dosis de 20 g/L y tiempo de contacto de 180 minutos (tabla 3).

2. De los resultados de color obtenidos, se escogieron las dos mejores dosis para hacer los análisis de remoción de materia orgánica presente en la muestra.



CM: carbón mineral; CT: carbón de tusa.

Figura 3. Comportamiento de los sólidos suspendidos totales.



CM: carbón mineral; CT: carbón de tusa.

Figura 4. Comportamiento de los sólidos suspendidos volátiles.

CONCLUSIONES

- El carbón activado obtenido a partir de la tusa de maíz demostró una buena remoción de materia orgánica medida en términos de DQO, con dosis de 20 g/L y tiempo de contacto de 180 minutos.
- La tusa de maíz es considerada un desecho; sin embargo, se evidenció que es una posible fuente para elaboración de carbón activado mediante activación física, así como un recurso de bajo costo para la industria que fabrica carbones activados.
- La metodología usada en la elaboración y activación del carbón a partir de tusa de maíz es técnica y económicamente viable.

Tabla 3
Resultados generales

Parámetro	Agua residual cruda	Agua residual tratada		Eficiencia	
		Carbón de tusa	Carbón mineral	Carbón de tusa (%)	Carbón mineral (%)
DQO (mg/L)	4660	777	1553	83	67
SST (mg/L)	460	360	280	22	39
SSV (mg/L)	213	180	140	16	34
Color (absorbancia)	$\lambda = 436$	49,8	12,7	4	74
	$\lambda = 525$	44,9	11,7	4	74
	$\lambda = 620$	42,3	10,9	4.1	74

- Se puede estudiar el comportamiento del carbón activado con dosis mayores para analizar su comportamiento y posibilidad de disminuir los tiempos de contacto.
- Es necesario continuar evaluando la influencia del carbón activado en la variación del pH
- La recuperación y regeneración del carbón activado utilizado, de ser un proceso viable, permitirá disminuir los costos de operación del sistema de adsorción empleado.
- Los resultados obtenidos sugieren que el carbón activado obtenido de la tusa de maíz, al igual que otros carbones activados, puede ser una alternativa de tratamiento de diversos tipos de aguas residuales industriales. Se requiere entonces continuar la experimentación, evaluando además otros parámetros en las aguas tratadas con carbón activado.

REFERENCIAS

Alfa Laval (1990). Manual de industrias lácteas (2.ª ed.). Madrid. Almodena (10 de 4 de 2014). *Twenergy*. Recuperado el 27 de abril de 2019, de *El tratamiento de aguas residuales en Colombia*: <https://twenergy.com/co/a/el-tratamiento-de-aguas-residuales-en-colombia-1142>.

Arango, Á., & Garcés, L. (2007). *Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea. Producción + Limpia*. Recuperado el 15 de febrero de 2019, de http://www.lasallista.edu.co/fxcu/media/pdf/revistalimpia/vol2n2/pl_v2n2_23-30_electrocoagulaci%C3%B3n.pdf

Bañón, H. (2017). *Diseño de un sistema de adsorción en carbón activado para la eliminación de cromo hexavalente en disolución acuosa*. Valencia.

Buenano Dávalos, M. (2016). *Propuesta de una planta de tratamiento de aguas residuales de una empresa envasadora de leche del cantón Rumiñahui, para que cumpla con la norma técnica ambiental*. Quito.

Carbotecnica (2004). *El carbón activado en el tratamiento de aguas residuales*. Jalisco, México.

Condorchem Envitech (s.f.). *Tratamiento de aguas residuales, efluentes, y aire al servicio del medio ambiente*. Recuperado el 13 de febrero de 2019, de *Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea*: <https://blog.condorchem.com/tratamiento-de-aguas-residuales-de-la-industria-lactea/>.

DANE (2013). *Cuenta Satélite Piloto de la Agroindustria (CSPA): Maíz, sorgo y soya y su primer nivel de transformación, 2005-2009*.

Dietrich, Z. V. (1999). *Proyecto de café*. Costa Rica.

Fernández-Alba, García, L., García, R., Valiño, D., Fernández, V., & García, S. (2006). *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*. Madrid: Elecé Industria Gráfica.

Foo, K. L. (2013). Preparation of tamarind fruit seed activated carbon by microwave heating for the adsorptive treatment of landfill leachate: A laboratory column evaluation. *Bioresource Technology*, 599-605.

Foo, K., Lee, L., & Hameed, B. (s.f.). Preparation of tamarind fruit seed activated carbon by microwave heating for the adsorptive treatment of landfill leachate: A laboratory column evaluation. Penang, Malasia.

Franceschi & Guerra (2015). Estudio de agotamiento de columnas de carbón activado granular usadas para el manejo de un lixiviado previamente tratado mediante procesos de oxidación avanzada. Cartagena: Universidad de Cartagena.

García, E., & López, P. (2016). *Curso interactivo de tratamiento de aguas residuales*. Recuperado el 2 de 4 de 2019, de *Aguas residuales*. Composición: http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf.

GEDAR. (s.f.). *Opciones de tratamiento de aguas residuales mediante carbón activo*. Recuperado el 28 de 4 de 2019, de https://www.gedar.com/PDF/Industrial/GEDAR-Carbon_Activo_Aguas_Residuales.pdf.

Grisales, A., & Rojas, W. (2016). *Obtención de carbón activado a partir de activación química de pulpa de café y su aplicación en la remoción de colorantes en aguas residuales industriales*. Pereira.

Carriazo, J. (2010). Propiedades adsorptivas de un carbón activado y determinación de la ecuación de Langmuir empleando materiales de bajo costo, pp. 224-229.

Lizarazo, J., & Orjuela, M. (2013). *Sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia*. Recuperado el 15 de

febrero de 2019, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/11112/1/marthaisabelorjuela2013.pdf>.

Martín Martínez, J. (1999). *Adsorción física de gases y vapores por carbones*. Alicante, España: Espagrafic.

Niño, I., & Ortiz, D. (2006). *Evaluación de dos clases de carbón activado granular para su aplicación efectiva en la remoción de fenoles en los vertimientos de una empresa de jabones*.

Proexport Colombia (2011). *Sector lácteo en Colombia*. Recuperado el 12 de febrero de 2019, de <http://portugalcolombia.com/media/Perfil-Lacteo-Colombia.pdf>.

Ramírez, Martínez & Fernández (2013). Remoción de contaminantes en aguas residuales industriales empleando carbón activado de pino pátula. *Avances. Investigación en Ingeniería*, 10, 42-49.

Rodríguez Pimentel, H. (13 de marzo de 2017). *Agua*. Recuperado el 12 de mayo de 2018, de *Las aguas residuales y sus efectos contaminantes*: <https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>.

Santana, A. (19 de enero de 2018). Perspectivas del sector lácteo para 2018. *CONtextogadero*.

Universidad de Sevilla (s.f.). *Elaguapotable*. Recuperado el 12 de febrero de 2019, de *Manual del carbón activo*: <http://www.elaguapotable.com/Manual%20del%20carb%C3%B3n%20activo.pdf>.

Velásquez, J. (2007). Obtención de carbón activado a partir de cáscara de coco pretratada con vapor. *Investigaciones Aplicadas*, 1-5.

Remoción de DQO en un efluente de la industria de alimentos mediante un proceso Foto Fenton

COD removal in an effluent from the food industry through a Foto-Fenton process

KATHERINE ANDREA ARROYO VANEGAS¹ - JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS²

1. Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Ingeniería Ambiental, de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

2. Ingeniero civil. MEEE. Profesor titular de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

katherine.arroyo@mail.escuelaing.edu.co - jairo.romero@escuelaing.edu.co

Recibido: 206/06/2019 Aceptado: 28/06/2019

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

Desarrollar alternativas de tratamiento que proporcionen efluentes de calidad para reúso, al tiempo que ayuden a remover sustancias tóxicas o recalcitrantes, se ha convertido en uno de los principales objetivos de los procesos de oxidación avanzada (POA).

Se evaluó en el laboratorio un POA tipo Foto Fenton, el cual se basa en el empleo de iones de hierro y peróxido de hidrogeno expuestos a radiación UV, para dar lugar a la formación de radicales hidroxilo (OH⁻), que tienen la capacidad de oxidar diferentes contaminantes orgánicos e inorgánicos.

El proceso se aplicó al efluente de una industria de alimentos para evaluar la remoción de DQO. Se logró un porcentaje máximo de remoción de DQO del 80 % y se estableció que las condiciones óptimas del tratamiento se obtienen con una relación molar H₂O₂:Fe⁺⁺ de 31:1, para un tiempo de radiación de dos horas y media a un pH de 3 (Arroyo Vanegas, 2019).

Palabras claves: oxidación avanzada, Foto-Fenton, agua residual industrial, DQO.

Abstract

Developing treatment alternatives that provide quality effluents for future uses, where toxic or recalcitrant substances are removed has become one of the main objectives of the Advanced Oxidation Processes (AOP).

A Photo-Fenton type AOP was evaluated at the laboratory level, which is based on the use of iron ions and hydrogen peroxide exposed to UV radiation, to give rise to the formation of hydroxyl radicals (OH⁻) that have the capacity of oxidizing different organic and inorganic contaminants.

The process was applied to the effluent of a food industry to evaluate the removal of COD. A maximum percentage of COD removal of 80% was achieved and it was established that the optimal treatment conditions are obtained with a molar ratio H₂O₂:Fe⁺⁺ of 31: 1, for a radiation time of two and a half hours at a pH of 3 .

Keywords: advanced oxidation, Photo-Fenton, industrial wastewater, COD.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo industrial y el crecimiento poblacional que se vive actualmente han llevado a un aumento en la demanda de agua potable como insumo principal para el desarrollo de cualquier actividad, lo que trae como consecuencia el incremento en la generación de aguas residuales domésticas e industriales, las cuales, en su mayoría, no cuentan con un proceso de tratamiento que proporcione remoción completa de microcontaminantes orgánicos e inorgánicos.

Garantizar el acceso a agua potable, como un recurso necesario para todas las actividades humanas, es uno de los objetivos de desarrollo sostenible del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, donde evidenciaron una disminución en la disponibilidad de agua potable a escala mundial. Con el fin de contribuir a resolver este problema se deben desarrollar soluciones y tecnologías que logren proveer agua limpia y saneamiento para todos.

La carga contaminante vertida actualmente en las fuentes hídricas, resultado de los usos doméstico e industrial del agua, ha repercutido en tal disminución. Contaminantes orgánicos e inorgánicos, metales pesados, microorganismos, sustancias recalcitrantes difíciles de remover, han sido detectadas en los últimos tiempos en las aguas. Dichos contaminantes no se pueden degradar por medio de los procesos biológicos convencionales de aguas residuales, lo que ha llevado a buscar nuevas opciones de tratamiento que logren producir efluentes cada vez de mejor calidad.

PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA

Los procesos de oxidación avanzada (POA) se han implementado como una solución para tratamiento de aguas residuales con alta estabilidad química o de baja biodegradabilidad, que hacen difícil su tratamiento por métodos convencionales (Poyatos et al., 2010). En los POA, los compuestos orgánicos se pueden mineralizar completamente a dióxido de carbono y agua, por los radicales hidroxilo (OH[•]), agente oxidante muy poderoso generado *in situ* en el ambiente de reacción.

A continuación se presentan algunas de las ventajas y desventajas del proceso Foto Fenton (tabla 1).

Tabla 1

Ventajas y desventajas del proceso Foto Fenton
(Rosales Hernández, 2014)

Ventajas	Desventajas
*La irradiación de la luz UV aumenta la degradación respecto al proceso Fenton.	*Se debe desarrollar en un medio ácido con pH cercano a 3, requiriendo un ajuste en el pH del contaminante.
*Los reactivos empleados son de fácil consecución y menor costo frente a otros POA.	*Se necesitan dosis altas de peróxido de hidrógeno.
*Se tiene la posibilidad de disminuir el consumo energético, si se utiliza radiación solar.	*Producción de lodos con una alta carga de hierro.
*Tiene la capacidad de degradar contaminantes de difícil degradación.	

Variables de influencia en el proceso Foto Fenton.

- **pH:** Uno de los principales factores que intervienen en el proceso Foto Fenton es el pH; un pH ácido favorece la reacción, mejorando la eficiencia del proceso. El potencial de oxidación de los radicales hidroxilo disminuye con un incremento del pH desde $E_0=2,8$ V a $E_{14}=1,96$ V (Kim & Vogelpohl, 1998). La producción de radicales hidroxilo es mayor en un rango de pH entre 2 y 4, debido a que la regeneración del H₂O₂ también incrementa la tasa de reacción (Sedlak & Andren, 1991). Investigaciones han demostrado que valores de pH iniciales entre 2,5 y 3,5 resultan óptimos para la degradación del residuo (Umar, Aziz & Yusoff, 2010).
- **Dosis de hierro:** Generalmente, un aumento en la dosis de hierro incrementa el porcentaje de remoción de DQO, sin embargo, según Pérez et al. (2002), un exceso de iones de hierro inhibe el proceso de degradación fotoquímica, debido a que este exceso compite con los compuestos orgánicos por los radicales hidroxilo. Adicionalmente, excesos en la dosis de hierro producen mayor cantidad de lodos y aumento de sólidos disueltos totales y de conductividad (Gogate & Pandit, 2004). Esto se refleja en la turbidez marrón que se presenta e inhibe la radiación UV, causando la recombinación de radicales hidroxilo (Umar et al., 2010).
- **Dosis de peróxido de hidrógeno:** Obtener una dosis adecuada de oxidante durante el proceso re-

sulta de gran importancia, tomando en cuenta que una disminución en la dosis de H_2O_2 no produciría la suficiente cantidad de radicales hidroxilo para lograr la completa degradación; por el contrario, un aumento en la dosis de H_2O_2 logra incrementar el porcentaje de degradación (Deng & Englehardt, 2006). Sin embargo, un exceso de este reactivo resulta en la flotación de lodos de hierro o disminución en la sedimentación del lodo debido a la liberación de gases de O_2 en respuesta a la autodescomposición del H_2O_2 (Kim et al., 2001). Por otra parte, un residual de peróxido de hidrógeno contribuye con DQO en el efluente.

- **Temperatura:** A partir de varias investigaciones se ha encontrado que la temperatura tiene un efecto positivo en el tratamiento, pero la disminución de los compuestos orgánicos debido a la temperatura es relativamente pequeña comparada con otros factores. Investigaciones demostraron un aumento en la remoción de DQO con el incremento de la temperatura (Umar et al., 2010). A pesar de esto, cuando la temperatura se incrementa por encima de 40 a 50 °C la eficiencia decrece, debido a que se acelera la descomposición del peróxido de hidrógeno en oxígeno y agua. Para dosis de H_2O_2 que superen los 10 a 20 g/L, se debe controlar la temperatura por cuestiones de seguridad (Rosales Hernández, 2014).
- **DQO inicial:** Estudios han demostrado que, aunque el porcentaje de remoción es alto cuando la DQO inicial es baja, la cantidad de eliminación de DQO es mayor en valores iniciales altos de DQO. Esto se refleja en un estudio realizado en 2010, en el que para una DQO inicial de 743 y 93 mg/L, se obtuvo una remoción de 231 y 57 mg/L, respectivamente (Umar et al., 2010).
- **Tiempo de reacción:** El tiempo óptimo para la reacción dependerá básicamente de la dosis de H_2O_2 ; el punto para el cual se consume la totalidad de oxidante en la reacción se denomina el tiempo final (Lin & Chang, 2000). En la mayoría de las investigaciones se han empleado tiempos típicos entre 60 y 300 minutos, encontrándose un óptimo alrededor de las 2 horas. No obstante, según el tipo de residuo y de carga contaminante, estos tiempos pueden variar.

Todo lo anterior demuestra que la dosis óptima y las condiciones de tratamiento se deben determinar experimentalmente.

METODOLOGÍA

Muestra

La muestra analizada proviene del vertimiento de la planta de producción de bebidas del Grupo Gloria Colombia, ubicado en el municipio de Simijaca.

Los valores de DQO iniciales para las cuatro muestras empleadas corresponden a 1782 mg/L - O_2 para las muestras 1 y 2; y 2220 mg/L - O_2 y 3171 mg/L - O_2 para las muestras 3 y 4, respectivamente.

Condiciones de ensayo y materiales

Para la dosificación inicial de peróxido de hidrógeno se seleccionó una relación H_2O_2 :DQO de 3:1 (Rosales Hernández, 2014; Zapata, 2010). Teniendo en cuenta que la dosis de oxidante es función de la DQO inicial, y que a partir de los resultados presentados en la caracterización no se logra establecer un comportamiento uniforme de este parámetro, se hacen los ensayos para las cuatro muestras en forma independiente. Se varía la dosis del oxidante y se mantiene la dosis de catalizador, conservando siempre relaciones molares de H_2O_2 : Fe^{++} de 9, 13, 22 y 31. Los tiempos de irradiación aplicados son de 1, 2,5 y 5 horas.

Los ensayos se realizaron por cochada, en un reactor de vidrio, con cuatro litros de muestra, que se mantuvo en agitación constante usando barras magnéticas (figura 1).

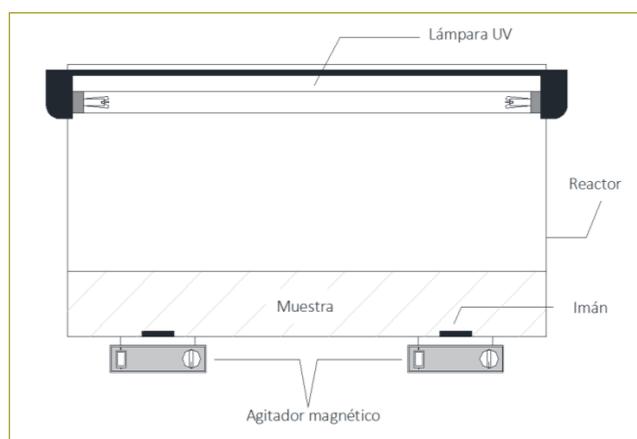


Figura 1. Montaje experimental de proceso de oxidación.

El proceso de oxidación incluye los siguientes pasos:

1. Determinación de la DQO inicial de la muestra.
2. Ajuste a pH 3 con ácido sulfúrico (H_2SO_4 - 1N), según la necesidad.
3. Adición de la dosis de catalizador, sulfato de hierro sólido ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ de Merck), hasta completar disolución.
4. Adición de la dosis de peróxido de hidrógeno (H_2O_2 - 30 %).
5. Una vez añadido el peróxido de hidrógeno se enciende la lámpara germicida de luz UV (254 nm) de 15 W, aplicando la luz UV hasta las cinco horas.
6. Para los tiempos de irradiación definidos inicialmente 1, 2,5 y 5 horas, se toma una muestra para hacer el análisis de DQO, por duplicado.

RESULTADOS

A renglón seguido se resumen las condiciones óptimas de tratamiento encontradas para las muestras 1, 2 y 3. (tabla 2)

Tabla 2
Resultados de remoción de DQO muestras

Muestra	Remoción DQO (%)	Relación $\text{H}_2\text{O}_2:\text{Fe}^{++}$	Tiempo de radiación (min)
1	80	31:1	150
2	78,9	22:1	300
3	71,5	31:1	300

Para evaluar la influencia de la relación molar en el proceso, se determinaron los porcentajes de remoción para relaciones molares de $\text{H}_2\text{O}_2:\text{Fe}^{++}$ de 9, 13, 22 y 31 para los mismos tiempos de radiación de 1, 2,5 y 5 horas. Los porcentajes de remoción de DQO se presentan más adelante (figuras 2, 3 y 4).

Como se puede observar, en general se logra una mayor remoción de DQO con una relación mayor de $\text{H}_2\text{O}_2:\text{Fe}^{++}$; aunque para la muestra 2 la mayor remoción se obtiene para una relación molar $\text{H}_2\text{O}_2:\text{Fe}^{++}$ de 22 (figuras 2, 3 y 4).

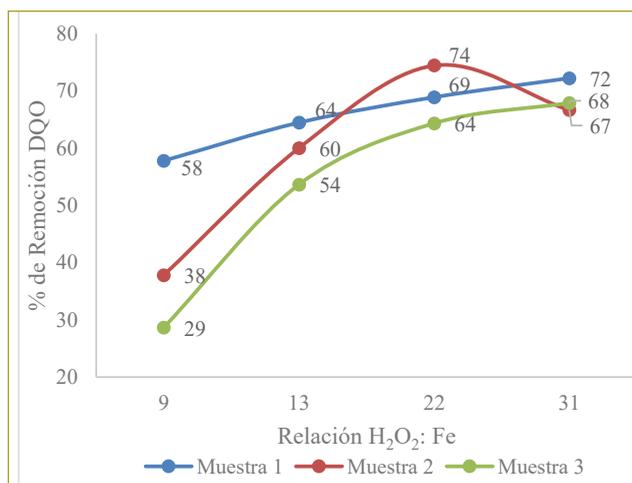


Figura 2. Porcentaje de remoción de DQO, para 60 min de irradiación y diferentes relaciones $\text{H}_2\text{O}_2:\text{Fe}$.

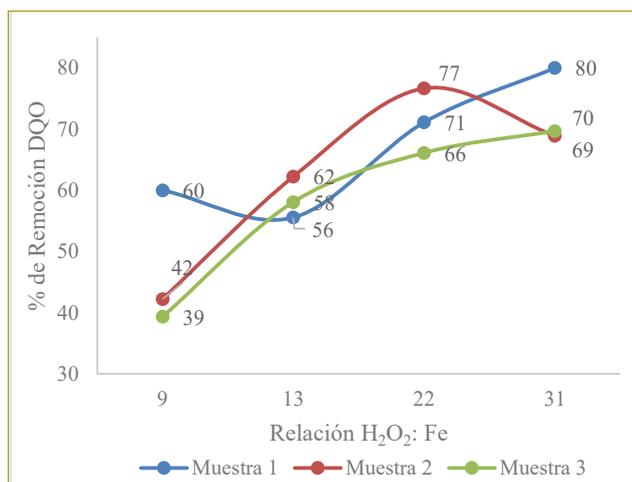


Figura 3. Porcentaje de remoción de DQO, para 150 min de irradiación y diferentes relaciones $\text{H}_2\text{O}_2:\text{Fe}$.

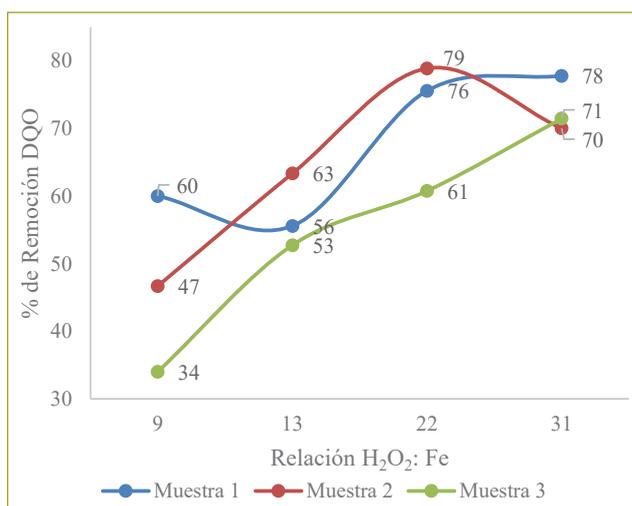


Figura 4. Porcentaje de remoción de DQO, para 300 min de irradiación y diferentes relaciones $\text{H}_2\text{O}_2:\text{Fe}$.

Finalmente, para evaluar la influencia de la dosis aplicada de H_2O_2 y de Fe^{++} sobre la remoción de DQO, se aplicó a la muestra 4 la misma relación $H_2O_2:Fe^{++}$ de 22:1 con cuatro dosis diferentes de hierro y peróxido de hidrógeno. La dosificación se aumentó en múltiplos de 2 (tabla 3).

Tabla 3
Dosis muestra 4

Dosificación	X	2X	4X	6X
H_2O_2 (g/L)	7,95	15,9	31,8	47,7
Fe (g/L)	0,60	1,19	2,38	3,57
Relación $H_2O_2:Fe^{++}$	22	22	22	22

El mayor porcentaje de remoción de DQO se obtiene con la mayor concentración de oxidante y catalizador, para un tiempo óptimo de radiación de dos horas y media (figura 5).

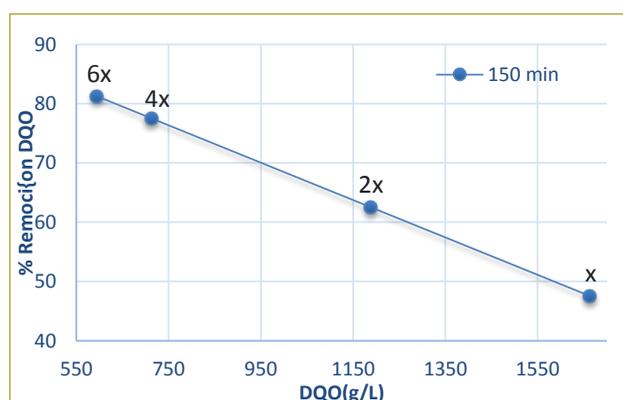


Figura 5. Porcentaje de remoción de DQO para cuatro dosis diferentes y 150 min de radiación.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que con el aumento de la dosificación se observa un considerable incremento en el color (figura 6).

CONCLUSIONES

- Se logró establecer que a mayor concentración de oxidante y catalizador, mayor porcentaje de remoción de DQO.
- Se encontró que la relación molar óptima de $H_2O_2:Fe^{++}$ es de 31:1.



Figura 6. Muestra 4. Dosis 4: 47,7 g/L de H_2O_2 y 3,57 g/L – Fe^{++} (28/11/2018).

- Se obtuvo un porcentaje promedio de remoción de DQO de 71,6 % para la relación molar óptima.
- Para los tres tiempos de radiación evaluados, se encuentra un periodo óptimo en la degradación del contaminante de dos horas y media.
- Se debe neutralizar el residuo del proceso antes de ser vertido.
- Se recomienda evaluar el proceso Foto Fenton con base en análisis químico completo del agua tratada para establecer su eficiencia en términos de características diferentes de la DQO.
- Se recomienda evaluar la intensidad de la radiación, para establecer su influencia sobre la eficiencia del proceso de tratamiento.

REFERENCIAS

- Arroyo Vanegas, K. A. (2019). *Remoción de DQO en un efluente de la industria de alimentos mediante un proceso Foto Fenton*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Deng, Y., & Englehardt, J.D. (2006). Treatment of landfill leachate by the Fenton process. *Water Res.* 40, 3683-3694.
- Gogate, P., & Pandit, A., (2004). A review of imperative technologies for wastewater treatment II. *Hybrid methods. Adv. Environ. Res.* 8, 553-597.
- Kim, J.S., Kim, H.Y., Won, C.H., & Kim, J.G. (2001). Treatment of landfill produced in stabilized landfills by coagulation and Fenton oxidation process. *J. Chin. Inst. Chem. Eng.* 32, 425-429.
- Kim, S., & Vogelpohl, A. (1998). Degradation of organic pollutants by the photo-Fenton process. *Chem. Eng. Technol.* 21, 187-191.
- Lin, S.H., & Chang, C.C. (2000). Treatment of landfill leachate by combined electro-Fenton oxidation and sequencing batch reactor method. *Water Res.* 34, 4243-4249.
- Pérez, M., Torrades, F., Domenech, X., & Peral, J. (2002). Fenton and photo-Fenton oxidation of textile effluents. *Water Res.* 36, 2703-2710.
- Poyatos, J. M., Muñoz, M. M., Almécija, M. C., Torres, J. C., Hontoria, E., & Osorio, F. (2010). Advanced oxidation processes for wastewater treatment: State of the art. *Water, Air, and Soil Pollution*, 205(1-4), 187-204. <https://doi.org/10.1007/s11270-009-0065-1>.

Rosales Hernández, A. G. (2014). *Procesos de oxidación avanzada tipo Fenton con y sin luz solar para el tratamiento de lixiviados pretratados de rellenos sanitarios*. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 1-107.

Sedlak, D.L., & Andren, A.W. (1991). Oxidation of chlorobenzene with Fenton's reagent. *Environ. Sci. Technol.* 25, 777-782.

Umar, M., Aziz, H. A., & Yusoff, M. S. (2010). Trends in the use of Fenton, electro-Fenton and photo-Fenton for the treatment

of landfill leachate. *Waste Management*, 30(11), 2113–2121. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.07.003>.

Zapata, A., Oller, I., Rizzo, L., Hilgert, S., Maldonado, M.I., Sánchez-Pérez, J.A., & Malato S.(2010). Evaluation of operating parameters involved in solar photo-Fenton treatment of wastewater: Interdependence of initial pollutant concentration, temperature and iron concentration. *Appl. Catal. B*, 97, 292-298.

Evaluación de los índices de sobrefuerzo y cálculo de deformaciones de dos puentes vehiculares, de acuerdo con la norma American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO 2012)

Overload index assessment and deformation calculation of two vehicular bridges, according to regulations from the American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO 2012)

LUIS ALEXÁNDER MORA CUÉLLAR¹ - JAIME GARZÓN²

1. Magíster en Ingeniería Civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

2. Profesor de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

luis.mora@mail.escuelaing.edu.co - jaime.garzón@escuelaing.edu.co

Recibido: 20/06/2019 Aceptado: 28/06/2019

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

En el marco de un convenio entre la Escuela Colombiana de Ingeniería y la Universidad de Purdue (Estados Unidos), se propuso desarrollar un trabajo académico con el objetivo principal de establecer los índices de sobrefuerzo y cálculo de deformaciones bajo la carga del camión de diseño HL-93 y la norma AASHTO 2012, para la superestructura de dos puentes vehiculares, localizados en el estado de Indiana, diseñados y construidos de acuerdo con la norma AASHTO de 1949.

Los puentes en estudio llevan en servicio 69 y 61 años, respectivamente. El más antiguo, denominado puente N.º 1, tiene una superestructura compuesta por seis vigas de sección T en concreto reforzado y de una luz; el otro, llamado puente N.º 2, posee una superestructura compuesta por una losa maciza continua, dividida en tres luces.

El trabajo se desarrolló en cuatro etapas. En la primera, se realizó un estudio de la norma AASHTO 2012, al igual que de la información suministrada por la Universidad de Purdue, la cual consistió en 23 planos en formato PDF, copia de los originales de diseño y de intervenciones hechas a los puentes. En la segunda etapa se transcribió la información relevante de los planos de diseño a AutoCAD.

Una vez estudiados y entendidos los requerimientos exigidos en la norma AASHTO 2012 para el diseño de puentes, más la información obtenida de los planos de diseño, se procedió con la tercera etapa, la

cual consistió en determinar las solicitaciones por corte y flexión para la superestructura de los dos puentes; las solicitaciones se calcularon manualmente y con la ayuda del programa SAP2000, esto último para tener un punto de comparación de resultados. Los métodos empleados para determinar las solicitaciones manualmente fueron el teorema de Barret para el puente N.º 1 y líneas de influencia para el puente N.º 2. En la cuarta etapa se calcularon los índices de sobrefuerzo por corte y flexión, así como las deformaciones de los puentes. Se obtuvieron índices por flexión para el puente N.º 1 hasta un 16 % por encima de la capacidad de resistencia de los elementos, además de no cumplir los límites para deformaciones de la norma. En el puente N.º 2 se alcanzaron índices de sobrefuerzo por corte y flexión por debajo de la capacidad de resistencia de los elementos.

De lo anterior se puede concluir que el puente N.º 1, a pesar de obtenerse índices superiores a la unidad, puede seguir en funcionamiento, en tanto que el puente N.º 2 cumple con los requerimientos de capacidad establecidos en la norma AASHTO 2012.

Palabras claves: puente, cargas, combinaciones, momento, cortante, índice.

Abstract

Within a cooperation agreement between Escuela Colombiana de Ingeniería and the University of Purdue (USA), an academic work was set in motion to establish the overload index and deformation calculations for an HL-93 truck load and ASSHTO 2012 regulation, for the surface structure of two vehicular bridges located in the state of Indiana, designed and built under AASHTO 1949 regulations. These bridges have been working for 69 and 61 years each. The oldest one, named Bridge N° 1, has a superstructure of six T-section beams in reinforced concrete and one span; the second one, Bridge N° 2, has a superstructure composed by a single continuous slab, divided in three spans.

The work was developed in three stages. First, a study of ASSHTO 2012 regulation and information provided by Purdue University was done, which consisted of 23 pdf blueprints, facsimiles of the original ones, and interventions performed on the bridges. Secondly, all relevant information from the design blueprints was transferred onto AutoCAD.

Once all ASSHTO 2012 requirements for bridge designed were studied and fully comprehended, along with the information obtained from design blueprints, we started with the third stage, which consisted in determining shear and vending strengths for both bridges' superstructures; these strengths were calculated manually using SAP2000 software to have a point of comparison for the results. The methods used to determine the strengths manually were Barret's theorem for Bridge N° 1 and influence lines for Bridge N° 2.

Keywords: Bridge, loads, combinations, moment, shear, index.

INTRODUCCIÓN

En el desarrollo económico, social, cultural y productivo de una sociedad existen varios factores, que cumplen un papel muy importante. Uno de éstos es el estado de conservación de las vías de comunicación y sus componentes, tales como bermas, señalizaciones, calzadas, andenes, cunetas, túneles, viaductos y puentes. Una vía en buen estado ayuda a reducir los tiempos de viaje, facilitar el desplazamiento de los usuarios y mercancías, además de contribuir al desarrollo y sostenibilidad económica de las regiones.

Ninguna nación o sociedad crece con un deficiente sistema de vías; por lo tanto, para que una vía preste la función básica para la cual se proyectó y no margine o retrase el desarrollo de una región, es in-

dispensable implementar un plan de mantenimiento periódico para ésta y para cada uno de los elementos que la componen.

Cuando se habla de una vía, dependiendo de la topografía que atraviese, ésta puede estar compuesta por diferentes elementos, los cuales también se deben tomar en cuenta en el momento de hacer un mantenimiento o una ampliación vial. Tal es el caso de los puentes vehiculares, elementos estructurales que se aprovechan en las vías para salvar accidentes topográficos, o cualquier obstáculo físico, como un río, un caño, un humedal, un cruce vial o una vía férrea.

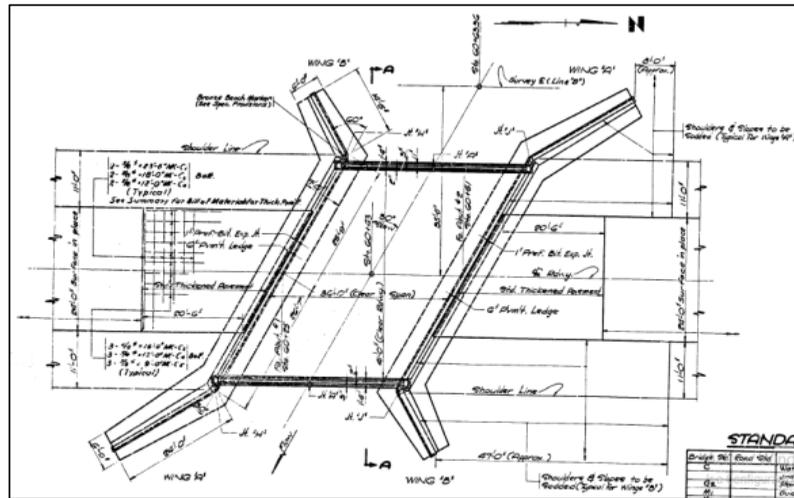
Además del mantenimiento preventivo que se les debe hacer a los puentes, en ocasiones es necesario realizar una evaluación de la capacidad de carga, ya sea por el deterioro normal a causa del paso de los años, por vulnerabilidad sísmica, por actualización de códigos, o por el aumento del tráfico o cargas que lo atraviesan.

Como parte del proceso de acercamiento entre la Universidad de Purdue y la Escuela Colombiana de Ingeniería, se planteó el trabajo que se presenta en el título de este artículo, cuyo objetivo es evaluar la capacidad de carga de la superestructura de dos puentes vehiculares utilizando la metodología empleada para este fin en Colombia.

RESULTADOS**Estudio de información suministrada y norma AASTHO 2012**

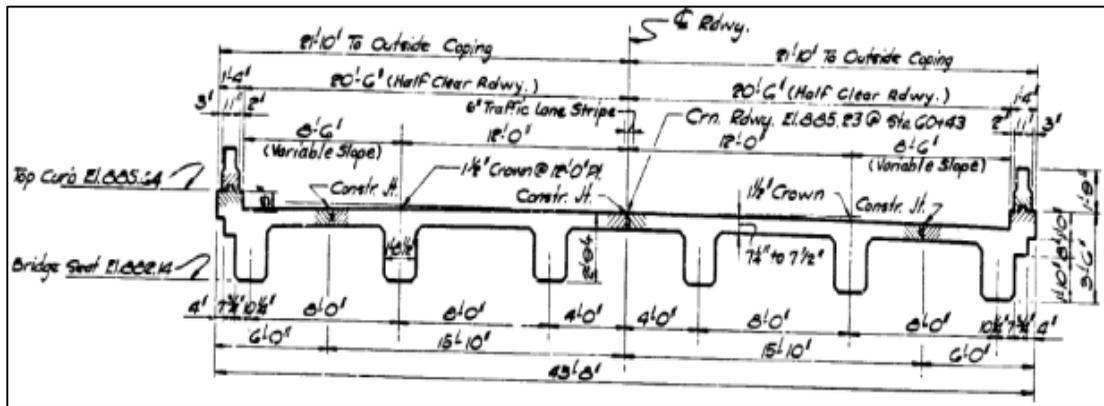
Se hizo un estudio detallado de la información suministrada por la Universidad de Purdue, la cual constó de 24 planos, los cuales sirvieron de base para identificar la localización y el tipo de puentes, materiales, refuerzo suministrado, número de calzadas, geometría, dimensiones, intervenciones realizadas, antigüedad de los puentes y norma con la que se diseñaron.

La configuración de los puentes, de acuerdo con los planos de diseño, se presenta a continuación (figuras 1-8).



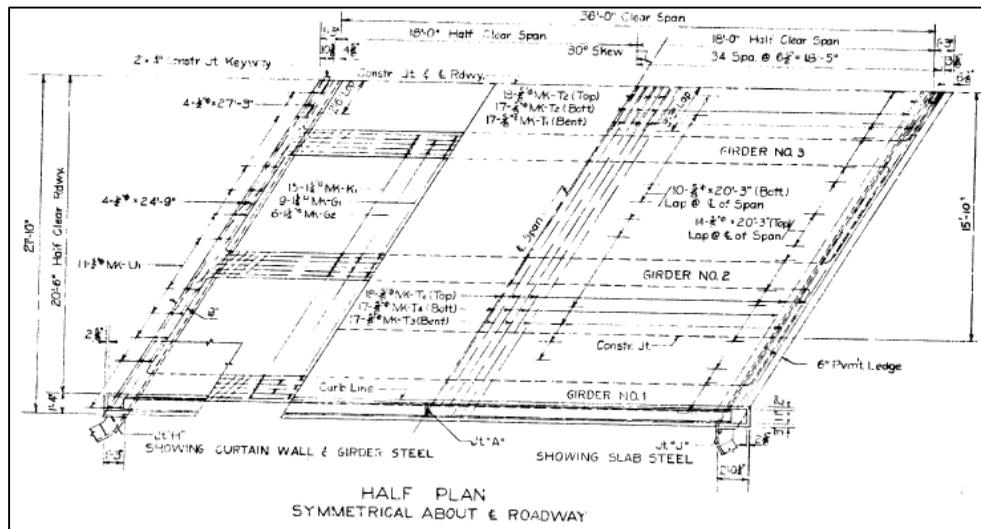
Fuente: Universidad de Purdue.

Figura 1. Planta puente N.º 1. Planos de diseño.



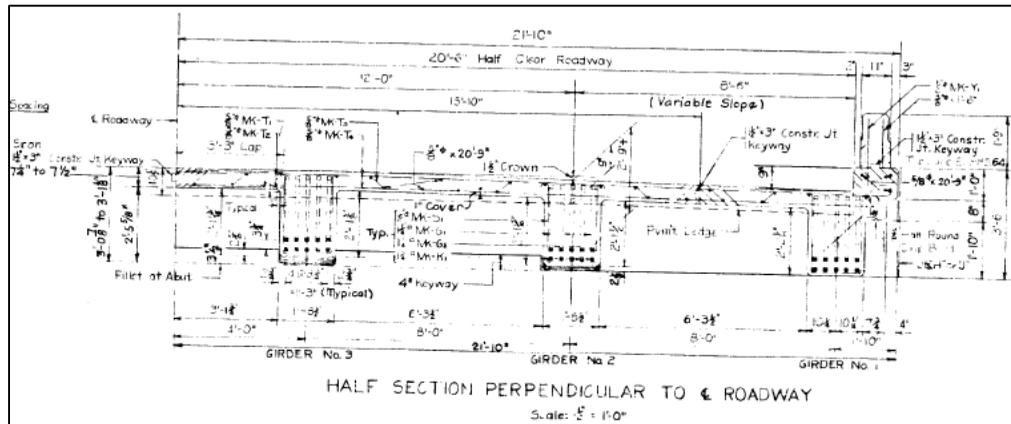
Fuente: Universidad de Purdue.

Figura 2. Sección transversal del puente N.º 1. Planos de diseño.



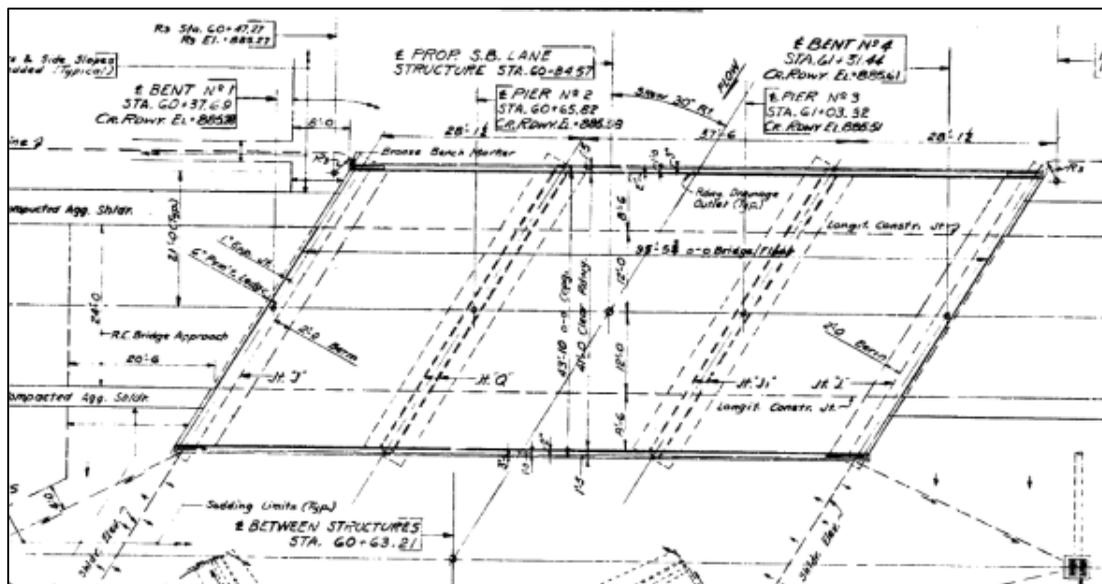
Fuente: Universidad de Purdue.

Figura 3. Planta de keyway de la superestructura del puente N.º 1.



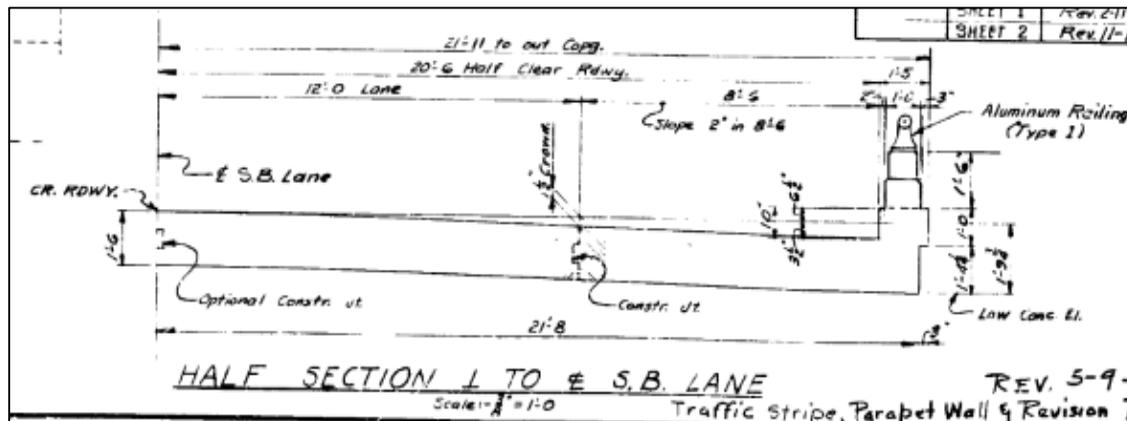
Fuente: Universidad de Purdue.

Figura 4. Sección transversal de refuerzo de la superestructura del puente N.º 1.



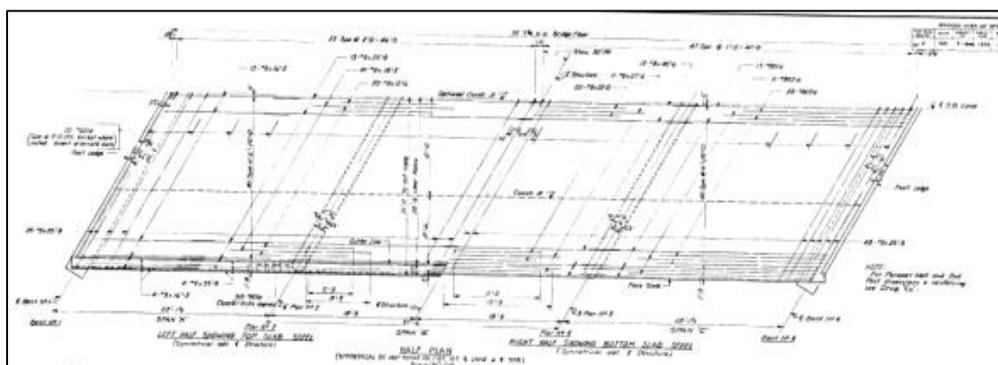
Fuente: Universidad de Purdue.

Figura 5. Planta del puente N.º 2. Planos de diseño.



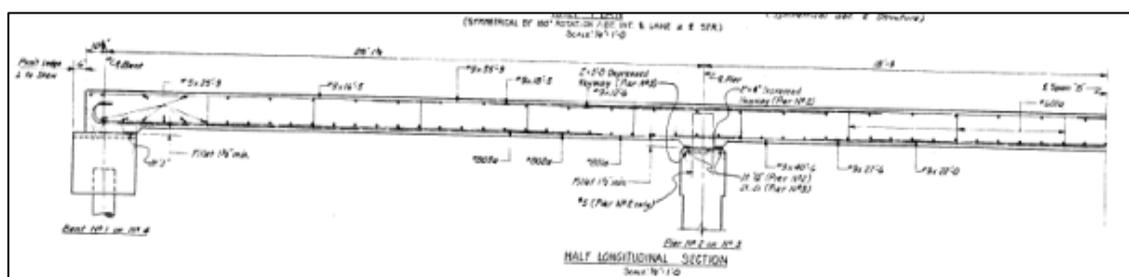
Fuente: Universidad de Purdue.

Figura 6. Sección transversal del puente N.º 2. Planos de diseño.



Fuente: Universidad de Purdue.

Figura 7. Planta de refuerzo inferior y superior de la superestructura del puente N.º 2.



Fuente: Universidad de Purdue.

Figura 8. Detalle de refuerzo longitudinal de la superestructura del puente N.º 2.

En esta primera etapa se estudió también la norma AASHTO LRFD 2012, con el fin de extraer y aplicar las recomendaciones dadas en este artículo para obtener los índices de sobreesfuerzo en los puentes.

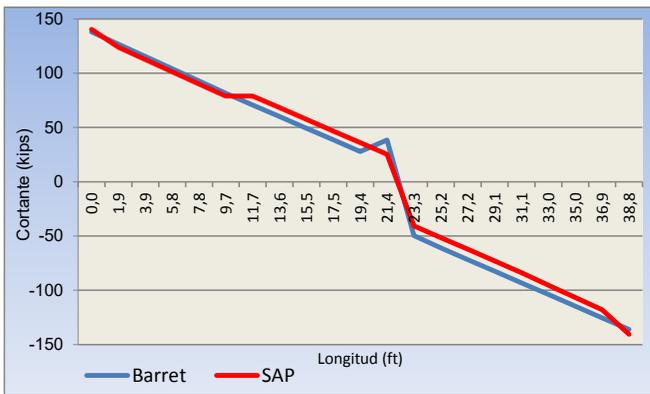
TRANSCRIPCIÓN DE INFORMACIÓN A AUTOCAD

Una vez interpretada la información registrada en los planos de diseño se procedió a transcribirla a AutoCAD, información que sirvió de base para realizar la evaluación de cargas muertas de cada uno de los puentes, además de determinar cuantías de acero de refuerzo suministrado a los elementos en estudio. Paralelamente a este trabajo, se definieron combinaciones de carga y anchos de franjas, y se calcularon los factores de distribución para el análisis de los elementos tanto internos como externos.

CÁLCULO DE SOLICITACIONES

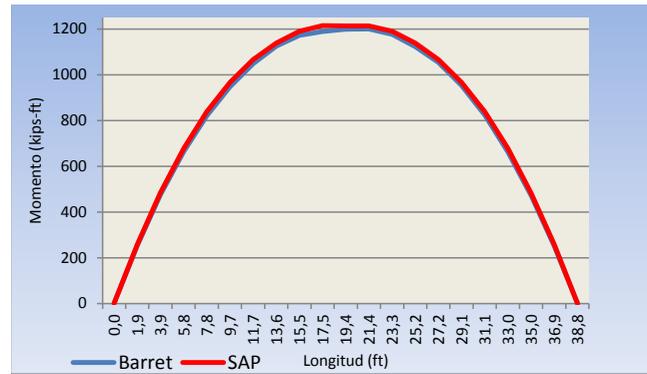
En esta etapa se procedió a calcular las solicitaciones actuantes bajo las cargas sobrepuestas en las vigas del puente N.º 1 y en los anchos de franja del puente N.º 2, empleando el teorema de Barret para el puente N.º 1 y las líneas de influencia en el puente N.º 2. La tarea anterior se realiza nuevamente en los dos puentes, pero con la ayuda del programa SAP2000.

Una vez obtenidos los resultados por las dos metodologías, se hizo una comparación de resultados con el ánimo de evitar desviaciones importantes en los datos con los que se determinaron los índices de sobreesfuerzo de los puentes. En esta etapa también se calcularán las deflexiones, de acuerdo con lo indicado en la norma. En las siguientes figuras se presenta un ejemplo de cada puente



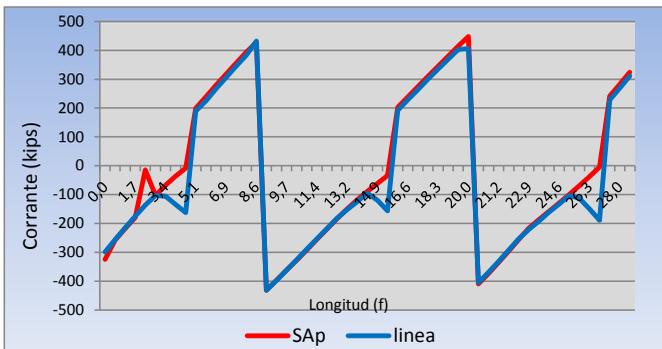
Fuente: Elaboración propia.

Figura 9. Diagrama de cortante para la combinación de resistencia 1-1. Barret vs. SAP2000. Viga externa Puente N.º 1.



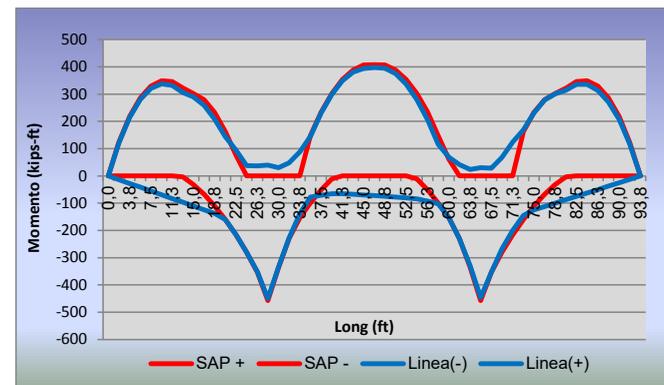
Fuente: Elaboración propia.

Figura 10. Diagrama de momento para la combinación de resistencia 1-1. Barret vs. SAP2000. Viga exterior del puente N.º 1.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 11. Diagrama de cortante para la combinación de resistencia 1-1. Línea vs. SAP2000.



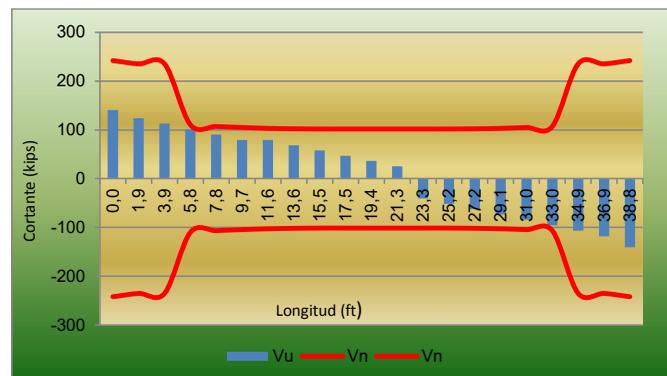
Fuente: Elaboración propia.

Figura 12. Diagrama de momento para la combinación de resistencia 1-1. Línea vs. SAP2000.

CÁLCULO DE ÍNDICES DE SOBRESFUERZO

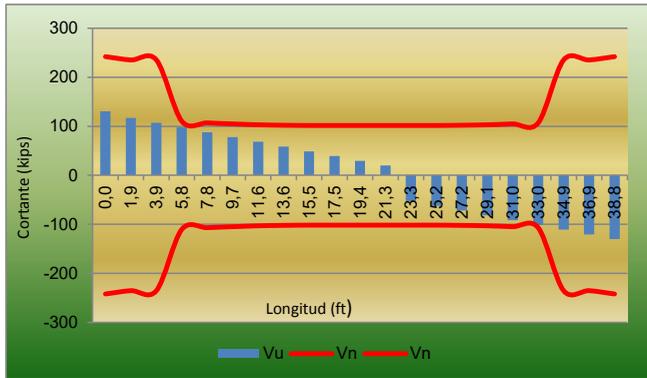
Finalmente, se determinaron los momentos y cortantes resistentes de las vigas del puente N.º 1 y las franjas del puente N.º 2, de acuerdo con los requerimientos establecidos en la norma e información consignada en los planos de diseño.

Con los valores obtenidos se determinaron los índices de sobreesfuerzo de las vigas del puente N.º 1 y las franjas del puente N.º 2, además de comparar las deflexiones de los puentes contra los límites recomendados en la norma. En las siguientes figuras se presentan los índices de sobreesfuerzo por cortante y flexión para las combinaciones de resistencia, donde se presentaron los índices más altos (figuras 9-24).



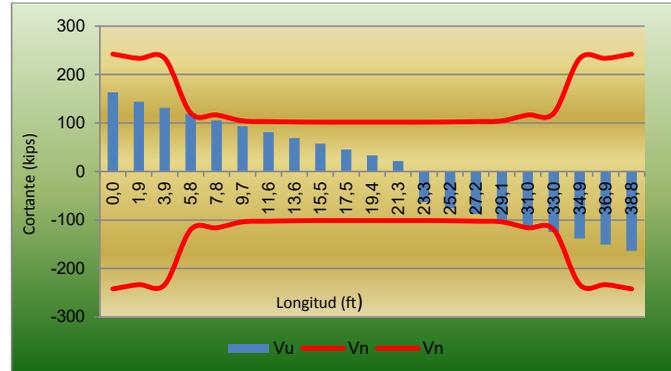
Fuente: Elaboración propia.

Figura 13. Representación gráfica de índices por corte para la combinación de resistencia 1-1. Viga externa.



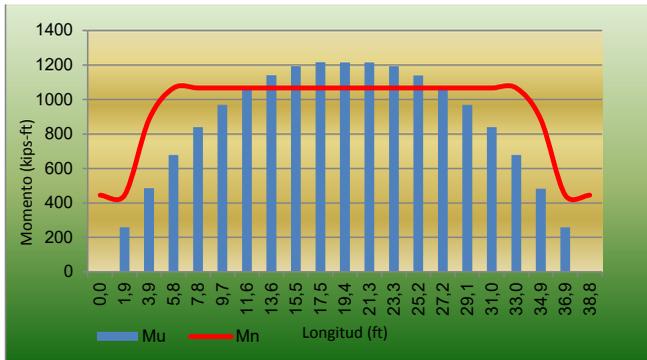
Fuente: Elaboración propia.

Figura 14. Representación gráfica de índices por corte para la combinación de resistencia 1-2. Viga externa.



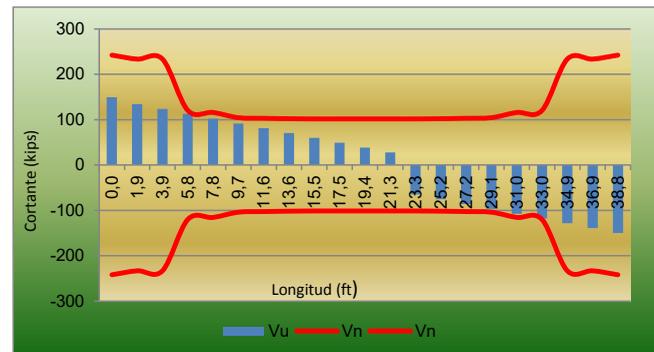
Fuente: Elaboración propia.

Figura 17. Representación gráfica de índices por corte para la combinación de resistencia 1-1. Viga interna.



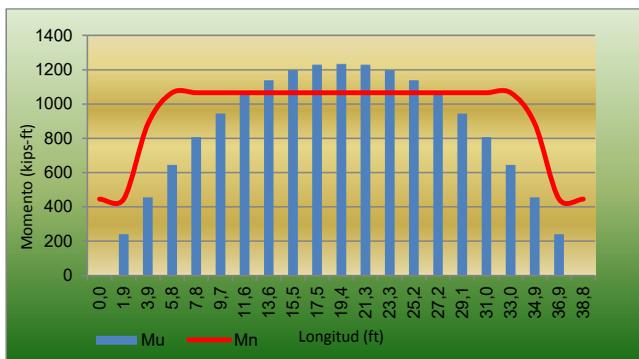
Fuente: Elaboración propia.

Figura 15. Representación gráfica de índices por momento para la combinación de resistencia 1-1. Viga externa.



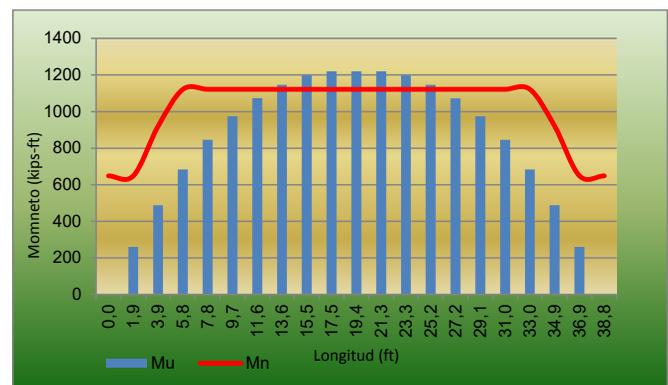
Fuente: Elaboración propia.

Figura 18. Representación gráfica de índices por corte para la combinación de resistencia 1-2. Viga interna.



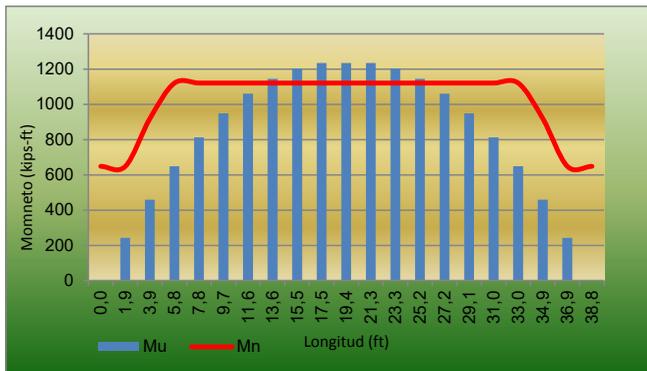
Fuente: Elaboración propia.

Figura 16. Representación gráfica de índices por momento para la combinación de resistencia 1-2. Viga externa.



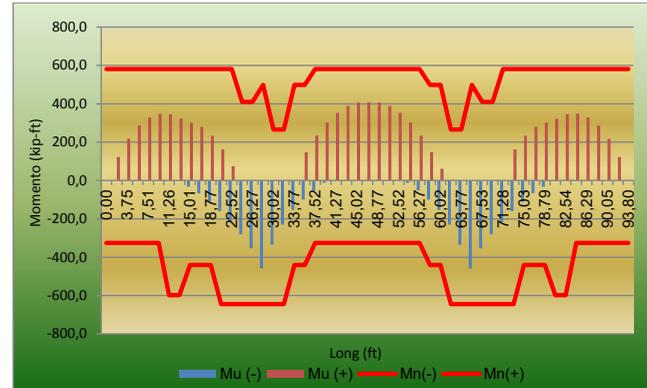
Fuente: Elaboración propia.

Figura 19. Representación gráfica de índices por momento para la combinación de resistencia 1-1. Viga interna - VGI.



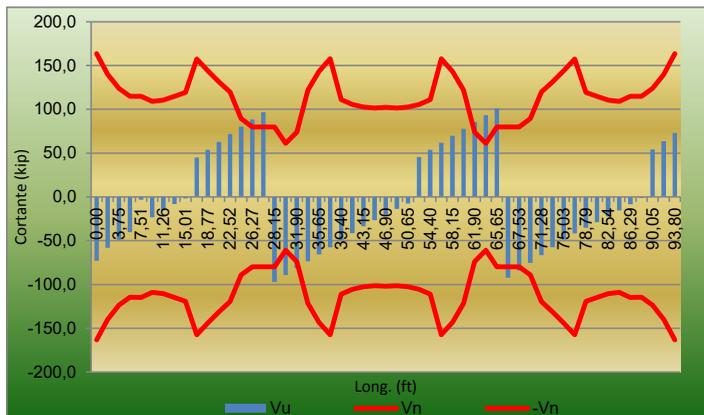
Fuente: Elaboración propia.

Figura 20. Representación gráfica de índices por momento para la combinación de resistencia 1-2. Viga interna.



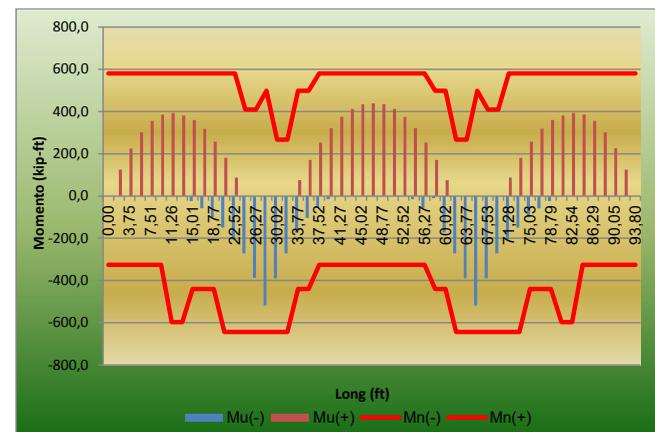
Fuente: Elaboración propia.

Figura 23. Representación gráfica de índices por momento para la combinación de resistencia 1-1. Franja externa.



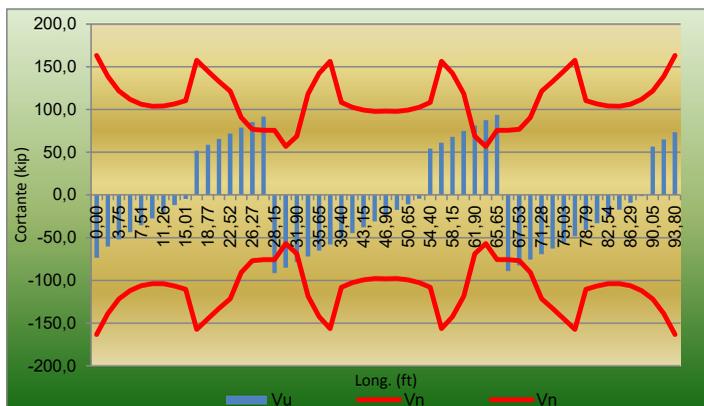
Fuente: Elaboración propia.

Figura 21. Representación gráfica de índices por corte para la combinación de resistencia 1-1. Franja externa.



Fuente: Elaboración propia.

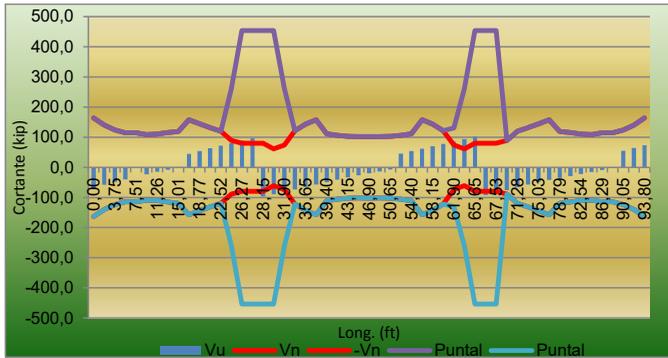
Figura 24. Representación gráfica de índices por momento para la combinación de resistencia 1-2. Franja externa.



Fuente: Elaboración propia.

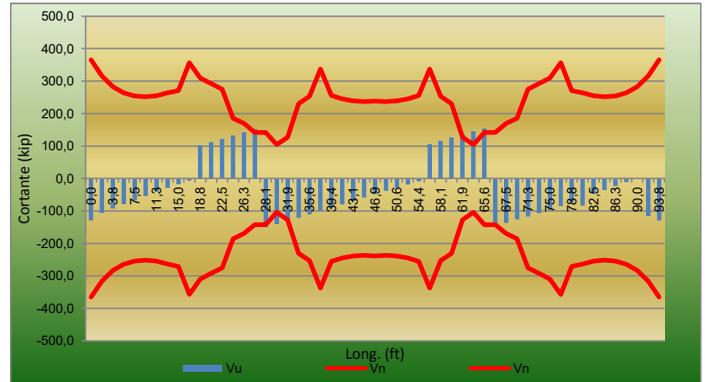
Figura 22. Representación gráfica de índices por corte para la combinación de resistencia 1-2. Franja externa.

Dado que los índices de sobreesfuerzo por cortante sobrepasan el 100 % cerca de los apoyos intermedios, se decide verificar la capacidad a cortante de la placa por el método del puntal tensor. A continuación se presentan la representación gráfica de los resultados (figuras 25-32).



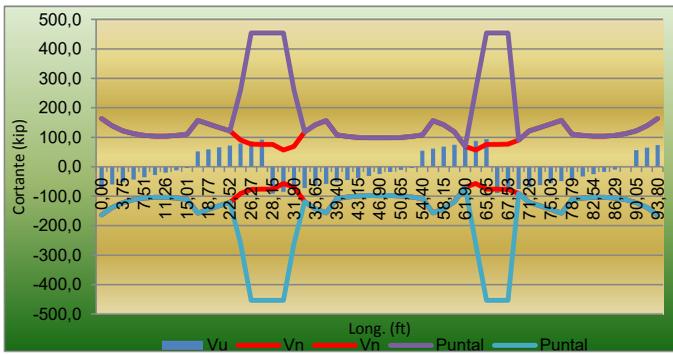
Fuente: Elaboración propia.

Figura 25. Representación gráfica de la revisión cortante por el método del puntal tensor, resistencia 1-1. Franja externa.



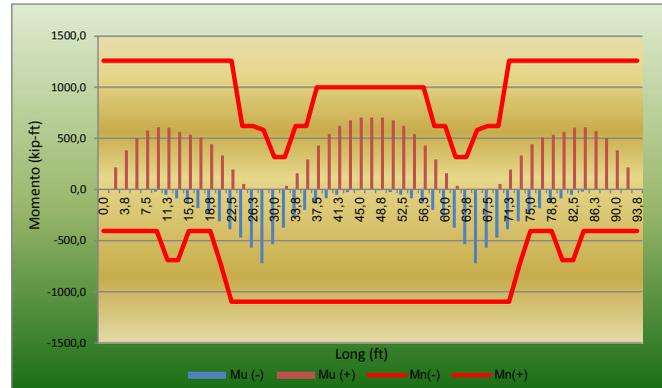
Fuente: Elaboración propia.

Figura 28. Representación gráfica de índices por corte para la combinación de resistencia 1-2. Franja interna.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 26. Representación gráfica de la revisión cortante por el método del puntal tensor, resistencia 1-2. Franja externa.



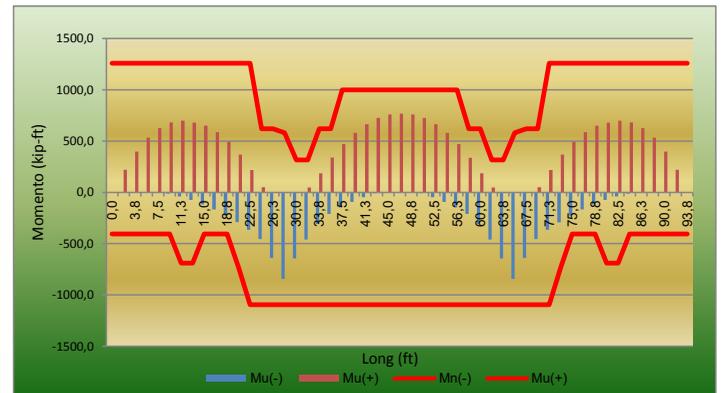
Fuente: Elaboración propia.

Figura 29. Representación gráfica de índices por momento para la combinación de resistencia 1-1. Franja interna.



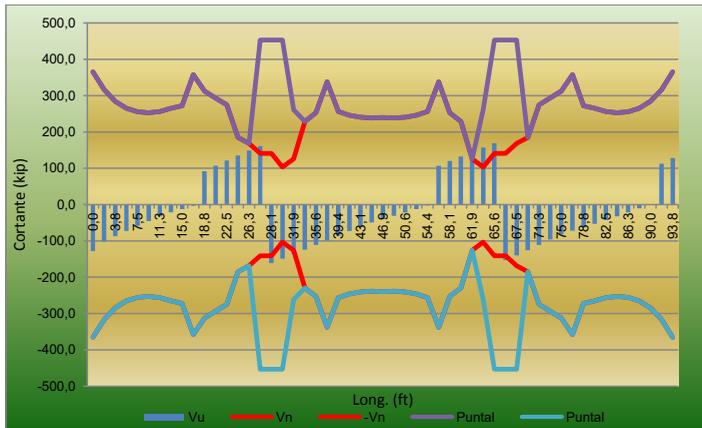
Fuente: Elaboración propia.

Figura 27. Representación gráfica de índices por corte para la combinación de resistencia 1-1. Franja interna.



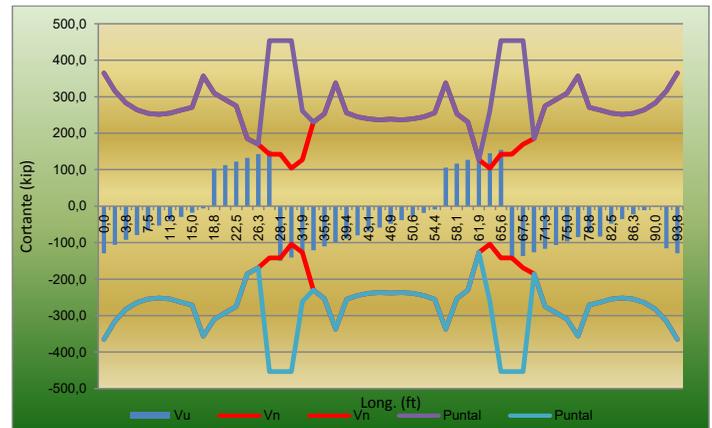
Fuente: Elaboración propia.

Figura 30. Representación gráfica de índices por momento para la combinación de resistencia 1-2. Franja interna.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 31. Representación gráfica de revisión cortante por el método del puntal tensor para la combinación, resistencia 1-1. Franja interna.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 32. Representación gráfica de revisión cortante por el método del puntal tensor para la combinación, resistencia 1-2. Franja interna.

CÁLCULO DE DEFORMACIONES

Tabla 1
Revisión de deflexiones de la viga externa



TABLE: Joint Displacements								
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U3		Δmax = L/800		Cumple
Text	Text	Text	Text	mm	In	mm	In	
11	HL93	LinMoving	Min	-26.7	-1.1	14.8	0.6	No cumple
11	DFL1	Combination	Max	-7.9	-0.3	14.8	0.6	Cumple
11	DFL1	Combination	Min	-14.5	-0.6	14.8	0.6	Cumple
11	DFL2	Combination	Max	-7.9	-0.3	14.8	0.6	Cumple
11	DFL2	Combination	Min	-14.1	-0.6	14.8	0.6	Cumple
11	DFL3	Combination		-19.3	-0.8	14.8	0.6	No cumple

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2
Revisión de deflexiones de la viga interna



TABLE: Joint Displacements								
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U3		Δmax = L/800		Cumple
Text	Text	Text	Text	mm	In	mm	In	
11	HL93	LinMoving	Min	-24.9	-1.0	14.8	0.6	No cumple
11	DFL1	Combination	Max	-7.3	-0.3	14.8	0.6	Cumple
11	DFL1	Combination	Min	-13.6	-0.5	14.8	0.6	Cumple
11	DFL2	Combination	Max	-7.3	-0.3	14.8	0.6	Cumple
11	DFL2	Combination	Min	-13.2	-0.5	14.8	0.6	Cumple
11	DFL3	Combination		-16.5	-0.6	14.8	0.6	No cumple

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3
Revisión de deflexiones de la franja externa

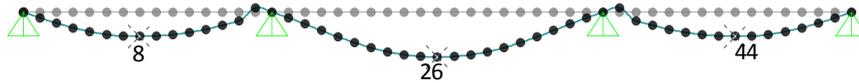


TABLE: Joint Displacements								
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U3		$\Delta_{max} = L/800$		Cumple
Text	Text	Text	Text	mm	in	mm	in	
8	HL93 +	LinMoving	Max	2.42	0.10	10.5	0.41	Cumple
8	HL93 +	LinMoving	Min	-4.15	-0.16	10.5	0.41	Cumple
8	DFL1	Combination	Max	0.09	0.00	10.5	0.41	Cumple
8	DFL1	Combination	Min	-1.55	-0.06	10.5	0.41	Cumple
8	DFL2	Combination	Max	0.05	0.00	10.5	0.41	Cumple
8	DFL2	Combination	Min	-1.70	-0.07	10.5	0.41	Cumple
8	DFL3	Combination		-1.80	-0.07	10.5	0.41	Cumple
26	HL93 +	LinMoving	Max	2.09	0.08	14.3	0.56	Cumple
26	HL93 +	LinMoving	Min	-7.69	-0.30	14.3	0.56	Cumple
26	DFL1	Combination	Max	-0.62	-0.02	14.3	0.56	Cumple
26	DFL1	Combination	Min	-3.06	-0.12	14.3	0.56	Cumple
26	DFL2	Combination	Max	-0.59	-0.02	14.3	0.56	Cumple
26	DFL2	Combination	Min	-3.05	-0.12	14.3	0.56	Cumple
26	DFL3	Combination		-4.02	-0.16	14.3	0.56	Cumple
44	HL93 +	LinMoving	Max	2.42	0.10	10.5	0.41	Cumple
44	HL93 +	LinMoving	Min	-4.15	-0.16	10.5	0.41	Cumple
44	DFL1	Combination	Max	0.09	0.00	10.5	0.41	Cumple
44	DFL1	Combination	Min	-1.55	-0.06	10.5	0.41	Cumple
44	DFL2	Combination	Max	0.05	0.00	10.5	0.41	Cumple
44	DFL2	Combination	Min	-1.70	-0.07	10.5	0.41	Cumple
44	DFL3	Combination		-1.80	-0.07	10.5	0.41	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Dado que el presente trabajo es netamente académico, no se realizaron trabajos de campo ni programación de ensayos en los puentes, necesarios para establecer las condiciones reales de conservación de cualquier estructura.
2. Los resultados que se presentan en este informe se calcularon con base en la información suministrada por la Universidad de Purdue, la cual constaba de una copia de los planos originales de diseño y reparaciones hechas a los puentes. Información poco legible y que se debió confirmar con trabajos de campo, pero por tratarse de un trabajo académico no se realizó esta labor.
3. Según las imágenes que se obtuvieron de los puentes, con la ayuda del programa Google Earth, los puentes siguen en servicio y a simple vista no se observan daños importantes en su superestructura.
4. De acuerdo con los resultados obtenidos, los índices de sobreesfuerzo por cortante y flexión del puente N.º 1, calculados con las combinaciones de servicio, no superan la capacidad de los elementos, aun cuando en estas combinaciones se está multiplicando la carga viva por 1,33 % para tomar en cuenta efectos dinámicos, tal como lo indica la norma.
5. Los índices de sobreesfuerzo por flexión del puente N.º 1, con combinaciones de resistencia, son superados hasta un máximo del 16 % de la capacidad de las vigas en centro luz del puente.
6. Si bien los índices por flexión son superados en el puente N.º 1, además de no pasar los límites de deformaciones establecidos en la norma, esto no quiere decir que se deba entrar a reforzar el puente, ya que

Tabla 4
Revisión de deflexiones de la franja interna

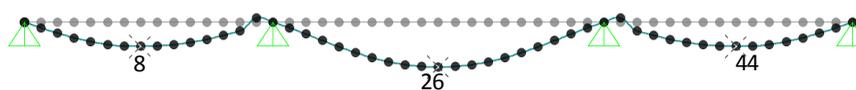


TABLE: Joint Displacements								
Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	StepType Text	U3		$\Delta_{max} = L/800$		Cumple
				mm	in	mm	in	
8	HL93 +	LinMoving	Max	2.07	0.08	10.5	0.41	Cumple
8	HL93 +	LinMoving	Min	-3.56	-0.14	10.5	0.41	Cumple
8	DFL1	Combination	Max	0.07	0.00	10.5	0.41	Cumple
8	DFL1	Combination	Min	-1.34	-0.05	10.5	0.41	Cumple
8	DFL2	Combination	Max	0.03	0.00	10.5	0.41	Cumple
8	DFL2	Combination	Min	-1.47	-0.06	10.5	0.41	Cumple
8	DFL3	Combination		-0.59	-0.02	10.5	0.41	Cumple
26	HL93 +	LinMoving	Max	1.79	0.07	14.3	0.56	Cumple
26	HL93 +	LinMoving	Min	-6.60	-0.26	14.3	0.56	Cumple
26	DFL1	Combination	Max	-0.55	-0.02	14.3	0.56	Cumple
26	DFL1	Combination	Min	-2.65	-0.10	14.3	0.56	Cumple
26	DFL2	Combination	Max	-0.53	-0.02	14.3	0.56	Cumple
26	DFL2	Combination	Min	-2.64	-0.10	14.3	0.56	Cumple
26	DFL3	Combination		-1.32	-0.05	14.3	0.56	Cumple
44	HL93 +	LinMoving	Max	2.07	0.08	10.5	0.41	Cumple
44	HL93 +	LinMoving	Min	-3.56	-0.14	10.5	0.41	Cumple
44	DFL1	Combination	Max	0.07	0.00	10.5	0.41	Cumple
44	DFL1	Combination	Min	-1.34	-0.05	10.5	0.41	Cumple
44	DFL2	Combination	Max	0.03	0.00	10.5	0.41	Cumple
44	DFL2	Combination	Min	-1.47	-0.06	10.5	0.41	Cumple
44	DFL3	Combination		-0.59	-0.02	10.5	0.41	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

- para las condiciones de servicio está cumpliendo. Lo que indican los resultados es que los factores de mayoración para las combinaciones de resistencia son menores que los recomendados en la norma, por lo que el puente N.º 1 puede seguir en servicio unos años más.
- Los índices de sobreesfuerzo por flexión y corte, con combinaciones de servicio para el puente N.º 2, no superan la resistencia de los elementos.
 - Los índices de sobreesfuerzo por flexión, con combinaciones de resistencia para el puente N.º 2, no superan la resistencia de los elementos.
 - Las deformaciones verticales del puente N.º 2 no superan los límites establecidos en la norma.
 - Los índices de sobreesfuerzo por corte, con combinaciones de resistencia para el puente N.º 2, superan hasta un 54 % de la capacidad del elemento en zonas “D” cercanas a los apoyos intermedios; por tal razón,

se realizó un chequeo adicional a cortante empleando el método del puntal tensor, método permitido por la AASTHO 2012 para analizar las regiones “D” que tienen estados de esfuerzos muy complejos en los que no se aplica la teoría de vigas.

- Una vez realizado el chequeo por el método del puntal tensor, se observa que los elementos presentan una mayor capacidad de resistencia a cortante en las zonas cercanas a los apoyos que la calculada con la teoría de vigas; por lo tanto, el puente N.º 2 cumple con los requerimientos de capacidad establecidos en la norma.
- Si bien los puentes se diseñaron y construyeron hace bastante tiempo (ya casi 69 años el más antiguo), y estando cercanos a cumplir su vida útil, es de admirar a los ingenieros estructurales que proyectaron estas estructuras. Los puentes aún siguen en servicio y no se sabe por cuánto tiempo más lo estarán, aun cuando

do con el paso de los años, las cargas vivas (camión) han tenido grandes avances, tanto en su tecnología como en la capacidad de carga.

13. Si bien en el país se dispone de la Norma Colombiana de Diseño de Puentes - LRFD - CCP14 y del *Manual para inspección visual de puentes y pontones*, del Instituto Nacional de Vías (Invías), no se cuenta con normas para evaluación y reforzamiento de estructuras viales; por lo tanto, es necesario que las entidades competentes revisen el tema y dicten los lineamientos para desarrollar este tipo de trabajos.

REFERENCIAS

- AASHTO (2012). *Design Specifications Customary U.S Units 2012*. Washington, D.C.: AASHTO.
- AIS, A. C. (2014). *Norma colombiana de diseño de puentes CCP 14*. Bogotá, D.C.: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS).
- American Society of Civil Engineers (2014). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings (ASCE/SEI 41-13)*. American Society of Civil Engineers.
- Bahena, C. R. (2004). *Curso de puentes en concreto. Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes, 1995*. Bogotá: Bauen.
- Bahena, C. R. (2018). *Fundamentos de diseño de puentes*. Bogotá, D.C.: Bauen.
- CSI Computers y Structures, i. (2016). *Computers and Structures, Inc*. Recuperado el 20 de enero de 2019, de <http://www.csiespana.com/software/2/sap2000#>.
- Escamilla, J. U. (2004). *Análisis de estructuras*. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Invías (2006). *Manual para inspección visual de puentes y pontones*. Bogotá, D.C.: Universidad Nacional de Colombia.
- Jai B. Kim, R. H. (2013). *Simplified LRFD Bridge Design*. Boca Raton, Florida, EE.UU.: Taylor & Francis Group.
- McCormac, J., & Csernak, S. (2013). *Diseño de estructuras de acero*. Col. del Valle, México, D.F.: Alfaomega Grupo Editor, S.A.
- Mondorf, P. (2006). Arch Bridges. En P. Mondorf, *Concrete Bridges* (pp. 555-585). Nueva York: Taylor & Francis.
- National Institute of Building Sciences (Building Seismic Safety Council) (2004). *NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulation of New Buildings and Other Structures*. Washington, D.C.: Federal Emergency Management Agency (FEMA).
- Newmark, N. H. (1973). *Seismic Design Criteria for Nuclear Reactor Facilities, Building Practices for Disaster Mitigation*. Washington: National Bureau of Standards, U.S., Department of Commerce.
- Oldcastle Precast (s.f.). Recuperado el 20 de enero de 2019, de <http://www.oldcastleprecastspokane.com/Precast-Bridge-Culverts>.
- Pacadar (2016). Recuperado el 20 de enero de 2019, de <http://www.pacadar.es/>.
- Sánchez-Barbudo, I. H. (2009). *Pandeo lateral de estructuras metálicas en arco* (tesis doctoral). Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Scribd (s.f.). *SCRIBD*. Recuperado el 15 de marzo de 2019, de SCRIBD: <https://es.scribd.com/document/322415182/Modelos-Puntal-Tensor>.
- Serquen, I. A. (2016). *Puentes con AASHTO-LRFD 2014 (7th ed.)*. Per+u: Ing_ars@haotmail.com.
- Sísmica, A.C. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sísmorresistente, NSR-10*. Bogotá, D.C.: AIS.

Implementación y evaluación de dos filtros de cascarilla de arroz y luffa para el tratamiento de agua de escorrentía de techo del edificio I de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

Implementation and assessment of two rice husk and luffa filters to treat runoff water from the roof of Building I at Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

ANDRÉS EDUARDO PRIETO NÚÑEZ¹ - MARÍA PAULINA VILLEGAS DE BRIGARD²

1. Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

2. Magíster en Ciencias y Técnicas del Agua. Profesora titular de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

andres.prieto@mail.escuelaing.edu.co - maria.villegas@escuelaing.edu.co

Recibido: 22/06/2019 Aceptado: 30/06/2019

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista

<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

Con este trabajo de grado se pretende evaluar un sistema de tratamiento para agua lluvia de escorrentía de cubiertas, empleando materiales orgánicos lignocelulósicos como lecho en filtros de flujo descendente. Los materiales evaluados son la luffa cilíndrica (estropajo) y la cascarilla de arroz. El funcionamiento de los filtros se evaluará por medio de parámetros hidráulicos, así como de análisis físicos, químicos y biológicos que permitan establecer la eficiencia del proceso. El diseño conceptual de los filtros se basó en el diseño propuesto por A. Rim-Rukeh, G.O. Ikhifa ("Treatment of Harvested Rainwater in a Pilot Scale Fixed – Bed Filled with Bone Char"), el cual consiste en la construcción de un filtro piloto hecho con tubo PVC (50 cm de alto y 9 cm de diámetro), con lecho filtrante (cascarilla de arroz y luffa) a un nivel de 30 cm.

En cuanto a la verificación de la eficiencia del tratamiento, se hicieron análisis físicos y químicos que dieron como resultado los siguientes rangos finales: pH entre 6,39 y 7,10, turbiedad entre 0,5 y 4,5 NTU, sólidos suspendidos totales entre 8,0 y 58,0 ppm, DQO entre 18,6 y 38,8 mg/L ppm, DBO entre 9,12 y 10,10 mg/L y nitratos entre 0,7 y 1,3 mg/L N-NO₃.

En los primeros tres días de análisis, los resultados de turbiedad, pH, DQO y nitratos aumentaron después de la filtración, pero luego se empezó a observar que disminuyeron; esto demuestra que los filtros son funcionales y, además, prácticos, por lo que se pueden emplear en lugares carentes de tecnologías para satisfacer la necesidad del agua.

Palabras claves: sistema de filtración, luffa cilíndrica, cascarilla de arroz, agua lluvia.

Abstract

This work aims to assess a treatment system for rainwater roof runoff, using organic lignocellulosic materials as a base for descending flow filters. The assessed materials were cylindrical luffa and rice husk. The filters' performance is assessed through hydraulic parameters, as well as physical, chemical, and biological analyses, which allow to establish the process efficiency. The conceptual filter design was based on the one proposed by A. Rim-Rukeh, G.O. Ikhifa ("Treatment of Harvested Rainwater in a Pilot Scale Fixed – Bed Filled with Bone Char"), that is, building a pilot filter with PVC piping (50 cm long and 9 cm in diameter), with a filtering base (rice husk and luffa) at a 30 cm level.

As for verifying the treatment efficiency, physical and chemical analyses were run which showed the following results: pH between 6.39 and 7.10, turbidity between 0.5 and 4.5 NTU, total suspended solids between 8.0 and 58.0 ppm, DQO between 18.6 and 38.8 mg/L ppm, DBO between 9.12 and 10.10 mg/L, and nitrates between 0.7 and 1.3 mg/L N-NO₃. Within the first three days of analysis, turbidity, pH, DQO, and nitrates results increased after filtration, however, a decrease was observed later; this shows that the filters are functional and, besides, practical, so they can be used in places that lack technologies to satisfy water needs.

Keywords: filtration system, cylindric luffa, rice husk, rainwater.

INTRODUCCIÓN

En la antigüedad se consideraba el agua, desde una visión filosófica, como un elemento básico y representativo de todas las sustancias líquidas; dicha consideración se tuvo en cuenta hasta que la descartaron científicos como Pierre Le Petit y el británico Edmond Halley en la última mitad del siglo XVII. El agua es el compuesto más importante para todos los seres vivos, ya que estamos compuestos en gran mayoría de ella, y es sumamente necesario para todos los procesos tanto biológicos como económicos.

El hecho de que en su ciclo atravesase diferentes medios (subsuelos, superficie de la tierra y atmósfera) hace que el agua modifique su estado original y se cargue de materias en suspensión o en solución, como, por ejemplo, partículas de suelo, residuos de vegetación, organismos vivos (plancton, bacterias, virus), sales diversas, cloruros, sulfatos, carbonatos, materia orgánica, ácidos húmicos, residuos de fabricación, gases, etc.

Por efectos de la contaminación producida por una sociedad de consumo, nos enfrentamos con catástrofes irreversibles, como la contaminación de acuíferos, uso irracional de fuentes superficiales, y aunque se habla mucho de la importancia del agua, no hay una verdadera conciencia social sobre el cuidado que debemos tener al hacer uso de ella.

Las recientes sequías ocurridas en diversas partes del mundo han dado a conocer los riesgos de no tener opciones eficientes en materia de conservación del agua con respecto al desabastecimiento de este líquido en las zonas urbanas. Por tal motivo se hace necesario incursionar en procesos de cosecha del agua lluvia que, en términos más precisos, significa la captación, almacenamiento y conservación de agua.

El agua de lluvia recolectada es una valiosa fuente de agua para miles de usos. Sin embargo, el agua para el consumo humano y uso doméstico debe estar libre de importantes concentraciones de contaminantes. Se hace necesaria la implementación de un sistema alternativo, de bajo costo y fácil uso para la purificación del agua.

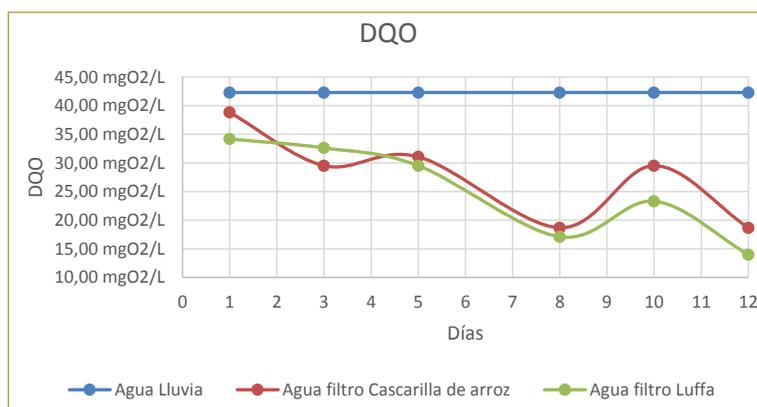
Esta investigación pretende presentar un método de tratamiento que utiliza un lecho fijo de material orgánico inerte, con el cual se intenta mejorar la calidad del agua lluvia; con esta tecnología se puede demostrar que, además de su fácil operación, tendrá una buena ventaja económica para suplir una parte de la demanda en lugares con difícil acceso al agua.

RESULTADOS

Las siguientes características fisicoquímicas se analizaron en el agua lluvia almacenada y en el agua lluvia filtrada.

DQO

Para el agua lluvia almacenada, antes de filtración, la DQO se encuentra en 42,3 mg/L. Luego de pasar por los filtros se obtuvo desde el primer día una disminución de ésta, llegando a valores de 18,6 mg/L y 14,0 mg/L para la cascarilla y la luffa, respectivamente, después de los doce días. Se obtuvieron remociones de 55,9 % para el filtro de cascarilla de arroz y de 66,9 % para el de luffa. En el filtro de cascarilla de arroz se evidencia un aumento entre los días 8 y 10, posiblemente debido a velocidades más altas de filtración e incremento de carga orgánica (gráfica 1).

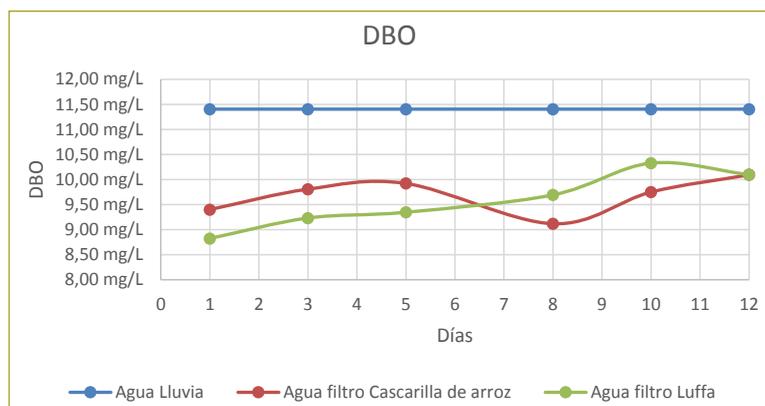


Fuente: Autor.

Gráfica 1. Remoción de DQO.

DBO

La DBO del agua lluvia almacenada fue de 11,4 mg/L. Una vez filtrada, se obtuvieron valores mínimos de 9,4 mg/L para el filtro de cascarilla de arroz y de 8,8 mg/L para el de luffa. La remoción de este parámetro en los filtros fue de 20,1 % en la cascarilla de arroz y 22,6 % en luffa (gráfica 2).

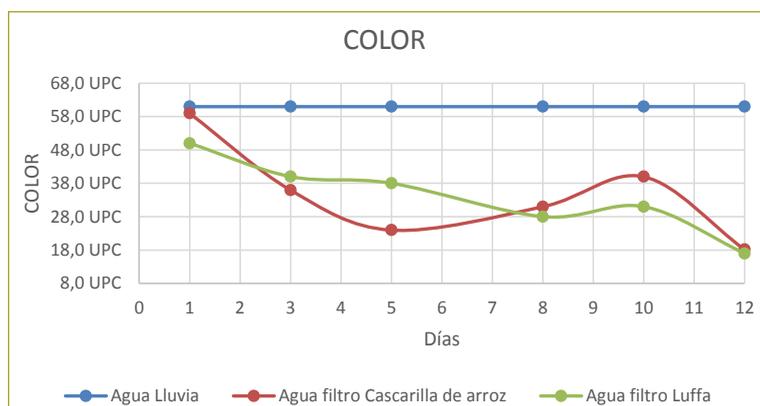


Fuente: Autor.

Gráfica 2. Remoción de DBO.

Color

El color dio como resultado 61 UPC para el agua lluvia sin filtrar. En ambos filtros se presentó una disminución del color, aunque se evidenció en el filtro de cascarilla de arroz un incremento entre los días 5 y 10 (gráfica 3).

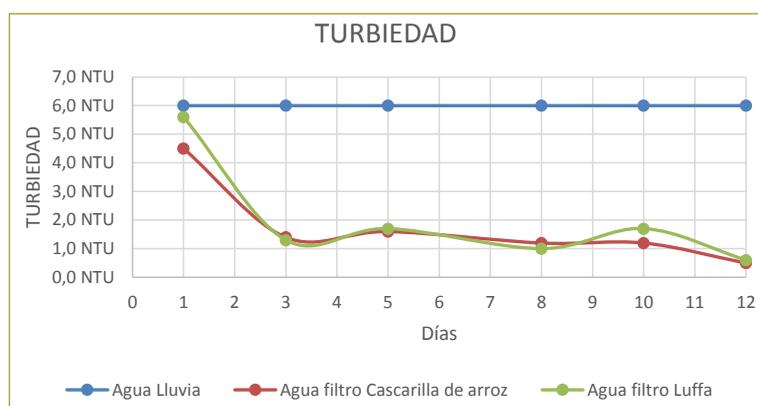


Fuente: Autor.

Gráfica 3. Remoción de color.

Turbiedad

Al determinar la turbiedad del agua almacenada antes de su paso por los lechos filtrantes, se obtuvo un resultado de 6,0 NTU, y al efectuar la valoración diaria para cada filtro se presentaron niveles bajos con tendencia a reducir cada día, lo que indica que a través del tiempo los filtros van reteniendo más partículas en suspensión. El porcentaje de remoción para este parámetro fue de 91,7 % en la cascarilla de arroz y 90,0 % en la luffa.

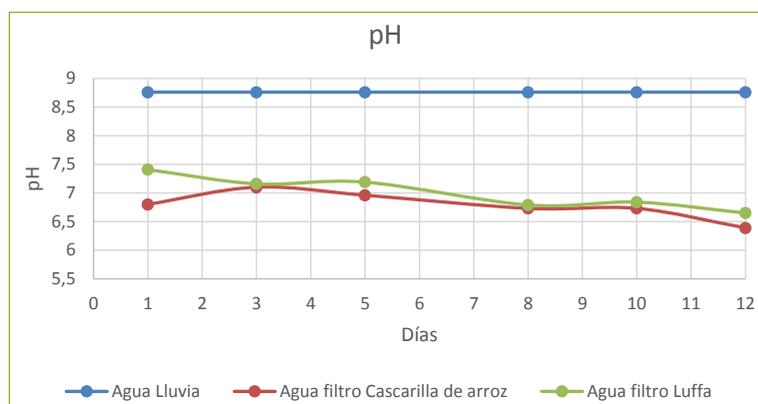


Fuente: Autor.

Gráfica 4. Remoción de turbiedad.

pH

El pH para los dos filtros no varió significativamente. Para el filtro de cascarilla de arroz se inició con un pH de 6,8 y se terminó con un pH de 6,39; para el filtro de luffa se inició con un pH de 7,41 y se terminó con un pH de 6,65. El valor del agua lluvia almacenada antes de filtrar fue de 8,70. En el caso del pH, el material filtrante posiblemente está aportándole al agua compuestos ácidos, ya que el pH para ambos filtros presentó una tendencia a disminuir.



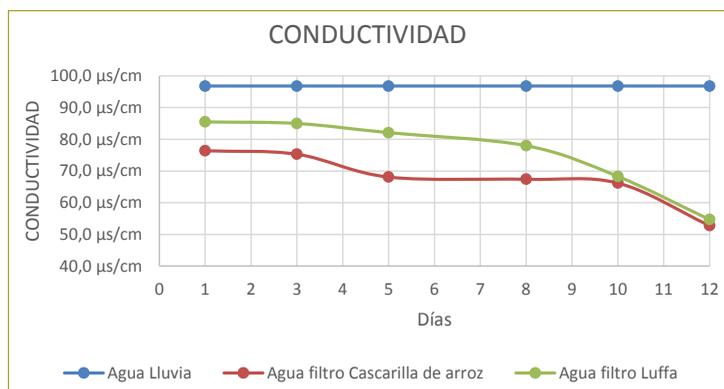
Fuente: Autor.

Gráfica 5. Variación del pH.

Conductividad

La conductividad del agua lluvia antes de filtrar fue de 96,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$; luego del paso por las columnas filtrantes se evidenció una disminución de conductividad, hasta el punto de que al final del periodo de estudio se obtuvo

un valor de 52,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para el filtro con cascarilla de arroz y 54,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para el filtro de luffa. Posiblemente, la disminución en los valores de conductividad se asocia a una reducción en los sólidos disueltos.

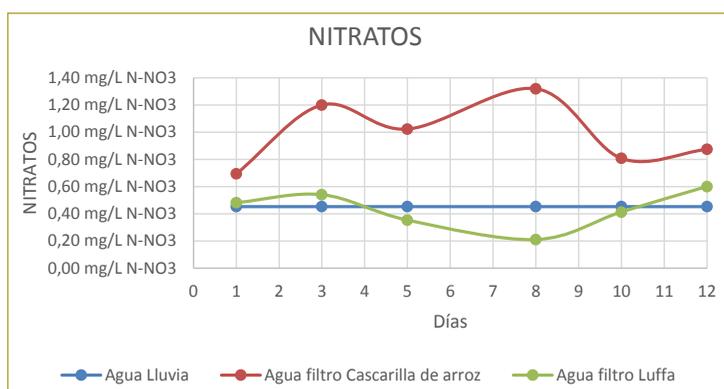


Fuente: Autor.

Gráfica 6. Variación de la conductividad.

Nitratos

Este parámetro se analizó para saber si las fumigaciones y fertilizantes que recibe el arroz tienen algún efecto en la cascarilla, y si posteriormente alterarían el agua lluvia filtrada. Con este análisis se pudo comprobar un aumento en el efluente del filtro de cascarilla de arroz, ya que el agua lluvia almacenada dio resultados de 0,45 mg/L N, y el agua filtrada mostró resultados que oscilan entre 0,69 y 1,20 mg/L N-NO₃, mientras que, para el filtro con lecho de luffa, los niveles de nitratos oscilaron entre 0,21 y 0,60 mg/L N. Posiblemente, estos resultados se deban a las cargas de nitrógeno con las que se fertilizan los cultivos de arroz.



Fuente: Autor.

Gráfica 7. Variación del contenido de Nitratos.

Sólidos suspendidos totales

Para el agua lluvia almacenada se determinó un valor de 92 mg/L de sólidos suspendidos. Luego de la filtración se observó una tendencia decreciente en el efluente de ambos filtros. Para el de cascarilla de arroz, el resultado final fue de 8 mg/L, mientras que en el de luffa fue de 12 mg/L. Las remociones para este parámetro fueron de 91,3 % para la cascarilla de arroz y de 87 % para la luffa.



Fuente: Autor.

Gráfica 8. Remoción de sólidos suspendidos.

Al terminar la evaluación de los filtros, se realizó un corte por la mitad de cada columna para conocer el estado en el que se encontraba el material filtrante. En la cascarilla de arroz se observó que el color pasó de su amarillo característico a café oscuro, y en la luffa se apreció un color negro parecido al moho del pan; además de un fuerte olor a descomposición en cuanto a la estructura filtrante, se observó una compactación del material tanto en la cascarilla de arroz como en la luffa (fotografías 1 y 2).

CONCLUSIONES

Al evaluar los resultados fisicoquímicos se encontró que los filtros estudiados lograron una remoción de 60 % de DQO, 21 % de DBO, 71 % de color, 91 % de turbiedad y 89 % de sólidos suspendidos totales. En cuanto a los nitratos, para el filtro de cascarilla de arroz se presentó un aumento, lo cual indica que el lecho filtrante aporta nitratos al agua. Aunque se observa una buena remoción de los contaminantes, esta agua no es apta para el consumo humano.



Cascarilla de Arroz antes del filtro.



Cascarilla de Arroz después del filtro

Fuente: Autor.

Fotografía 1. Estado de cascarilla de arroz antes y después de su uso.

Luffa antes del filtro.



Luffa después del filtro.

Fuente: Autor.

Fotografía 2. Estado de la luffa antes y después de su uso.

Los filtros estudiados demuestran una baja reducción de materia orgánica en el agua lluvia, pero son eficientes removiendo sólidos suspendidos, color y turbiedad. Aunque el agua no sea potable, se puede utilizar para otros fines, tales como riego de jardines, lavado de zonas duras o fachadas, y hasta emplearse en la descarga de sanitarios con una adecuación en las instalaciones hidráulicas.

La cascarilla de arroz y la luffa como lechos filtrantes tienen una corta vida útil por su tendencia a acumular microorganismos y material orgánico que puede descomponerse, por lo cual se hace necesario su remplazo periódico. Sin embargo, hace falta hacer más análisis al material o estudiar la posibilidad de efectuar retrolavados periódicos.

Se pudo observar que los filtros funcionan mejor a medida que la carga hidráulica va disminuyendo. Durante el periodo de prueba la tasa de filtración se

fue reduciendo, y los parámetros analizados mostraron mayor remoción.

Agradecimientos

El autor agradece a la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito por el aporte financiero dado para la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

- Rim-Rukeh, A., Awatafete, J., & Okoyoko, A. (2007). Treatment of harvested Rainwater in a pilot scale fixed-bed filled with bone char. *Journal of Applied of sciences Research*, 690-694.
- Lara, J. et al. (julio-diciembre de 2007). Aprovechamiento del agua lluvia para riego y lavado de zonas duras y fachadas en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá: *Ing. Univ.* 11 N.º 2, pp. 193-202.
- Buitrago, N. (2011). Cuantificación y caracterización de la calidad de agua de escorrentía de techo para el prediseño de una piscina de retención en el campus de la universidad nacional de Colombia (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente. Unidad de apoyo técnico en saneamiento básico rural (Unatsabar) (enero de 2001). Guía de diseño para captación del agua de lluvia. Lima.

Ballén J.A., Galarza M. A., & Ortiz R.O (junio de 2006). Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia en Colombia, seminario Iberoamericano sobre sistemas de abastecimiento urbano de agua.

Pachpute, J., Tumbo, S., & Sally, H. (2009). Sustainability of rainwater harvesting systems in rural catchment of sub-saharan Africa. *Water Resour Manage*, 2815-2839.

S. I. Efe (2006). Quality of rainwater harvesting for rural communities of Delta State, Nigeria: *Environmentalist* 26, pp. 175-181.

Louise, I. (2009). Rain's free and worth collecting. *Farmers Weekly*. Mar 27, vol. 150. N.º 13 pp. 12-13.

Davis, J.C. (julio - agosto de 2009). Harvesting Rain. *The Environmental Magazine*. 20, N.º 4, pp. 34-35.

Fallas y defectos en estructuras colombianas

Failures and defects in colombian structures

RICARDO ANDRÉS SAAVEDRA GUZMÁN¹ - PEDRO NEL QUIROGA SAAVEDRA²

1. Magíster en Ingeniería Civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

2. Profesor del programa de Ingeniería Civil y la maestría en Ingeniería Civil.

ricardo.saavedra@mail.escuelaing.edu.co - pedro.quiroga@escuelaing.edu.co

Recibido: 22/06/2019 Aceptado: 30/06/2019

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista

<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

La patología estructural es una disciplina profesional que tiene como propósito investigar las fallas y los defectos que aquejan a las estructuras, determinar sus causas reales y proponer alternativas de solución. Aunque hay numerosos textos y publicaciones de patología estructural, la mayoría de éstos provienen de países que tienen condiciones, sistemas y métodos constructivos diferentes; por lo tanto, no necesariamente los ejemplos expuestos en esta bibliografía se asemejan a los casos diarios que suceden en Colombia.

Palabras claves: patología estructural, fallas y defectos de estructuras.

Abstract

Structural pathology is a professional discipline whose purpose is to look into failures and defects that structures experience, to determine their actual causes, and to propose alternatives for solutions.

Although there are several texts and publications on structural pathology, most of them come from countries with different building systems, conditions, and methods; therefore, not all the examples in this bibliography are necessarily similar to the cases found in Colombia.

Keywords: structural pathology, structural failures and defects.

INTRODUCCIÓN

Los daños, defectos y demás manifestaciones físico-químicas que pueden aquejar una estructura son investigados por la patología estructural, rama de la ingeniería civil que en los últimos años ha ganado mayor interés, en parte por la necesidad de actualizar las edificaciones al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, ya que en el desarrollo de esta actividad se han encontrado fallas y deficiencias que han requerido un estudio más profundo de sus causas.

Existen muchos textos y publicaciones que presentan casos de fallas en construcciones. Sin embargo, la información proviene de otros países y los ejemplos o casos de estudio de dicha bibliografía no necesariamente se ajustan a la formación profesional, los materiales, los procesos constructivos, la práctica profesional y los agentes atmosféricos del país.

FALLAS Y DEFECTOS EN ESTRUCTURAS COLOMBIANAS

Las fallas o defectos son manifestaciones químicas y físicas que afectan a las estructuras o un elemento que forma parte de ellas. Se pueden originar en cualquiera de las fases de la obra civil, ya sea desde sus inicios por errores en la planeación y el diseño, por falencias durante la etapa constructiva o defectos en los materiales, así como el uso y mantenimiento de las estructuras.

El porcentaje en el que se originan las fallas y defectos difiere de acuerdo con las etapas de la obra civil. Estos porcentajes pueden variar dependiendo del autor e incluso del país, pero la gran mayoría coincide en que el mayor número de patologías se generan en la etapa de diseño.

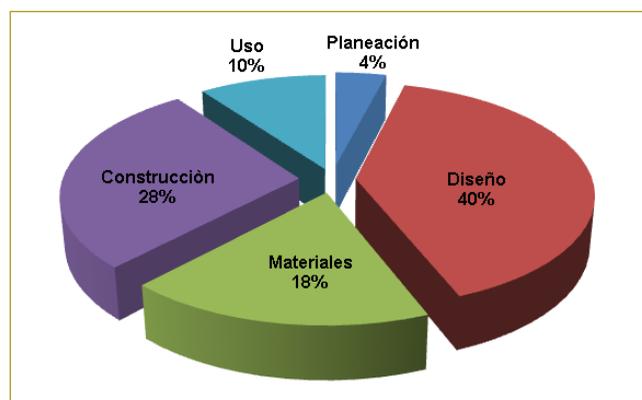


Figura 1. Origen de los problemas patológicos en relación con las etapas de las obras civiles (Helene, 2015).

Según Broto (2005) y Helene (2015), la patología estructural es la ciencia que se encarga de estudiar el origen de las causas de las fallas y defectos de las estructuras, brindar un tratamiento y recuperar el nivel de servicio original y de seguridad de éstas.

Un adecuado estudio patológico es aquel que aclara por completo la secuencia temporal de la falla o defecto, define los síntomas, plantea el proceso de evolución y establece su origen o causa.

Tipos de fallas y defectos de las estructuras

Para Broto (2005), las fallas o defectos son el resultado final de un proceso patológico de la estructura; la identificación apropiada del tipo de falla permitirá plantear una adecuada solución. En una estructura, pueden existir fallas que se originaron a partir de otras; por lo tanto, una primera distinción son las fallas primarias y secundarias, y estas últimas son una consecuencia de las primeras.

En general, las fallas o defectos pueden agruparse en tres grandes familias, dependiendo del tipo de acción que las provoca y de la evolución del proceso:

- **Fallas por procesos mecánicos**

Corresponden a los daños generados por acción de un esfuerzo mecánico, que generan desplazamientos, movimientos, roturas, separaciones y desgaste; están relacionadas con la función de soporte o de resistencia ante cargas que cumple el elemento o la estructura. Dentro de esta familia se pueden distinguir:

- Deformaciones.
- Grietas y fisuras.
- Desprendimientos.
- Erosiones mecánicas.

- **Fallas por procesos físicos**

Estas fallas son originadas por la acción de factores meteorológicos (heladas, condensación de partículas del ambiente, viento, entre otros) sobre elementos estructurales y no estructurales que generalmente están localizados en el exterior de las estructuras. Estos procesos causan cambios, sobre todo en el tamaño y

aparición de los elementos, sin involucrar un cambio químico de los materiales que los constituyen; en este tipo se pueden diferenciar:

- Humedad (de obra, capilar, de filtración, de condensación y accidental).
- Erosión.
- Suciedad (por depósito y por lavado).

• Fallas por procesos químicos y biológicos

Estas fallas son originadas por agentes externos que atacan la composición de los materiales generando alteraciones de carácter químico y biológico en el elemento, se pueden diferenciar cuatro subgrupos:

- Eflorescencias.
- Corrosión.
- Erosión química.
- Biológicos (animales y vegetales).

Metodologías de exploración, evaluación y diagnóstico de estructuras

Las metodologías de exploración, evaluación y diagnóstico de estructuras están encaminadas a definir un procedimiento, ya sea de reparación, rehabilitación o reforzamiento de una estructura, con el fin de garantizar el estado inicial de seguridad y funcionalidad.

La clave de toda metodología es identificar adecuadamente el origen de la falla que habita en las estructuras, de lo cual depende la eficacia de los procedimientos definidos para subsanarlas; sin embargo, todo empieza con una adecuada recopilación de información y de unas acciones apropiadamente definidas, encaminadas para su exploración.

A continuación se hace referencia a una serie de metodologías, pautas y protocolos de varios autores para los estudios patológicos de las edificaciones, las cuales brindan una secuencia organizada para llevar a cabo este tipo de estudios y se pueden emplear en la mayoría de las estructuras.

Paulo Helene indica “que el diagnóstico adecuado y completo es aquel que esclarece todos los aspectos del problema”, entre los cuales están los síntomas, el mecanismo, el origen, las causas, las consecuencias, la terapia y el procedimiento.

En su *Manual de patología de la edificación*, López, Rodríguez, Santa Cruz, Torreño y Úbeda establecen un paralelo entre la actuación de un médico respecto de la aparición de una enfermedad o patología en el ser humano y las actuaciones que debe efectuar el patólogo de la edificación cuando se presenta una patología o lesión en una estructura, dividiendo la metodología en cinco fases: estudio, dictamen, decisión, ejecución y comprobación.

Para Juan Monjo, “un estudio patológico es un análisis, el cual tiene que seguir una línea inversa al proceso, yendo del efecto a la causa; dicho análisis debe ser metódico y exhaustivo, como si se tratara de una investigación criminal”; de acuerdo con lo anterior, plantea cuatro etapas para llevar a cabo el análisis: observación de los daños, toma de datos, análisis del proceso y propuesta de actuación.

Carles Broto, por su parte, en su *Enciclopedia Broto de patologías de la construcción* recomienda que el análisis del estudio de patología sea preciso; por lo tanto, se debe “**adoptar** un método sistemático de observación y toma de datos y **limitar** las posibles ideas preconcebidas, es decir, contener la intuición profesional”. Para el autor se deben analizar la capacidad resistente, la integridad, la forma y el aspecto de la estructura, para lo cual propone las siguientes fases: observación, toma de datos, inspecciones técnicas, análisis del proceso (determinando causas, diagnóstico, evolución y seguimiento) y actuación.

A diferencia de los otros autores, Muñoz plantea que no resulta fácil definir una metodología para la evaluación y diagnóstico de una estructura; de igual manera, indica que tampoco es fácil señalar una sola interpretación para un tipo de deterioro, por lo que brinda algunos criterios respecto al tipo de inspección: la investigación documental, la metodología del levantamiento gráfico de patologías, el recuento fotográfico, la planeación y definición de ensayos, el diagnóstico de patologías, la descripción del sistema estructural y la elaboración del informe de la inspección detallada, los cuales apoyan la labor de diagnóstico con el fin de lograr una mejor interpretación de los daños que se manifiestan en una edificación.

Díaz, a su vez, en su trabajo de grado indica que “es necesario unificar criterios para orientar la práctica de los especialistas de la patología de la construcción en Colombia”. Por lo tanto, muestra una secuencia de

actuación en los estudios de patología de la construcción en edificaciones de concreto reforzado de mediana altura, y la divide en dos fases: la primera, investigación preliminar, que su vez se divide en documentación (información general), observación de campo (detección e identificación de lesiones), toma de datos, informe preliminar y la segunda fase denominada investigación detallada que se discrimina en documentación (informa-

ción del diseño y construcción), observación de campo (verificación de construcción), muestreo y material de prueba, evaluación e informe final.

A partir de los planteamientos de estos autores y de la experiencia propia se presenta una propuesta de metodología, la cual se resume en el siguiente esquema (figura 2).

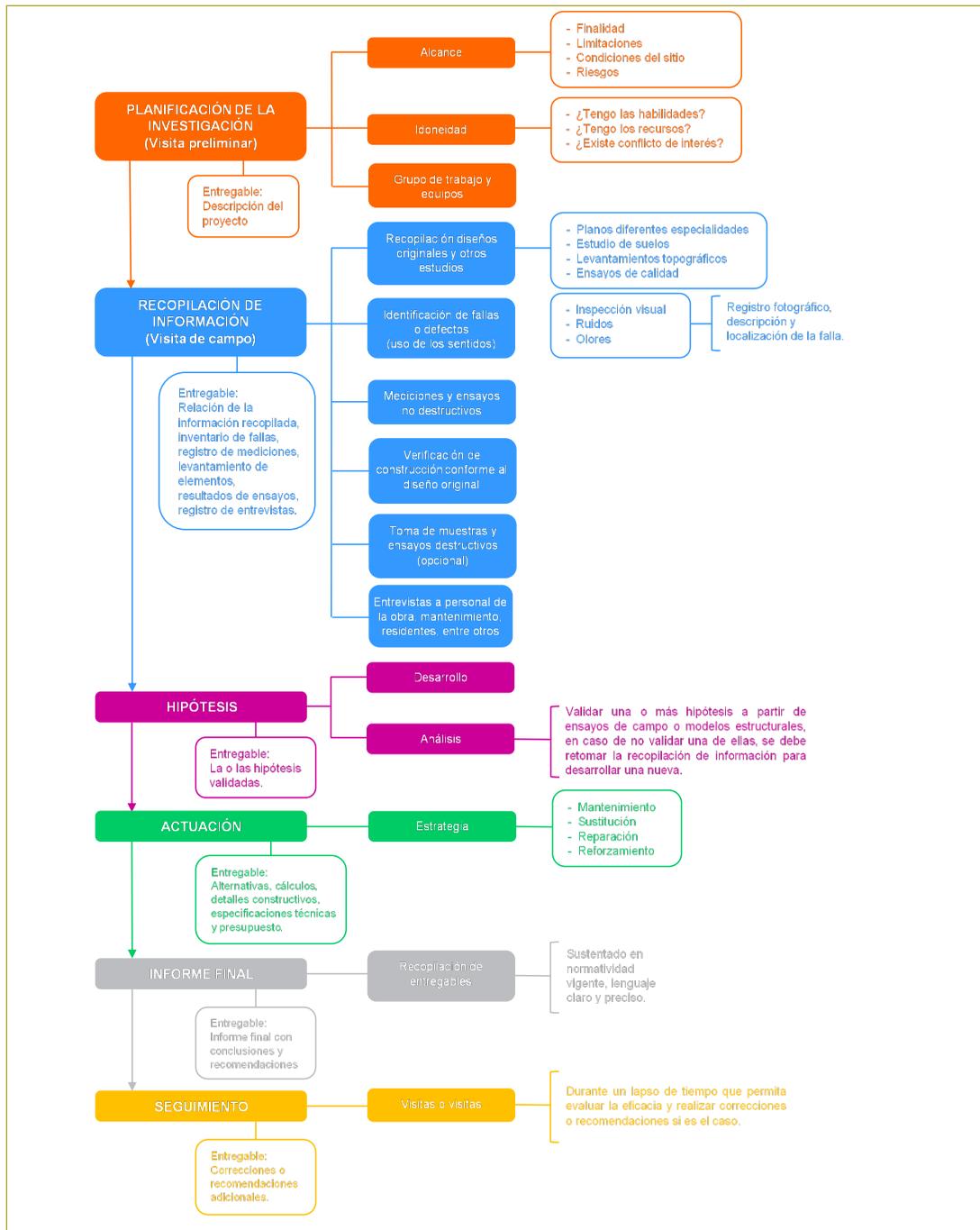


Figura 2. Propuesta de metodología de exploración, evaluación y diagnóstico de estructuras.

CASOS COLOMBIANOS DE FALLAS Y DEFECTOS DE ESTRUCTURAS

En el desarrollo del análisis de algunas causas y defectos de casos colombianos, se incluyó una serie de casos relacionados con diferentes tipos de estructuras, mampostería, concreto reforzado y metálicas, abarcando patologías que se suscitaron en cada etapa del proyecto constructivo.

La selección de los casos se hizo a criterio del autor, de tal modo que se mostrara una variedad de fallas y defectos, teniendo como origen la experiencia propia, la colaboración de administradores de propiedad horizontal, ingenieros colegas y fallas o defectos de estructuras localizados en el espacio público.



Figura 3. Origen de los casos.

En la medida de lo posible, a cada caso se le hizo una descripción del proyecto, se identificaron fallas y defectos, se establecieron posibles causas, se plantearon posibles soluciones y se destacaron las enseñanzas.



Figura 4. Etapas de desarrollo de los casos de estudio.

Durante la recopilación de información y el desarrollo de los casos, se encontró una serie de limitaciones relacionadas con información incompleta (por ejemplo, tipo de acero de los perfiles de una de las estructuras). En otros casos, no fue posible revelar el cliente final, dificultando la contextualización de la falla o el defecto; en otras oportunidades, la solución propuesta no se eje-

cutó, lo que impide evaluar su eficacia; en otros casos, la información se convirtió en reserva del sumario, lo cual dificulta su desarrollo.



Figura 5. Limitaciones durante el desarrollo de los casos.

Los casos desarrollados en el proyecto de investigación corresponden al siguiente listado:

- *Remodelación de dormitorios.* Pandeo de elementos de cercha metálica existente
- *Casa del administrador de la casa campestre.* Asentamiento diferencial.
- *Edificio residencial.* Afloramiento de agua en pisos de parqueaderos de sótanos.
- *Brazo pescante.* Falla en prueba de carga.
- *Casa de bombas.* Evaluación estructural por renovación de equipos.
- *Cubierta de marquesina.* Pandeo de vigas en etapa de montaje.
- *Edificio residencial.* Humedad recurrente en la pared.
- *Puente vehicular.* Daños en vigas longitudinales.
- *Edificio de oficinas.* Fisuramiento prematuro de vigas de cubierta.
- *Bodega de almacenamiento liviano.* Rotura de placa de contrapiso.
- *Vía local.* Rugosidad y microfisuración de carpeta asfáltica.
- *Hangar.* Fisuración de placas de piso.
- *Edificio residencial.* Asentamiento diferencial de cubiertas auxiliares.
- *Caseta de acceso.* Fisuración de losa de cubierta.
- *Muelle flotante.* Deflexión excesiva pasarela de acceso.
- *Puente grúa 5 t.* Descarrilamiento constante.
- *Plataforma de puente peatonal de acceso a tanques de combustible.* Deformación de elementos y corrosión de la estructura.

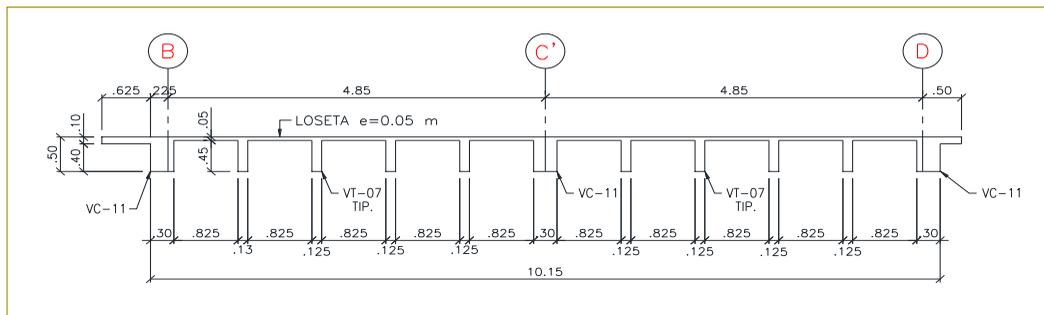


Figura 6. Corte transversal de placa de contrapiso.

- *Caseta de la estación.* Retraso de puesta en servicio de estructura por refuerzo incompleto de cubierta.
- *Bodega del parque industrial.* Asentamiento de columnas de fachada.
- *Estructura de soporte de equipo.* Defectos en proceso de galvanizado.

De los casos desarrollados, se presentan a continuación dos a manera de ejemplo.

Bodega de almacenamiento liviano. Rotura placa de contrapiso

Descripción del proyecto. Cubierta metálica liviana, constituida por cerchas en celosía y columnas en perfiles tipo alma llena, apoyada sobre una placa de contrapiso tipo área (vigas descolgadas y loseta superior de 5 cm), soportada por pilotes.

Fallas y defectos. Después de haber recibido la construcción por parte del cliente, éste inicia el almacenaje de equipos de aire acondicionado livianos (150 kg) por medio de un montacargas.

En uno de los recorridos del montacargas la torta superior cedió, por lo que el equipo quedó atrapado en uno de los casetones; al retirar el equipo, se detectaron rotura y fisuramiento en la placa a lo largo de una junta existente.

Causa probable. Junta de contracción paralela a las viguetas ordenada por el residente de obra, la cual no estaba indicada en los planos estructurales. Al explorar la placa de contrapiso, se encontró que al construir la junta se realizó un corte con una profundidad de unos 4 cm, cortando el acero de refuerzo y modificando el comportamiento estructural de la loseta pues ésta trabajaría como voladizo.

Solución recomendada. Demoler la “torta” superior (5 cm) de la placa de contrapiso y volver a fundirla; con

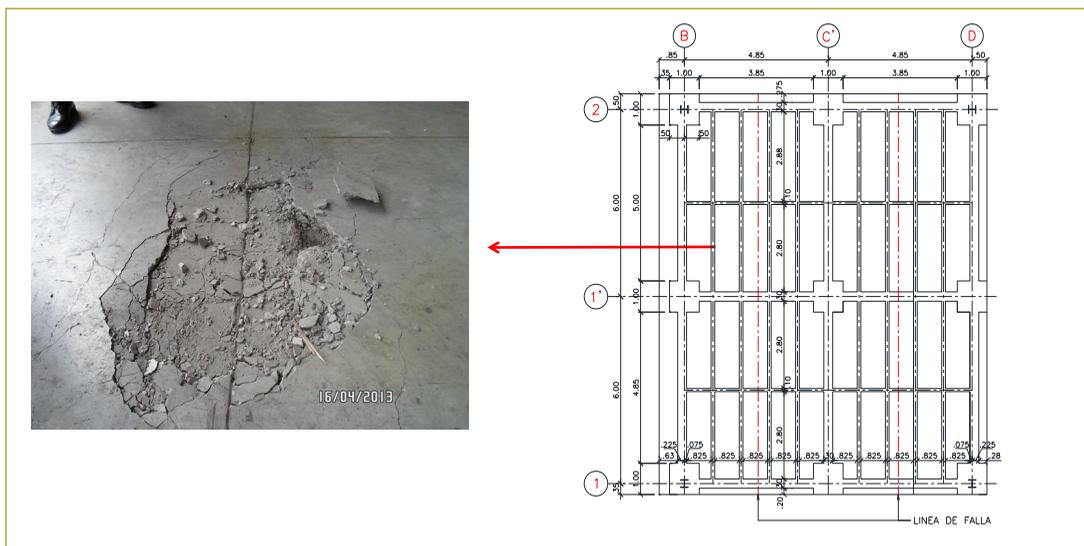


Figura 7. Falla en placa de contrapiso.

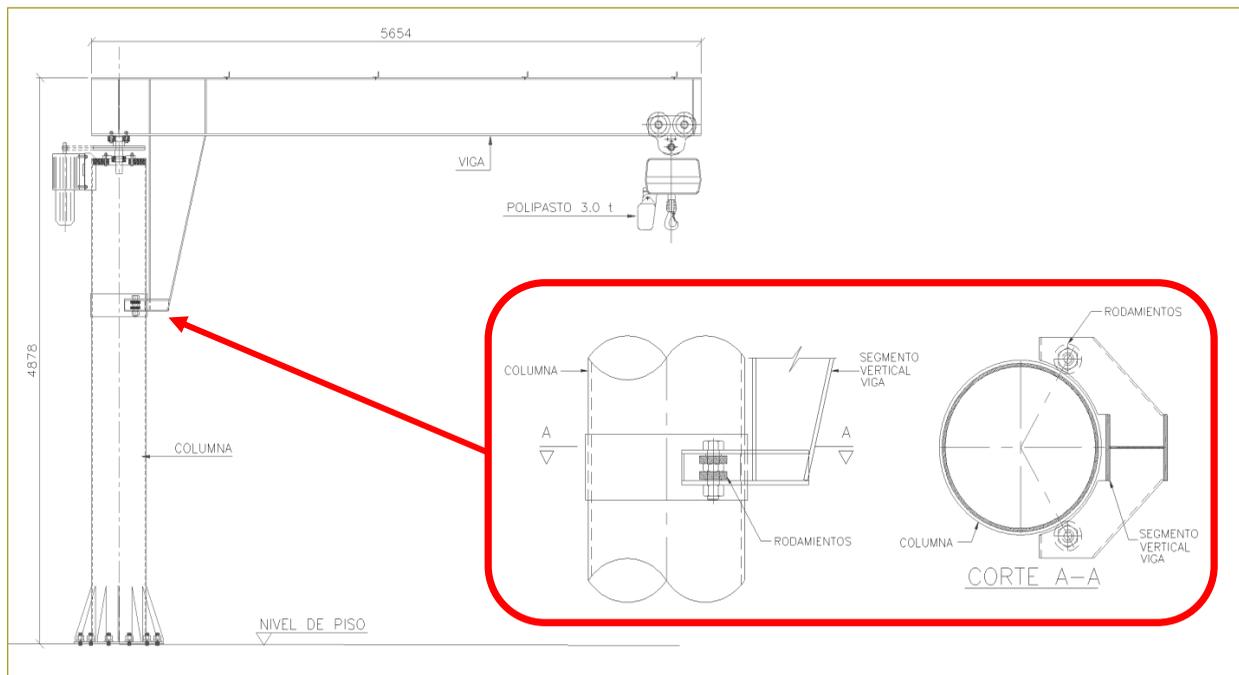


Figura 8. Alzado brazo pescante.

esto se evitaba la apariencia de un producto reparado y, por el contrario, se recuperaría su estado estético por tratarse de una estructura nueva.

Enseñanzas. Se debe tener precaución al realizar juntas en elementos de concreto, pues el acero de refuerzo no debe ser afectado por éstas.

En ocasiones, construir de nuevo un elemento de concreto resulta más económico que hacer reparaciones; además, brindan un mejor acabado y el cliente final estará más conforme respecto al producto terminado.

Brazo pescante. Falla en prueba de carga

Descripción del proyecto. Viga metálica tipo IPE en voladizo, apoyada en uno de sus extremos sobre una columna metálica de $\phi 20''$; la viga gira 320° alrededor de la columna por medio de un motorreductor en la parte superior de la columna y una serie de rodamientos instalados en un segmento vertical de la viga, para que ésta se desplace sobre la cara de la columna, su uso está destinado para cargar y descargar de insumos en una planta de producción de perfiles, cuya capacidad es de 3 t.

Fallas y defectos. En prueba de carga, se evidencia deformación excesiva en el extremo libre de la viga ($\delta_{vert} = 81 \text{ mm}$ vs. $\delta_{adm} = L/225 = 23 \text{ mm}$), generando

dificultad para que el polipasto se desplazara sobre la viga; después se rompe la cadena del motorreductor y se desacopla parcialmente la viga; el cliente declara prueba de carga insatisfactoria y genera no conformidad.

Causa probable. Se descarta falla en la fabricación de la estructura con una inspección de calidad, se declara falla en el diseño al evidenciar una definición inadecuada en el programa de computador del tipo Equal en los puntos de apoyo de la viga, sobre la cara de la columna, que limitaba la deformación de la viga en dirección vertical, originada por solicitud del director de diseño para ajustar modelo estructural al modelo elaborado en el prediseño de la oferta (viga sobre columna con pie de amigo), con el fin de no incrementar los costos de producción.

Solución recomendada. Hacer un nuevo diseño estructural atendiendo los hallazgos; de este modo, se obtuvieron tanto una viga como una columna de mayores dimensiones, cumpliendo los requisitos de funcionalidad y seguridad al realizar la nueva prueba de carga.

Enseñanzas. Al construir un modelo estructural por computador se deben definir características, de tal manera que se refleje la realidad del comportamiento de la estructura y no una forma idealizada de ésta (figura 9).

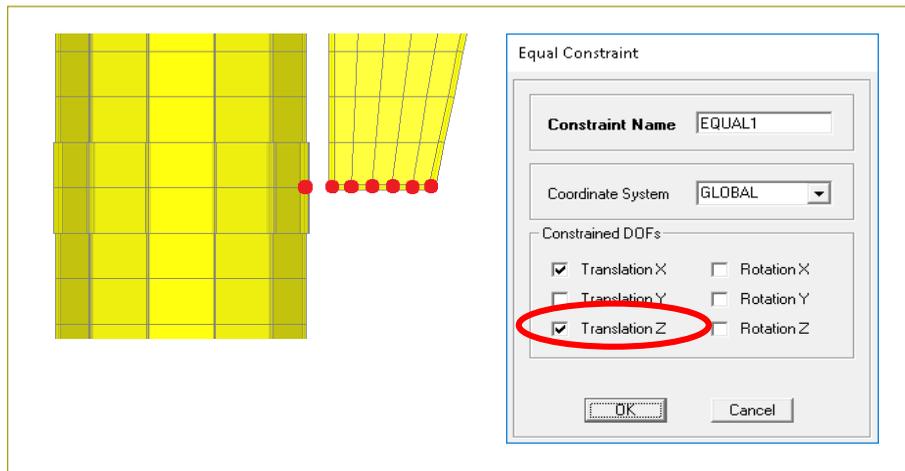


Figura 9. Definición de condición tipo EQUAL no adecuada.

CONCLUSIONES

Gracias a la investigación hecha se pudieron recopilar los tipos de patología más frecuentes que aquejan las estructuras, lo que le da al lector las bases para la identificación del origen de las fallas o daños, lo cual es el paso inicial para la evaluación patológica de una estructura. Sin embargo, queda en manos del lector la profundización de los temas expuestos, con el propósito de desarrollar un diagnóstico exitoso en futuros casos de estudio de fallas en los que tenga oportunidad de participar a lo largo de su vida profesional.

Las metodologías de exploración, evaluación y diagnóstico de las estructuras expuestas en este proyecto permiten abordar, desde diferentes puntos de vista, las fallas y defectos que habitan en las estructuras, con el fin común de discernir el origen de dichas afectaciones y proponer una solución. No obstante, está en manos del profesional y su criterio la aplicación adecuada de éstas para establecer las hipótesis más acertadas y definir las acciones más eficaces, encaminadas a recuperar el estado de funcionalidad y seguridad básica de las estructuras.

Aunque se propone y recomienda una metodología para la exploración, evaluación y diagnóstico de estructuras, ésta no es una camisa de fuerza que deba seguir el profesional, pues teniendo en cuenta que cada proyecto es único, tal vez sea necesario combinar varias de ellas o incluso crear una nueva, lo cual se deja a juicio del ingeniero.

Por otro lado, el análisis de algunos casos de fallas y defectos de estructuras construidas en Colombia permitió evidenciar que el origen de dichos daños proviene de las diferentes etapas del proyecto de construcción, tanto desde su concepción y el diseño, como del proceso constructivo, su uso y mantenimiento. Sin embargo, el estudio y el diagnóstico de las afectaciones evidenciadas permitieron, en la mayoría de los casos, que dichas estructuras tuvieran una segunda oportunidad para seguir cumpliendo la función para la que se concibieron inicialmente.

Este proyecto de investigación servirá para concientizar al lector respecto a la función social que cumple la ingeniería civil en la sociedad colombiana, ya que las falencias o deficiencias que se pueden evidenciar en los procesos que se llevan a cabo para la construcción de una estructura, no sólo pueden llegar a afectar la funcionalidad de ésta, sino también pueden llegar a afectar la condición de seguridad, poniendo en riesgo la vida de sus usuarios u ocupantes.

Por último, vale la pena destacar que aunque los estudios de patología estructural, en la mayoría de los casos, permiten recuperar la funcionalidad y seguridad de una estructura afectada por fallas o defectos, los profesionales deben tener claro que una reparación o rehabilitación estructural resulta mucho más costosa que desempeñar un buen trabajo desde el principio, cuando se participa en alguna de las fases de un proyecto de obra civil.

REFERENCIAS

- Broto, C. (2005). *Enciclopedia Broto de patologías de la construcción*. Barcelona: Links International.
- Díaz, P. (2014). *Protocolo para los estudios de patología de la construcción en edificaciones de concreto reforzado en Colombia* (trabajo de grado). Bogotá.
- Escola, R. (1993). *Construcciones con defectos, fallos o peligros*. Bilbao.
- Helene, P. (2015). *Manual para reparación, refuerzo y protección de las estructuras de concreto*. México, D.F.: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- López, F., Rodríguez, V., Santa Cruz, J., Torreño I. & Úbeda, P. (2004). *Manual de patología de la edificación*. Madrid: Departamento de Tecnología de la Edificación, Universidad Politécnica de Madrid.
- Monjo, J. (1997). *Patología de cerramientos y acabados arquitectónicos*. Madrid: Munilla-Lería.
- Monjo, J. & Maldonado, L. (2001). *Patología y técnicas de intervención en estructuras arquitectónicas*. Madrid: Munilla-Lería.
- Muñoz, H. (2001). Evaluación y diagnóstico de las estructuras de concreto. Seminario Instituto del Concreto (Asocreto). Bogotá.

REVISTA DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

Alcance y política

El objetivo de la *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería* es difundir artículos técnicos que contribuyan al desarrollo del país a través de una publicación con alta calidad editorial y rigor científico.

La revista acepta prioritariamente los siguientes tipos de trabajos, que le permiten mantener su categorización:

1. **Artículo de investigación científica y tecnológica.** Documento que presenta, de manera detallada, los resultados originales de proyectos de investigación. La estructura generalmente utilizada contiene cuatro apartes importantes: introducción, metodología, resultados y conclusiones.
2. **Artículo de reflexión.** Documento que presenta resultados de investigación desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico, recurriendo a fuentes originales.
3. **Artículo de revisión.** Documento producto de una investigación donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones publicadas o no publicadas, sobre un campo en ciencia o tecnología, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo. Se caracteriza por presentar una cuidadosa revisión bibliográfica.

También admite artículos de las siguientes tipologías:

4. **Artículo corto.** Documento breve que presenta resultados originales preliminares o parciales de una investigación científica o tecnológica, que por lo general requieren una pronta difusión.
5. **Reporte de caso.** Documento que presenta los resultados de un estudio sobre una situación particular, con el fin de dar a conocer las experiencias técnicas y metodológicas consideradas en un caso específico.
6. **Revisión de tema.** Documento resultado de la revisión crítica de la literatura sobre un tema en particular.

Cabe destacar que se privilegian para la revista los tipos de artículos de los numerales 1, 2 y 3.

La revista circula trimestralmente y recibe sólo artículos inéditos. Los trabajos recibidos se someten al concepto de pares académicos y del Consejo Editorial.

Requisitos para la publicación de artículos

Los artículos presentados a la revista deben remitirse por correo electrónico a revista@escuelaing.edu.co, adjuntando los siguientes formatos debidamente diligenciados: autor.doc, clasificación.doc y tipo.doc, cuyos archivos se pueden descargar de <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>. En este mismo sitio está disponible la plantilla guía que contiene la estructura determinada por la revista para los artículos.

Scope and policy

Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería disseminates technology articles helping to our country development. It emphasises on its high quality print and its scientific rigour. Articles submitted for publication shall be classified into one of the following categories— which allow it keeps its indexation:

1. **Scientific and technological research article.** These documents offer a detailed description about the original findings of research projects. In general, the usually used structure contains four important sections: introduction, methodology, results and conclusions.
2. **Reflection article.** These documents present the results of a research project on a specific, interpretative, or critical view by the author about a particular topic by using original sources.
3. **Review.** A document resulting from a finished research, where the published and/or unpublished findings of investigation in a particular field of science or technology are analysed, systematised and integrated to report the progress and the development tendencies. These documents include a careful bibliographic review.

Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería also accepts the following types of articles:

4. **Short article.** A brief text presenting the original, preliminary and/or partial results of a scientific or technological study, which normally need to be disseminated as quickly as possible.
5. **Case report.** A document that presents the results of a study on a specific situation in order to report the technical and methodological experiences considered in a particular case.
6. **Thematic review.** These documents are the product of a critical review of literature on a particular topic.

Our revista privilege articles as the highlight ones in numbers 1, 2 and 3.

Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería is a quarterly publication that only accepts unpublished articles. The revista submits all the papers to the verdict of two academic peers, who evaluate the article.

Ruling for publication

The article must be sent by e-mail to revista@escuelaing.edu.co with 3 files attached: Author.doc, Classification.doc and Type.doc available in <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>. There is also a template guide for the structure of the article (template guide.doc).