

- Desequilibrio monetario.
- Utilización de agregado grueso de concreto reciclado en elementos estructurales de concreto reforzado.
- Factibilidad de reúso de aguas negras en edificaciones.
- Estudio geométrico a desnivel para posibles intersecciones vehiculares en la Caracas (tramo calle 76 - calle 28).
- Propuesta de evaluación de herramientas de monitoreo para plataformas tipo nube.
- Enseñanza del electromagnetismo usando la experimentación y software de simulación.
- La historia de un sueño frustrado plasmado en un billete: Jorge Eliécer Gaitán.



## CONSEJO DIRECTIVO DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

**PRESIDENTE** EDUARDO SILVA SÁNCHEZ

**VOCALES** MYRIAM ASTRID ANGARTITA GÓMEZ  
LUIS GUILLERMO AYCARDI BARRERO  
ÁLVARO GONZÁLEZ FLÉTCHER  
ARMANDO PALOMINO INFANTE  
RICARDO QUINTANA SIGHINOLFI  
HÉCTOR ALFONSO RODRÍGUEZ DÍAZ  
JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS  
GERMÁN RICARDO SANTOS GRANADOS  
JUAN MANUEL LUNA GORDILLO  
(representante de los profesores)  
VALENTINA VILLAMIZAR YÁÑEZ  
(representante de los estudiantes)

**RECTOR** GERMÁN EDUARDO ACERO RIVEROS

**SECRETARIO** RICARDO ALFREDO LÓPEZ CUALLA

## REVISTA DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

**DIRECTOR** JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS

**COMITÉ EDITORIAL** CLAUDIA JEANNETH RÍOS REYES  
PAULA XIMENA RÍOS REYES  
HÉCTOR ALFONSO RODRÍGUEZ DÍAZ  
GERMÁN RICARDO SANTOS GRANADOS

**DIRECCIÓN EDITORIAL** CRISTINA SALAZAR PERDOMO

**EDICIÓN** **DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN**  
JORGE CAÑAS SEPÚLVEDA  
**CORRECCIÓN DE ESTILO**  
ÉLKIN 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](mailto: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.

# Contenido

## 5 / EDITORIAL

### ¿Están las nuevas tecnologías cambiando nuestro raciocinio y nuestro sentido de la ética?

*Jairo Uribe Escamilla*

## 7-17

### Desequilibrio monetario

*Eduardo Sarmiento Palacio*

La ley de Say es una de las proposiciones más influyentes de la ciencia económica. Durante dos siglos los clásicos sostuvieron que el principio se cumplía como una identidad; la suma de los excesos de demanda de bienes y servicios es igual a cero. En la teoría general, Keynes deja al descubierto que el principio no es válido y lo responsabiliza de haber causado serios daños a la humanidad.

## 19-28

### Utilización de agregado grueso de concreto reciclado en elementos estructurales de concreto reforzado

*Libardo Enrique Arriaga Tafburt- Nancy Torres Castellanos - Pedro Nel Quiroga Saavedra*

En este artículo se discute el comportamiento estructural de elementos de concreto reforzado que contienen agregado grueso de concreto reciclado y cómo se comparan con los elementos de concreto convencional. Los elementos estructurales se ensayaron a flexión (vigas continuas y placas) y a cortante (vigas altas y ménsulas). Los resultados obtenidos sugieren que el uso de agregado grueso de concreto reciclado es viable para aplicaciones estructurales.

## 29-38

### Factibilidad de reúso de aguas negras en edificaciones

*John Céspedes Romero - Jairo Alberto Romero Rojas*

A lo largo de este artículo se presentan los resultados de las investigaciones y ensayos de laboratorio hechos para determinar la factibilidad de reúso de aguas negras en edificaciones.

## 39-46

### Estudio geométrico a desnivel para posibles intersecciones vehiculares en la Caracas (tramo calle 76 - calle 28)

*Lorena Yinet Ortigón Cáceres - Adolfo Camilo Torres Prada*

En esta investigación se hizo un reconocimiento sobre los niveles de tráfico y accidentalidad que se presentan diariamente en la avenida Caracas. Con la ayuda de diferentes herramientas, como por ejemplo AutoCAD Civil 3D, Google Earth y Google Maps, se logró realizar un diagnóstico de la geometría actual y proponer

# Contenido

nuevas alternativas geométricas que pueden ayudar a resolver los problemas de movilidad que se presentan en estos tramos específicos, los cuales son de gran importancia.

## **47-55**

### **Propuesta de evaluación de herramientas de monitoreo para plataformas tipo nube**

*Andrés Ricardo Rodríguez Chona - Andrés Mauricio Patiño Arias - Claudia Patricia Santiago Cely*

A lo largo de este artículo se presenta una metodología para la evaluación de herramientas de monitoreo para la nube que se basa en una matriz de evaluación. Dicha matriz de evaluación se compone de dos dimensiones: la primera de perspectivas y la otra de criterios. Dichas dimensiones son parametrizables mediante la definición de los pesos de importancia de cada una y por medio de la definición de tantos criterios como se crean necesarios para obtener una mejor evaluación de las herramientas.

## **57-65**

### **Enseñanza del electromagnetismo usando la experimentación y software de simulación**

*Heindel Ricardo Otero Arévalo - Carlos Collazos Morales - Jaime José Isaza Ceballos - Martha Pimienta Giraldo - Liliana Pedraza Vega*

El propósito de este artículo es mostrar que, con la ayuda de la parte experimental y con el uso de simuladores de *software* computacional, el aprendizaje del electromagnetismo se vuelve más sencillo y los conceptos físicos pueden quedar claros en la mente de los estudiantes.

## **67-70**

### **La historia de un sueño frustrado plasmado en un billete:**

**Jorge Eliécer Gaitán**

*José Camilo Vásquez Caro*

En este breve texto se presentará una lectura biográfica de Gaitán, en la que se invita al lector a pensar en él como un símbolo de un sueño frustrado que aún hoy en día, décadas después de su muerte, tiene vigencia en nuestra sociedad.

## **71 / ALCANCE Y POLÍTICAS**



# Editorial

## ¿Están las nuevas tecnologías cambiando nuestro raciocinio y nuestro sentido de la ética?

**JAIRO URIBE ESCAMILLA**

Cofundador y profesor titular de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

jairo.uribe@escuelaing.edu.co

El desarrollo de la computación electrónica y de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) constituyen herramientas muy poderosas que han revolucionado la práctica de la ingeniería. Sin embargo, si no se emplean adecuadamente pueden dificultar el desarrollo del buen criterio que es esencial para el ejercicio de esta profesión. Lograr conciliar las nuevas habilidades que cada día se originan en el mundo informático con las requeridas para no olvidar los principios fundamentales constituye un reto ineludible para los educadores de las nuevas generaciones.

Nicholas Carr, en su libro *¿Qué está haciendo internet con nuestras mentes? SUPERFICIALES*, refiere que Friedrich Nietzsche había comprado una máquina de escribir que lo rescató de sus problemas de salud pero también cambió su estilo de escritura; se había vuelto más telegráfica y más estricta, y dijo: “Nuestros útiles de escritura participan en la formación de nuestros pensamientos”. Yo me pregunto: estas nuevas herramientas, ¿estarán cambiando nuestra forma de razonar y nuestro sentido de la ética?

En diversos foros nacionales e internacionales es frecuente oír quejas sobre tres temas en particular, que a lo largo de mi experiencia docente de los últimos años me han preocupado seriamente: primero, el uso inadecuado de programas; segundo, la dependencia de internet para la búsqueda de información; y tercero, el no reconocimiento de la propiedad intelectual.

En cuanto al uso inadecuado de programas, tan en boga hoy en día en el cálculo y diseño de estructuras, parece haberse olvidado lo expresado por Eduardo Torroja en 1957, en su libro *Razón y ser de los tipos estructurales*: “Antes y por encima de todo cálculo está la idea, moldeadora del material en forma resistente para cumplir con su misión”.

Otro gran ingeniero, Fritz Leonhardt, ya lo expresaba en 1976 al referirse a los trabajos presentados en revistas y congresos. “Cuando leo las publicaciones de nuestras revistas y los boletines de esta Asociación –se refería a la International Association for Shell and Spatial Structures (IASS)– o cuando atiendo conferencias y reuniones profesionales me desilusiono más y más por la estrechez del ángulo de nuestro trabajo científico en el campo de la ingeniería. Aproximadamente el 70 % de estas publicaciones tratan de análisis teóricos y desarrollamos cientos de refinamientos diferentes en las soluciones matemáticas, en programas de elementos finitos, y en otros programas de computador cada vez más complicados. Todos ellos están destinados a encontrar las fuerzas internas y los esfuerzos en nuestras estructuras, usualmente basándose en supuestos que concuerdan malamente con la realidad de las mismas; por ejemplo, despreciando las imperfecciones geométricas en los problemas de estabilidad, que no pueden ser evitadas”.

En épocas más recientes (2007) Jacques Combault, presidente de la International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE), manifestaba: “Debemos reflexionar sobre la educación de los ingenieros que concebirán las estructuras del futuro. He observado que la mayoría de los códigos se han vuelto tan pesados y complicados que impiden que el entrenamiento profesional se desarrolle en condiciones favorables. Además, los programas de computador son hoy tan poderosos que demasiados ingenieros jóvenes confían en ellos ciegamente”.

En mi opinión, eso ha conducido a que los estudiantes de ingeniería estructural no se preocupen por aprender los principios fundamentales en que se basa el desarrollo de dichos programas y terminen aplicándolos a casos en que no son aplicables.

El segundo aspecto que mencioné es la dependencia prácticamente absoluta de internet. Es indudable que ha reducido en forma exponencial el tiempo requerido para una consulta pero parece que no hay interés en

memorizar nada y, lo que es más grave, en analizar la información que se baja de la red. Hoy en día no se consultan las bibliotecas y todo se limita a un simple “copie y pegue” de un archivo digital.

El tercer aspecto es la falta de respeto por la propiedad intelectual. Se copia textualmente sin poner entre comillas el texto copiado y sin indicar su autor. En otros casos se parafrasea lo expresado por otro y se comete la misma omisión. Algunos creen que con poner al final del trabajo la bibliografía consultada ya están cumpliendo con el deber de reconocer la propiedad intelectual. Son actitudes que contradicen abiertamente la ética que debe caracterizarnos.

Para corregir estas falencias en la formación de los jóvenes ingenieros no sólo los profesores sino las asociaciones profesionales deberán insistir en desterrarlas del ejercicio profesional como muestra de respeto por la sociedad y de toma de conciencia de las obligaciones morales que adquirimos con ella.

# Desequilibrio monetario

**EDUARDO SARMIENTO PALACIO**

Director del Centro de Estudios Económicos de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

eduardo.sarmiento@escuelaing.edu.co

La ley de Say es una de las proposiciones más influyentes de la ciencia económica. Durante dos siglos los clásicos sostuvieron que el principio se cumplía como una identidad; la suma de los excesos de demanda de bienes y servicios es igual a cero. En la *Teoría general*, Keynes deja al descubierto que el principio no es válido y lo responsabiliza de haber causado serios daños a la humanidad. Las grandes recesiones y el desempleo son

la consecuencia de instituciones y políticas basadas en la presunción de que la oferta crea su propia demanda; dicho en otros términos, no existen excesos de oferta. Por su parte, Oscar Lange en forma contundente demostró que la ley de Say sólo se cumple como identidad en una economía sin dinero o con un mercado monetario en equilibrio<sup>1</sup>.

Los seguidores de los clásicos trataron de remediar el error histórico aclarando que éstos no decían que la relación no se cumple como una identidad sino como un equilibrio determinado por la optimización del mercado. Luego de un largo debate, se llegó a un consenso entre los economistas con formación matemática de la época, como Lange, Schumpeter, Patinkin, Baumol y el mismo Keynes, de que la ley de Say se cumple como igualdad; la suma de excesos de demanda sólo es igual a cero en condiciones de equilibrio competitivo en que las ofertas y demandas de bienes y dinero son iguales a cero. En este sentido, la ley de Say es un corolario del principio de equilibrio general de Arrow y Debreu, que únicamente se cumple en un mundo idealizado que no corresponde a la realidad.

Curiosamente, el consenso alrededor de Keynes y Lange no se incorporó en forma rigurosa en las formulaciones macroeconómicas. La mejor descripción se encuentra en los modelos IS-LM, en los cuales el desequilibrio monetario se incluye en la forma de rigideces de

1. La ley de Walras, que es una tautología presupuestal, establece que la suma de ofertas y demanda de bienes y dinero es igual a cero. En términos matemáticos, es una identidad que siempre se cumple.

$$\sum_{i=1}^n (x_i^d - x_i^s) p_i + m^d - m^s \equiv 0$$

Donde  $x_i^d$  demanda del bien  $i$ ,  $x_i^s$  oferta del bien  $i$ ,  $p_i$  precio del bien,  $m^d$  demanda de dinero  $m^s$  oferta de dinero.

Si el mercado de dinero está en equilibrio,  $m^d = m^s$ , entonces se cumple la ley de Say como identidad.

$$\sum_{i=1}^n (x_i^d - x_i^s) \equiv 0$$

En palabras, la suma de excesos de oferta siempre es igual a cero. La recesión y el desempleo no pueden persistir. La proposición es falsa cuando el mercado monetario está en desequilibrio:  $m^d > m^s$ .

## Es claro que la diferencia entre Keynes y los clásicos no está en la forma de las funciones de comportamiento, como lo señalaba Hicks, sino en el funcionamiento global en la forma de equilibrio y desequilibrio.

precios y salarios. En consecuencia, se encuentra que el pleno empleo y la producción máxima están condicionados a la intervención del Estado en la política monetaria y la fiscal. Ahora bien, si la rigidez de los precios y los salarios deja de existir, el sistema se movería por su propia cuenta al pleno empleo y se recuperaría la ley de Say. El mercado monetario operaría en equilibrio.

La falla teórica reside en que no se han especificado en forma detallada las condiciones para el incumplimiento de la ley de Say. Hay múltiples elementos que lo pueden causar. Cualquier rigidez de precios de bienes o remuneraciones de los factores significa la invalidez de la optimización del mercado de Arrow y Debreu y, por lo tanto, de la ley de Say. En razón de que los excesos de demanda deseados no se hacen efectivos en el mercado y los excesos de oferta persisten, la suma de excesos de demanda efectivos son mayores que cero y, por consiguiente, no se cumple la ley de Say. También el desequilibrio monetario puede darse por la tasa de interés cero o por un déficit en cuenta corriente proveniente de aspectos estructurales.

La tasa de interés igual a cero configura un exceso de ahorro sobre la inversión que induce al público a no recibir el dinero. La demanda de dinero excede la oferta. Por su parte, la presencia de un déficit en cuenta corriente significa un exceso de demanda de bienes transables sobre la oferta. La ley de Say no se cumple como equilibrio. La economía tiende a operar con una suma de excesos de demanda mayor que cero. La plena producción y empleo está condicionada a la conformación de excesos de oferta sobre la demanda de dinero.

En este punto es claro que las tres condiciones principales para un estado de desequilibrio monetario son las rigideces de precios y salarios, la tasa de interés cero y la conformación de déficits en cuenta corriente ocasionados por factores estructurales. En los tres ca-

sos, la economía opera en condiciones de producción y empleo por debajo de las posibilidades. Los niveles óptimos de producción y empleo están supeditados a la presencia del estado en el mercado monetario.

El diagnóstico descrito no es aceptado en la teoría de expectativas racionales o de comercio internacional que consideran que el mercado monetario está en equilibrio. La demanda de dinero es independiente del ingreso y sólo depende del nivel de precios y la tasa de interés. El aumento del dinero da lugar a una elevación de la inflación y una reducción de la tasa de interés. La demanda de dinero es independiente del ingreso. La demanda de pleno empleo es igual a la oferta.

En este punto se cierra la historia. Se demuestra que la principal diferencia de Keynes con los clásicos está en el equilibrio y tiene su manifestación más importante en el mercado monetario. En condiciones de equilibrio monetario, la ley de Say se cumple. El mercado conduce a la solución más eficiente. En condiciones de desequilibrio, la ley de Say no se cumple. La solución óptima está condicionada a la intervención del Estado.

Es claro que la diferencia entre Keynes y los clásicos no está en la forma de las funciones de comportamiento, como lo señalaba Hicks, sino en el funcionamiento global en la forma de equilibrio y desequilibrio. En términos de Keynes, tanto el sistema en general como el mercado monetario en particular funcionan en desequilibrio. El mercado no conduce a la solución óptima, pues la mayor producción y el empleo están condicionados a la intervención del Estado en el mercado monetario. En contraste, para los clásicos el sistema en general y el mercado monetario en particular operan en equilibrio. La situación óptima resulta del mercado.

### DESEQUILIBRIO GLOBAL

Los monetaristas y los neoliberales se mantienen dentro de la concepción clásica de que la ley de Say se cumple como una relación de equilibrio. El mercado conduce a un estado de optimalidad en que las ofertas y las demandas se igualan en todos los mercados. El mundo sería inmune a grandes recesiones, desempleo e inestabilidad de la balanza de pagos. Las cosas son muy distintas cuando la ley de Say no se cumple por rigideces de precios y salarios, tasa de interés cero y déficit en cuenta corriente. En tales circunstancias, el crecimiento, el pleno empleo y la estabilidad de la balanza de pagos

están condicionados a la presencia del Estado en el mercado monetario para garantizar la plena capacidad, el empleo y la estabilidad de la balanza de pagos.

Las concepciones de neutralidad del dinero y de pleno empleo que dominan las teorías neoclásicas retornan a la ley de Say. Las economías tienden a un estado de optimización en que las ofertas y las demandas se igualan en todos los mercados. El mercado monetario está en equilibrio; el aumento del dinero da lugar a aumentos iguales en el nivel de precios y sólo afecta la producción en periodos cortos. Las desviaciones del equilibrio son de orden menor, se manifiestan en la inflación y se corrigen con alteraciones menores de la tasa de interés. En este contexto, las economías tienden a un estado de máxima producción, estabilidad cambiaria e inflación baja. El problema del desarrollo se reduce a facilitar los ajustes ideales del mercado. Las recesiones y los desbalances externos son fenómenos accidentales y desconocidos que se corrigen solos; el mercado es el único que está en capacidad de hacerlo.

El diagnóstico de la ley de Say ha sido especialmente desatinado en el mundo internacional que surgió después de la globalización. La lucha de los países para aumentar el comercio internacional resultó en un exceso de ahorro mundial que dio lugar a tasas de interés cero. Como lo he mostrado en varios libros, la plena capacidad no resulta del mercado. Por el contrario, está condicionada a la conformación de déficits fiscales de más del 5 % del PIB, ubicados principalmente en los países desarrollados.

La resistencia a seguir la recomendación ha resultado en deficiencias de demanda efectiva en los países que se buscan resolver con devaluaciones del tipo de cambio. Así ocurrió en Estados Unidos entre 2008 y 2012, en Europa en el 2012 y 2013 y ahora en América Latina en 2014 y 2015. De esta manera, la activación de las economías se logra a través de devaluaciones que trasladan las presiones recesivas a los socios comerciales. No hay espacio para todos los países en el mercado internacional. Siempre existirá una región en recesión o estancamiento pretendiendo trasladarlas a otros lugares. Como todos los países no están en condiciones de mejorar la balanza de pagos, el resultado es una caída de los precios de los bienes transables, el mantenimiento de déficits en cuenta corriente, la persistencia del exceso de ahorro y el crecimiento mundial por debajo de las posibilidades. Lo cierto es que la acción generalizada

de los países para estimular la producción y el empleo no corrige la falla, y en cambio la agrava la baja de los precios internacionales y la reducción del comercio. Los países prefieren producir para el mercado interno. El exceso de ahorro persiste.

Parte de la explicación del desequilibrio estructural está en el incumplimiento de la ventaja comparativa. Como el número de factores es menor que el número de productos y de países, no todos los países se pueden especializar en los bienes de ventaja comparativa y en equilibrar las balanzas de pagos. Los países con mayor limitación en la demanda de productos de ventaja comparativa registran déficits en cuenta corriente que los hacen dependientes del endeudamiento y restringen el crecimiento. Los esfuerzos de estos países para devaluar y reducir los déficits en cuenta corriente ocasionan la caída del salario con respecto a la productividad, lo que deriva en un exceso de ahorro sobre la inversión.

No es aventurado afirmar que la crisis mundial de los últimos diez años reside en el retorno a la ley de Say; las economías están en equilibrio general, en particular el mercado monetario. En consecuencia, se configuró un orden económico internacional de inflación objetivo, modalidad de cambio flexible y balance fiscal. Se considera que las alteraciones de la economía respecto al equilibrio se manifiestan en el nivel de precios y puede ser ajustado con la política monetaria con ajustes marginales de las tasas de interés. El expediente funcionó relativamente bien en Estados Unidos y Europa entre 1990 y 2008. De allí en adelante ha sido una fuente de recesiones, crisis financieras y desbalance de las cuentas externas.







El error es teórico. Las economías operan dentro de un marco de exceso de ahorro que invalida el equilibrio monetario. La prioridad a la inflación afecta la producción y la balanza de pagos. La política monetaria de tasas de interés es inadecuada para impulsar el consumo y la inversión. El mayor margen de maniobra está en la devaluación, que mejora las condiciones de los países a cambio de empeorar las de los socios comerciales y acentúa la deficiencia de ahorro, que es la causa del estancamiento mundial. Más aún, propicia una guerra de monedas que acentúa la caída de los precios del comercio internacional.

## EL RETORNO DE LA LEY DE SAY

La ley de Say es la representación de lo que los economistas quisieran que fuera el mundo. Los mercados operan en forma perfecta y los agentes económicos se mueven por la competencia. Es un mundo de ángeles que no tiene parecido ni semejanza con la realidad se asemeja a la física de cuerpos perfectos, como lo intentó hacer Newton en su tiempo, que fue sustituida por la física de los laboratorios y tuvo su representación más clara en la teoría de la relatividad. Lo mismo se puede decir de la geometría euclidiana, que sólo es válida en una superficie plana. No es cierto que la suma de los ángulos del triángulo sea igual a  $180^\circ$ .

La ley de Say es uno de los conceptos que por su misma naturaleza están relacionados con los más variados aspectos de la economía. Así, la divergencia entre los clásicos y Keynes aparece claramente representada

en la ley. En el fondo, Keynes rechazaba que las economías se encontraran en un estado de equilibrio en que todas las ofertas y demandas se igualaran. En su lugar, observaba que el sistema operaba con excesos de oferta o con excesos de demanda y en conjunto resultaba en un mercado monetario en desequilibrio, en cuanto la oferta de dinero no es igual a la demanda de pleno empleo. En tal caso, la ley de Say no se cumple como igualdad ni como identidad. Más aún, la oferta y la demanda de dinero no se emparejan. La evidencia empírica más convincente está en la recesión, el desempleo y las crisis de balanza de pagos. A su turno, la evidencia teórica más concluyente está en la diferencia entre la oferta y la demanda de dinero.

El argumento más contundente del incumplimiento de la ley de Say es el desequilibrio del mercado monetario. En ese caso, la ley no se cumple ni como identidad ni como igualdad. De todos modos, la suma de excesos de demanda de bienes no es igual a cero. La oferta global puede ser mayor que la demanda.

Curiosamente, estos principios simples que tienen amplia verificación empírica no se incorporaron en forma rigurosa en la teoría aceptada. Por el contrario, fueron desplazados por las teorías de la neutralidad del dinero, las expectativas racionales y el equilibrio externo, que progresivamente retrocedieron a la teoría de equilibrio monetario de la ley de Say en que la oferta y la demanda de dinero se igualan. Así, en los libros de texto de economía predominan las formulaciones que cumplen la relación. Por diferentes conductos se proclama que las variaciones del dinero afectan el nivel de precios sin alterar la balanza de pagos y la producción. De allí se pasó a la conformación de bancos centrales que le dan prioridad a la inflación sobre cualquier otro objetivo. Se espera que la austeridad monetaria mantenga bajos los precios, sin influir en la balanza de pagos y la actividad productiva.

La prescripción, que ha tenido el consentimiento y la protección de los centros económicos más influyentes y los organismos internacionales, a diario se desacredita por su propio peso. Como el mercado monetario no está en equilibrio y el dinero afecta los más diversos aspectos de la economía, la prioridad excluyente de la inflación resulta en serios conflictos con la estabilidad de la balanza de pagos y con la producción y el empleo. Lo grave es que la falla se presenta en mayores dimensiones en los países dotados de recursos naturales que

están expuestos a enormes variaciones de los ingresos externos. En las épocas de abundancia de divisas ocasiona grandes revaluaciones que amplían el déficit de la balanza de pagos y desmantela la industria y la agricultura. En las épocas de escasez de divisas dispara la devaluación, eleva la inflación, sube las tasas de interés y contrae la producción y el empleo. Estas son las principales razones del bajo desempeño de los países dominados por las *commodities*.

### APARICIÓN DEL EXCESO DE AHORRO

El desequilibrio monetario obedece a rigideces de salarios y precios, al exceso de ahorro sobre la inversión y al déficit en cuenta corriente desfinanciado. El primero aparece en los libros de texto y se puede corregir con un aumento de la cantidad de dinero que eleve el saldo real, baje las tasas de interés y amplíe la demanda efectiva. Esta situación se presentó antes de la globalización, cuando la fuerza de trabajo tenía la capacidad de presionar los salarios por encima de la inflación y colocar el salario real por encima de la productividad. Se configuró la inflación inercial, que colocaba la oferta de dinero por debajo de la demanda. La historia cambió con la globalización, que redujo la capacidad de los trabajadores para subir el salario por encima de la inflación, e incluso condujo a bajar el salario real para producir bienes de menor productividad y disminuir los déficits en cuenta corriente. La menor demanda ocasionó una reducción de los consumos con respecto a la oferta que resultó en un exceso de ahorro sobre la inversión. Así, el desequilibrio adquirió la forma de exceso de ahorro. Los países no pueden contrarrestarlo con la política monetaria tradicional porque la tasa de interés no se sitúa por debajo de cero. Como el público no está dispuesto a recibir los recursos, la demanda de dinero es mayor que la oferta. La falencia sólo se puede subsanar con una intervención abierta en el mercado de dinero para orientar los recursos hacia donde existe la demanda.

Algunos países encuentran que la forma más fácil de reducir el exceso de ahorro es con políticas que lo trasladan a los demás. Se revierte el modelo mundial en que la expansión de los países mayores arrastra a los menores. La expansión de Estados Unidos y Alemania se hace a cambio de la contracción de los países socios por la vía de la balanza de pagos. Otra evidencia del exceso de ahorro es el debilitamiento del vínculo entre

países. La expansión por conducto del sector externo se compensa por la contracción de los socios y, por eso, tiene una incidencia menor sobre la economía mundial.

Las soluciones del exceso de ahorro mundial no son algo que pueda provenir de los países que prefieren activar las economías ampliando el superávit en cuenta corriente. La política no afecta mayormente la actividad ni el exceso de ahorro mundial. Las soluciones de los países para ampliar la producción y el empleo no son independientes del resto del mundo.

---

**El desequilibrio monetario obedece a rigideces de salarios y precios, al exceso de ahorro sobre la inversión y al déficit en cuenta corriente desfinanciado.**

---

### VÍNCULOS INTERNACIONALES

En cierta manera, el modelo mundial está basado en la premisa de Mundell de que dentro de un marco de tipo de cambio flexible las políticas monetarias aisladas aseguran la reactivación individual de los países que las aplican y del mundo. Las acciones individuales para aumentar la actividad productiva incrementan la del mundo en la misma cuantía. Esto no es cierto cuando la tasa de interés mundial es cero. En ese caso, la acción individual de la política monetaria de tasa de interés para activar la economía no corrige la deficiencia mundial. Las políticas económicas no garantizan el pleno empleo y la producción mundial.

La tasa de interés cero y el exceso de ahorro modifican radicalmente la visión de la coordinación de las relaciones internacionales. En general, se considera que la tasa de interés es más baja en los países con exceso de ahorro con respecto a la inversión y mayor en los países con exceso de inversión sobre el ahorro. En consecuencia, los recursos financieros pasarían de los primeros a los últimos hasta nivelar las tasas de interés. Los excesos de ahorro y de inversión individual y mundial desaparecerían y el sistema en su conjunto alcanzaría la máxima producción y el empleo.

Las cosas se agravan cuando la tasa de interés llega a cero. Los países con excesos de ahorro y la tasa de inte-

rés cero no pueden bajarla para aumentar el consumo, la inversión y las exportaciones y, por lo tanto, persisten. La economía mundial queda expuesta a un exceso de ahorro que se manifiesta en un grupo de economías. El sistema deja de autorregularse. La competencia y el mercado no garantizan el balance de las cuentas externas. Así, la política de tasa de interés de referencia para reforzar los ajustes del mercado no conduce al pleno empleo y a la estabilidad de la balanza de pagos. Por su parte, la política fiscal no tiene la discrecionalidad para contrarrestar las alteraciones de la balanza de pagos. Las economías están expuestas a bajo crecimiento de la producción, aumento del desempleo e inestabilidad de la balanza de pagos.

El desequilibrio no es corregido por el mercado, que no conduce a tasas negativas, ni por la política monetaria, porque las autoridades tampoco pueden establecer tasas de referencia negativas. Estamos ante el típico desequilibrio monetario. Ni el mercado ni la política monetaria de tasas de interés de referencia conducen al pleno empleo.

Ante las recesiones y el desempleo ocasionados por excesos de ahorro, los países han procedido a intervenir en el mercado cambiario para orientar los recursos hacia donde existe la demanda. Entre ellos se destacan la compra de dólares en el mercado cambiario y la adquisición de títulos del tesoro (relajamiento cuantitativo y financiación del déficit fiscal con emisión). Si bien estos mecanismos reducen los excesos individuales de ahorro y aumentan la producción de los países, en algunos casos lo hacen a cambio de aumentar los de los países socios, sin tener mayor efecto sobre el exceso mundial de ahorro. Veamos cómo operan los tres dispositivos.

La adquisición de dólares en el mercado cambiario disminuye la disponibilidad de divisas y aumenta la emisión. En consecuencia, reduce el exceso de ahorro y el déficit en cuenta corriente. Al mismo tiempo, incrementa el déficit en cuenta corriente y el exceso de ahorro en los países socios, dejando inalterado el exceso de ahorro mundial. Por lo demás, no cabe esperar que los países afectados no procedan de la misma forma interviniendo en el mercado cambiario. El resultado sería una guerra de monedas en que todos no pueden ganar y terminaría en una reducción del salario e incluso en un aumento del exceso de ahorro mundial.

La solución más ingeniosa la dio la Reserva Federal de Estados Unidos al establecer el sistema de relaja-

miento cuantitativo, que constituye una intervención en el mercado monetario para establecer las tasas de interés a largo plazo negativas. La adquisición de títulos a largo plazo por conducto de la Reserva Federal da lugar a tasas de interés negativas que propician el consumo, la inversión y la devaluación, que significan más exportaciones y menos importaciones.

La verdad es que la política de tasas de interés negativas de Estados Unidos, aunque pudo incidir en el consumo y la inversión, tuvo su mayor impacto en la devaluación del dólar, con serias implicaciones mundiales. Por un lado, significó una revaluación del euro, que precipitó una caída de la economía del sur de Europa, como Grecia, España, Portugal e Italia. Así mismo, propició fuertes alzas de los precios de las *commodities*, flujos de capital que provocaron cuantiosas revaluaciones en América Latina, acentuando la enfermedad holandesa. En el fondo se trataba de una burbuja que disparaba los precios de los activos, la devaluación del dólar, los precios de las *commodities*, la revaluación del euro y los movimientos de capitales hacia América Latina. El proceso no era sostenible por los efectos negativos sobre el endeudamiento de las empresas y el deterioro de la distribución del ingreso.

Una vez desmontado el mecanismo de relajación cuantitativa en Estados Unidos, se procedió a aplicar en Europa con resultados similares. La política propició la devaluación del euro, la expansión del consumo y la inversión, que significaron una modesta recuperación de las economías. Al igual que en Estados Unidos, el resultado se logra a cambio de reducir la actividad de los países socios y con las mismas características de burbuja que lo hacen insostenible.



Es claro que el exceso de ahorro mundial se ha tratado de contrarrestar con intervención monetaria de tasas de interés negativa. Las soluciones individuales se logran a cambio de trasladar la contracción a los socios comerciales, y no afecta en forma significativa el ahorro mundial. Aún más grave, el propósito se logra parcialmente a cambio de una burbuja insostenible. La economía mundial crece por debajo de sus posibilidades y dentro de una gran inestabilidad.

El déficit fiscal financiado con emisión es cuento aparte. El dispositivo reduce el exceso de ahorro del país, no afecta a los socios y disminuye el exceso mundial. Su efectividad se vio en 2010 cuando Estados Unidos y luego el mundo se precipitaron en caída libre. La aplicación del déficit fiscal del 12 % en Estados Unidos, de 8 % en Europa y en promedio de 6 % reactivó la economía mundial en un año. Sin embargo, su sustitución por política monetaria de tasas de interés negativa no impidió que la actividad productiva decayera.

La intervención en el mercado monetario está en capacidad de reducir el exceso de ahorro en los países. En algunos casos, el resultado se logra a cambio de trasladarlo al resto del mundo. En los casos de la intervención en el mercado cambiario y en el relajamiento cuantitativo, el exceso de ahorro se traslada a los socios e incide en un menor grado sobre la economía mundial. Así las cosas, la ampliación del déficit fiscal financiado con emisión surge como el medio más idóneo para impulsar la producción y el empleo dentro de un marco de colaboración y contribución mundial.

La otra causa del desequilibrio monetario es un déficit en cuenta corriente desfinanciado. En este caso se presenta una suma de excesos de demanda de bienes

mayor que cero. Si el mercado monetario se mantiene en equilibrio, se presentaría una demanda mayor que la oferta. Si el banco central interviene el mercado vendiendo dólares, se produce una contracción de la demanda que causa exceso de demanda de dinero. Ahora, si el banco central deja que se reduzcan las importaciones y se genere una escasez de divisas, el tipo de cambio se devaluaría. Si las exportaciones no responden a la devaluación, persistirían el déficit en cuenta corriente, la contracción de importaciones y la producción. En algún momento la caída de la producción cerraría el déficit en cuenta corriente y la economía se estabilizaría con crecimientos de la producción y el empleo por debajo de las posibilidades. El déficit en cuenta corriente provocaría la caída de las importaciones y del producto y ésta reduciría el déficit en cuenta corriente. El sistema tendería a un estado de crecimiento por debajo de las posibilidades y a una elevación del desempleo.

## SIGLO XXI

La ley de Say se desquició en el siglo XXI, en parte como consecuencia de la globalización. Las acciones de los países para recortar los déficits en cuenta corriente mediante devaluaciones que disminuyen el salario y contraen la demanda resultan en un exceso de ahorro en los países y en el conjunto del mundo. Luego, la reducción de los excesos de ahorro trasladándolos a los socios consigue el propósito del país sin afectar el ahorro mundial. Los beneficios individuales de los países no se manifiestan en beneficios iguales para el mundo.

Lo anterior deja al descubierto las asimetrías entre las economías individuales y mundiales. Los países disponen de la tasa de interés, el control cambiario y el déficit fiscal. De hecho, están en capacidad de armonizar en plena producción y empleo y estabilizar la balanza de pagos. Por su parte, la economía mundial cuenta sólo con la tasa de interés y la política fiscal. Si la tasa de interés es cero, únicamente le queda la política fiscal para alcanzar la plena capacidad mundial. No se cumplen las condiciones de Mundell. El equilibrio mundial está condicionado a una coordinación que establezca un déficit fiscal global de más del 5 % del PIB. Así, los países tienen un mayor margen de maniobra para equilibrar sus economías que el mundo en su conjunto.

El exceso de ahorro redujo la discrecionalidad mundial para impulsar la producción y el empleo. La





**Si los países con excesos de ahorro intervienen el mercado monetario mediante la compra y venta de divisas o la relajación cuantitativa, su producción y empleo aumentarían a cambio de trasladar el exceso de ahorro a otros países, y si éstos hacen lo propio, no habría cuándo terminar.**

política monetaria de tasa de interés deja de ser efectiva para aumentar el gasto y mejorar el superávit en cuenta corriente. Por su parte, la intervención en el mercado monetario por la vía cambiaria o de relajación cuantitativa reduce el exceso de ahorro a cambio de ampliarlo en otros lugares.

Si los países con excesos de ahorro intervienen el mercado monetario mediante la compra y venta de divisas o la relajación cuantitativa, su producción y empleo aumentarían a cambio de trasladar el exceso de ahorro a otros países, y si éstos hacen lo propio, no habría cuándo terminar. Siempre habría un grupo de países con exceso de ahorro empeñados en trasladarlo al resto del mundo. Este marco de referencia ineficiente e inestable ha predominado a partir de la gran recesión del 2008. Primero ocurrió en Estados Unidos, luego en Europa y ahora en América Latina.

La misma receta se plantea para todos los países y la economía internacional. La máxima producción mundial está condicionada a un acuerdo para aumentar el déficit fiscal en cuantía superior al 5 % del PIB y repartirla en forma proporcional al tamaño de los mercados internos. En Sarmiento (2014), se muestra que la carga debe recaer principalmente en Estados Unidos, Alemania, Japón y China.

La política fiscal es el único medio eficiente y solidario que estimula la producción y el empleo sin afectar a los socios comerciales y se refleja en la misma cuantía en la economía mundial. La gran duda es el monto del déficit fiscal y su distribución entre países. En Sarmiento (2014) se muestra que el mayor peso debe recaer en los

países con mayor mercado interno, como Alemania, Estados Unidos, China y Japón.

Todo esto se confirmó en la recesión del 2008. La política monetaria de tasas de interés no impidió que la economía de Estados Unidos se viniera en caída libre y se trasladara al resto del mundo. En cambio, la política fiscal de déficits generalizados, que llegaron al 8 % del PIB, reactivó la economía mundial en menos de un año, exactamente en el 2010. Luego, el intento de sustituir la política fiscal por política monetaria para la expansión del crédito provocó la recaída de la economía mundial y la recesión en Europa. Así, la economía mundial quedó operando con exceso de ahorro, déficits fiscales menores que los del 2008, pero mayores que los históricos, y crecimiento del producto muy inferior al pasado. Se creó la sensación de que el crecimiento se acabó y que lo normal es que un grupo de economías estén en dificultades por falta de demanda y desbalances de las cuentas externas.

En un mundo de excesos de ahorro no existe la solución de equilibrio por la vía del mercado, ni de la intervención monetaria en el mercado cambiario o en la relajación cuantitativa. Inevitablemente, se configura un grupo de países con exceso de ahorro. Si estos países intervienen el mercado monetario mediante la compra de divisas o la relajación cuantitativa, el exceso de ahorro se reduce y se traslada al resto del mundo. Siempre habrá un grupo de países con exceso de ahorro que se manifiesta en la economía mundial. Las acciones para elevar el crecimiento y el bienestar no necesariamente coinciden con el interés común. No es cierto que los esfuerzos individuales para alcanzar la máxima producción y el empleo redunden en un beneficio igual para el mundo. Aún más grave, puede propiciar un estado de retaliaciones en que todos pierden. Así, la intervención en política fiscal es el único medio que garantiza el máximo beneficio social. Constituye la solución más eficiente, contradiciendo todos los mitos y las teorías neoclásicas. En Sarmiento (2014) se muestra que debe recaer en mayor proporción en los países con más capacidad de ampliar mercados internos. Sin embargo, esto no ocurre en la práctica. En general, se observa la tendencia a que los países desarrollados disminuyan el déficit fiscal con respecto a los países menores. Esta es una clara evidencia de que el mundo busca el máximo crecimiento con intervenciones monetarias que trasladan los excesos de ahorro a los socios y afectan en menor cuantía a la economía mundial.



La síntesis es clara. La visión tradicional de que las políticas macroeconómicas individuales llevan a la máxima producción y bienestar interno de los países y del mundo no se cumple en un marco de tasas de interés cero. Los países prefieren las intervenciones monetarias que trasladan el exceso de ahorro a los socios. La óptima solución corresponde a la intervención coordinada para ampliar el déficit fiscal mundial y repartirlo proporcionalmente entre los mercados internos de los países. Así lo confirma la experiencia del año 2009, en que la acción generalizada de los países para conformar déficits que alcanzaron el 8 % del PIB mundial permitió superar la segunda recesión más grande del siglo en menos de un año.

### ORDEN ECONÓMICO INTERNACIONAL

En el orden económico existente se considera que las acciones aisladas de los países para aumentar la producción y el empleo, y estabilizar la balanza de pagos, no afectan a los socios y se manifiestan en la misma cuantía en la economía mundial. Lo que es bueno para un país también lo es para el mundo. El resultado sólo es válido cuando el mercado monetario está en equilibrio y las variaciones son accidentales y temporales. En un marco de desequilibrio monetario causado por el exceso de ahorro las condiciones cambian radicalmente. Las economías crecen por debajo del potencial, el desempleo aumenta, y éstas se encuentran expuestas a grandes alteraciones de balanza de pagos que impiden la industrialización y la agrarización, frenan la actividad productiva y bajan el salario real.

El orden económico de prioridad a la inflación, tipo de cambio flexible y presupuesto balanceado se inspiró en un sistema en equilibrio. Cuando se llega a una tasa de interés cero, todas las economías no pueden operar con igualdad entre el ahorro y la inversión. De hecho, la economía mundial tiene que operar con un exceso de ahorro que, inevitablemente, se reparte entre un grupo de economías. El sistema opera por debajo de la capacidad y el empleo pleno. Por lo demás, la política monetaria de tasas de interés es inefectiva porque el mercado y las autoridades económicas no pueden establecer tasas negativas. La ampliación de la cantidad de dinero está condicionada a la intervención abierta en el mercado, que puede tener la forma de compra de divisas, adquisición de títulos del tesoro o cualquier otra

forma, y ampliación del déficit fiscal financiado con emisión. Sin embargo, las dos primeras no son neutrales con respecto al resto del mundo.

La intervención en el mercado monetario para reducir el exceso de ahorro mediante la regulación cambiaria o el relajamiento cuantitativo reducen la dolencia a cambio de trasladarla al resto del mundo. De hecho, se configura un ambiente de retaliaciones que reducen la efectividad del tipo de cambio y tornan el sistema inestable. Si los países que enfrentan los excesos de ahorro lo pretenden corregir con intervenciones en el tipo de cambio o con el relajamiento cuantitativo, inevitablemente entrarían en una guerra de monedas persistente. Su aplicación es claramente nociva para el mundo e incluso para los mismos países que las aplican. Por lo demás, en el caso del relajamiento cuantitativo está demostrado que genera burbujas que lo tornan insostenible. No es cierto, entonces, que las acciones individuales de los países para lograr el máximo bienestar redunden en el mismo estado para el mundo. Por exclusión de materia, la mejor forma de contrarrestar el desequilibrio monetario ocasionado por el exceso de ahorro es con la política fiscal, más aún, con un déficit fiscal financiado en parte con emisión monetaria. La política monetaria quedaría relegada a la regulación cambiaria. En la época de abundancia de divisas el banco central exigiría un depósito del gobierno para contrarrestar la emisión y en las épocas de escasez de divisas entregaría un título para compensar la contracción monetaria y elevar el ahorro.

La verdad es que el orden económico mundial basado en la inflación objetivo, el balance presupuestal y el tipo de cambio flexible fracasó estruendosamente. La



intervención de los países en el mercado monetario para reducir el exceso de ahorro no garantiza la eliminación del exceso de ahorro mundial, y por lo tanto, el pleno empleo y la plena producción. No se evita que un grupo de países opere permanentemente por debajo de sus posibilidades y con desbalance externo. La explicación está en la falsa premisa de que el mercado monetario está en equilibrio y el dinero sólo tiene efectos sobre la inflación. El dinero también influye en la producción y la balanza de pagos. La armonización de la estabilidad de balanza de pagos, la máxima producción y empleo y la baja inflación no son posibles sin el concurso de las políticas monetarias, fiscales y cambiarias. La tarea requiere un nuevo orden económico de prioridad a la balanza de pagos, la producción y el empleo, desbalance fiscal y tipo de cambio regulado. En la práctica se puede lograr orientando la política fiscal a reducir el exceso de ahorro, es decir aumentar la producción y el empleo, y la política monetaria a mantener el tipo de cambio dentro de una banda a largo plazo.

## CONCLUSIONES

Muchas de las dificultades de las economías individuales y mundiales se originan en el regreso a las concepciones de principios del siglo XX. En la *Teoría general* Keynes cuestiona a Ricardo y a los pensadores de la época por haber construido la teoría económica alrededor de la ley de Say y el equilibrio monetario. Los responsabiliza de las recesiones, el elevado desempleo y las crisis de balanza de pago. Se configuró un consenso en torno a que la ley de Say no se cumple como una identidad en que la suma de excesos de demanda de bienes es igual a cero. El principio sólo es válido como igualdad cuando las ofertas y las demandas deseadas se nivelan en todos los mercados de bienes y de dinero, que corresponde a una idealización de la economía que no se compadece con la realidad. Sin embargo, la nueva visión no se incorporó en forma rigurosa en las formulaciones teóricas. No se fue más lejos de reconocer que el sistema está en desequilibrio cuando los precios y salarios son rígidos. Lo cierto es que en virtud de las teorías de la neutralidad del dinero, de las expectativas racionales y del comercio internacional se volvió a la ley de Say y al equilibrio monetario. La oferta y la demanda de dinero tienden a ser iguales. De allí se pasó al orden económico internacional de prioridad a la inflación, balance fiscal y

modalidad de cambio flexible. El esquema no funcionó mal al final del siglo XX, cuando los países desarrollados operaban con tasas de interés positivas y cerca del pleno empleo y la plena capacidad. El desequilibrio monetario provenía de rigideces de precios y salarios y se remediaba con un aumento del dinero e inflación. Se operaba dentro de un marco de curva de Phillips.

Las cosas fueron distintas en los países plenos de recursos naturales. La prioridad excluyente de la inflación significa grandes revaluaciones en las épocas de abundancia de divisas que deterioran la balanza de pagos y desmantelan la industria y la agricultura, y grandes devaluaciones en las épocas de abundancia de divisas que suben la inflación, elevan las tasas de interés y contraen drásticamente la producción y el empleo.

El panorama cambió radicalmente en el siglo XXI como resultado de la globalización. La economía mundial pasó a funcionar con un desequilibrio monetario. El orden económico internacional dejó de operar. Las políticas monetarias de tasas de interés perdieron la efectividad para regular la producción y el empleo. Por su parte, la política fiscal carecía de discrecionalidad para contrarrestar las alteraciones externas. La economía mundial y las individuales entraron a crecer por debajo de la tendencia histórica y las crisis recesivas y de balanza de pagos se hicieron más frecuentes. Un grupo de países opera permanentemente con excesos de ahorro y deficiencia de balanza de pagos. Entre 2008 y 2012 le correspondió a Estados Unidos, entre 2012 y 2014 a Europa, y en la actualidad (2014, 2015, 2016) a América Latina.

La insuficiencia de la política monetaria se trata de subsanar con intervenciones en el mercado cambiario y relajamiento cuantitativo, es decir, determinaciones monetarias que afectan a los socios. Se confirma el incumplimiento de la premisa de Mundell de que las acciones individuales de los países para aumentar la producción y el empleo ocasionan un efecto igual en la economía mundial. La reducción del exceso de ahorro en unos países se traslada a los otros y no disminuyen el exceso de ahorro mundial. Los beneficios individuales de los países se logran a cambio de lesionar a los demás. En cierta forma se confirma que el mercado monetario opera en un estado de desequilibrio que no puede resolverse con el orden económico internacional existente.

En contraste, la política fiscal reduce el exceso de ahorro y aumenta la producción y el empleo, sin afectar

a los países socios y con una incidencia igual a la economía mundial. No existe otro camino para mantener la actividad productiva en las economías que operan con exceso de ahorro. Las virtudes se comprobaron en el 2010, cuando la acción generalizada de los países para ampliar los déficits fiscales sacaron al mundo de una recesión generalizada de caída libre en menos de un año. En cambio, las debilidades del relajamiento negativo quedaron al descubierto en el periodo siguiente, cuando su aplicación en Estados Unidos causó la recaída de la producción y la recesión de Europa y luego la aplicación en Europa ocasionó la entrada en recesión de América Latina.

Las prácticas de Estados Unidos, Europa, Japón y China de intervenir en el mercado monetario para obtener propósitos cambiarios y de actividad productiva que afectan a los socios se propagan a diario. Se ha creado una gran asimetría mundial. Los países, como Colombia, que se mantienen en la órbita del equilibrio monetario y emplean la política monetaria únicamente para controlar la inflación están en una clara desventaja. En la práctica, perdieron el control del tipo de cambio y quedaron al vaivén de las decisiones de la Reserva Federal. De acuerdo con *The Economist*, el tamaño del grupo se ha reducido y en la actualidad no pasa de 20 naciones.

El país está en mora de pasar a un nuevo orden económico de prioridad a la estabilidad de la balanza de pagos, la producción y el empleo, presupuesto desbalanceado y tipo de cambio regulado. El papel principal del banco central sería mantener el tipo de cambio dentro de una banda a largo plazo y coordinarse con el sector fiscal para neutralizar los efectos monetarios de la intervención; en las épocas de abundancia de divisas se configurarían superávits fiscales y en las épocas de escasez, déficits. Su aplicación en las circunstancias actuales significaría la intervención del Banco de la República para mantener el tipo de cambio por debajo de \$2.700 y la ampliación del déficit fiscal, que reducirían tanto las presiones inflacionarias como las fuerzas recesivas. De entrada, contribuiría a mitigar el estado de estanflación que asfixia la economía.

La misma receta se plantea para la economía mundial. Es indispensable un gran acuerdo para ampliar el déficit presupuestal y repartirlo proporcionalmente entre los mercados internos. Las mayores cargas deben recaer en Alemania, Estados Unidos Japón y China.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arrow, K & Debreu, G. (julio de 1954). Existence of equilibrium for a Competitive Economics. *Econometría*, 22.
- Baumol, W. (1986). Macroeconomics of unbalanced growth: the anatomy of urban crisis. *American Economic Review*, 57.
- Clower, R.W. (1965). The Keynesian Counterrevolution: A Theoretical Appraisal. En F.H. Hahn & F.P.R. Brechlig (eds.). *The Theory of Interest Rates*. Londres: Macmillan.
- Currie, L. (mayo de 1977). The Leanding Sector Development Strategy. *Journal of Economic Studies*, 4: 69-72.
- Keynes, J.M. (1930). *A treatise on money*. Nueva York: Harcourt.
- Keynes, J.M. (1936). *The general theory of employment, interest and money*. Londres: Palgrave Macmillan.
- Koopmans, T. (1965). On the Concept of Optimal Economic Growth. En *The Economic Approach to Development Planning*. Amsterdam: North-Holland.
- Krugman, P. (1999). *De vuelta a la economía de la Gran Depresión*. Bogotá: Grupo Editorial Norma.
- Kuznets, S. (1955). Economics growth and income inequality. *American Economic Review*, 45, 1-28.
- Lange, O. (1942). Say law: A restatement and criticism. En O. Lange (1942). *Studies in mathematical economics and econometrics*. Chicago: University of Chicago Press.
- Leijonhufoud, A. (1968). *On Keynesian Economics and the Economics of Keynes*. Nueva York: Oxford University Press.
- Lucas, R. (1998). The Mechanics of Economic Development. *Journal Monetary Economic*, 22.
- Sarmiento, E. (1984). Funcionamiento y control de una economía en desequilibrio. Bogotá: Cerec - Contraloría General de la República.
- Sarmiento, E. (1993). *Fallas de mercado y motores de crecimiento económico*. Bogotá: Educar - Ediciones Uniandes.
- Sarmiento, E. (2000). *Cómo construir una nueva organización económica*. Bogotá: Oveja Negra - Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Sarmiento, E. (2002). *El modelo propio*. Bogotá: Grupo Editorial Norma - Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Sarmiento, E. (2008). *Economía y globalización*. Bogotá: Grupo Editorial Norma.
- Sarmiento, E. (2011). *Transformación productiva y equidad*. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Stiglitz, J.E. (1993). *Welfare Economics with Imperfect and Asymmetric Information*. *Lindahi lectures presented at Uppsala*. Oxford: Oxford University Press.
- Stiglitz, J.E. (1994). *Whither socialism*. Cambridge: The MIT University Press.
- Stiglitz, J.E. (2002). *El malestar de la globalización*. Madrid: Taurus.
- Solow, R. (febrero de 1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. *Quarterly Journal of Economics*, 70: 65-94.
- Solow, R. (1957). Technical Change and the Aggregate Production Function. *Review of Economics and Statistics*, 39.
- Solow, R. (1988). Novel Lecture: Growth Theory and After. *American Economic Review*, 78: 307-317.
- Young, A. (1928). Increasing returns and economic progress. *The Economic Journal*, 38, 527-542.



# Utilización de agregado grueso de concreto reciclado en elementos estructurales de concreto reforzado

## Use of recycled concrete coarse aggregate in structural reinforced concrete elements

LIBARDO ENRIQUE ARRIAGA TAFHURT<sup>1</sup> - NANCY TORRES CASTELLANOS<sup>2</sup> - PEDRO NEL QUIROGA SAAVEDRA<sup>3</sup>

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

2. Doctora en Ciencia y Tecnología de los Materiales. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Profesora de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

3. Profesor asociado y director del Centro de Estudios de Estructuras y Materiales.

libardo.arriaga@mail.escuelaing.edu.co - nancy.castellanos@escuelaing.edu.co - pedro.quiroga@escuelaing.edu.co

Recibido: 25/11/2015 Aceptado: 02/12/2016

Disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

### Resumen

En este artículo se discute el comportamiento estructural de elementos de concreto reforzado que contienen agregado grueso de concreto reciclado y cómo se comparan con los elementos de concreto convencional. Los elementos estructurales se ensayaron a flexión (vigas continuas y placas) y a cortante (vigas altas y ménsulas). Los resultados obtenidos sugieren que el uso de agregado grueso de concreto reciclado es viable para aplicaciones estructurales.

**Palabras claves:** agregado reciclado, concreto reciclado.

### Abstract

This article discusses the structural behavior of reinforced concrete elements containing recycled concrete coarse aggregate and how it compares to that of conventional concrete. The structural elements were tested in terms of flexion (continuous beams and slabs) and shear (deep beams and corbels). The results suggest that the use of recycled concrete coarse aggregate is viable for structural applications.



## INTRODUCCIÓN

Si bien es conocida la factibilidad del uso de agregados provenientes del reciclaje de concreto para la fabricación de concretos estructurales en naciones como Bélgica, Países Bajos, Reino Unido, Alemania, Dinamarca, Australia, entre otros [ref. 1], en Colombia se carece de una reglamentación pertinente –aunque se cuenta con estudios y documentos al respecto– que permita incentivar su utilización en los proyectos que se desarrollan en el entorno; es necesario, por tanto, realizar más investigaciones que permitan conocer a cabalidad el comportamiento, desempeño y resistencia del concreto con agregado grueso de concreto reciclado en elementos estructurales de concreto reforzado.

La utilización de agregado grueso proveniente del reciclado de concretos de demolición para la fabricación de concreto estructural nuevo se justifica plenamente con aspectos ambientales; hoy en día, en nuestro medio se generan cantidades significativas de escombros, producto de la demolición de estructuras en concreto que ya cumplieron con su vida útil y que van a dar paso a edificaciones de mayor tamaño; como es sabido, las principales ciudades no cuentan con la infraestructura necesaria para la adecuada disposición de residuos sólidos. Así mismo, se explotan cada vez más las canteras para la extracción de los agregados naturales para la elaboración de concretos, lo que atenta contra los recursos naturales no renovables. Entonces, la utilización del concreto con agregado grueso de concreto reciclado permite disminuir el volumen de residuos sólidos que se van a disponer y adicionalmente disminuye la demanda de material de cantera; por tal motivo, es evidente el beneficio en la conservación del medio ambiente.

Es claro que la utilización de agregados de concreto reciclado para la elaboración de concreto nuevo contribuiría significativamente a la conservación del medio ambiente, pero para esto es necesario hacer estudios que garanticen seguridad a las personas y a su patrimonio como primera medida tendiente a la generación de una política que favorezca su utilización.

Por las razones expuestas con anterioridad, en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito se realizó la investigación “Utilización de agregado grueso de concreto reciclado en elementos estructurales”, desarrollada por Libardo Enrique Arriaga Tafhurt [ref. 2], con la dirección de Nancy Torres C. (MSc.) y Pedro Nel Quiroga S. (Ph.D).

## METODOLOGÍA

Como primera medida, se definió el porcentaje de sustitución del agregado grueso natural por agregado de concreto reciclado. Una vez revisada la información pertinente, éste se fijó en 20 %, ya que las experiencias previas de otros países [ref. 1] indican que para el mencionado porcentaje de sustitución se obtienen resultados satisfactorios, sin afectar considerablemente las propiedades físico-mecánicas del concreto estructural. Adicionalmente, este porcentaje de sustitución fue el valor óptimo resultante de una investigación previa de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, titulada “Concreto sostenible como alternativa estructural, ambiental y económica en la construcción de obras civiles”, desarrollada por Néstor Raúl Bojacá Castañeda [ref. 3].

Con el fin de comparar los resultados se planteó la elaboración de muestras similares de concreto con agregado de concreto reciclado y de concreto convencional o de control, para cada uno de los tipos de elementos estructurales, a saber: vigas continuas, placas apoyadas en tres bordes, vigas altas y ménsulas.

En la totalidad de elementos estructurales se utilizaron el mismo tipo de agregados de concreto reciclado –provenientes de cilindros testigo del laboratorio del Centro de Estudios de Estructuras, Materiales y Construcción–, empleados en la investigación de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito titulada “Propiedades mecánicas y de durabilidad de concretos con agregado reciclado”, desarrollada por Néstor Raúl Bojacá Castañeda [ref. 4]. Esta investigación fue el punto de partida en cuanto a propiedades físicas de los agregados y diseños de mezclas.

Además, en todos los casos se ensayaron cilindros testigo para cada tipo de concreto en cuanto a resistencia a la compresión con módulo de elasticidad y se estimó el peso unitario.

Finalmente, se calcularon las cargas de falla teóricas de los elementos estructurales, de acuerdo con los lineamientos del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 [ref. 5] y se hicieron las respectivas comparaciones.

En el programa experimental se incluyeron los elementos estructurales que se relacionan a continuación, divididos en dos grupos: falla por flexión (vigas continuas y placas apoyadas en tres bordes) y falla por cortante (vigas altas y ménsulas).

## ENSAYOS FALLA POR FLEXIÓN

### Vigas continuas

Se ensayaron vigas con un apoyo intermedio y con luces entre apoyos de 2,50 m, cargadas con dos cargas puntuales de igual magnitud, cada una de éstas localizada a 1,10 m del apoyo central, buscando simetría en el montaje. La sección transversal planteada correspondió a una base de 20 cm y una altura de 22 cm.

Se ensayaron en total seis vigas: tres de concreto convencional y tres de concreto con agregado de concreto reciclado. Se utilizaron los mismos tres tipos de refuerzo para cada tipo de concreto, los cuales se establecieron de la siguiente manera para propiciar la ocurrencia de diversos comportamientos; en el tipo 1 se dispusieron mayor refuerzo para momento negativo y un refuerzo mínimo para momento positivo, en el tipo 2 se dispusieron mayor acero de refuerzo para momento positivo y un refuerzo mínimo para momento negativo, y en el tipo 3 se planteó un acero de refuerzo similar al proporcionado por medio de la teoría elástica.



### Placas

Se ensayaron placas de concreto reforzado, apoyadas sobre tres bordes (los dos cortos y uno largo). Las dimensiones planteadas fueron 2,00 x 0,90 x 0,03 m, y el ancho de los apoyos fue 6,35 cm.

Se ensayaron en total cuatro placas (dos de concreto convencional y dos de concreto con agregado reciclado).

Se utilizaron los mismos dos tipos de refuerzo para cada tipo de concreto.

Refuerzo tipo 1: grafiles  $\varnothing$  6 mm en dirección del lado mayor. Separación de barras: 15 cm.

Refuerzo tipo 2: malla  $\varnothing$  3 mm, cada 15 cm, en dos direcciones.

Estas configuraciones de refuerzo se adoptaron para propiciar la presentación de diferentes formas de falla, correspondientes a armadura en una sola dirección y armadura en las dos direcciones.



## ENSAYOS FALLA POR CORTANTE

### Vigas altas

En total, se ensayaron cuatro vigas prismáticas (dos de concreto convencional y dos de concreto con agregado de concreto reciclado) de 145 x 50 cm y 6 cm de espesor. Todas con armadura longitudinal inferior de dos barras N.º 3.

La diferenciación en los tipos de muestras se realizó mediante la armadura vertical.

Muestras tipo 1: sin armadura adicional.

Muestras tipo 2: grafil  $\varnothing$  5 mm, cada 9 cm.

Estas configuraciones de refuerzo se establecieron para propiciar la presentación de diferentes comportamientos; en este caso en particular, para analizar la incidencia de tener o no armadura vertical.



## Ménsulas

En total, se ensayaron cuatro ménsulas (dos de concreto convencional y dos de concreto con agregado de concreto reciclado). Se utilizaron elementos en forma de *T* invertida (ménsula doble), formada por un travesaño de 80 x 30 cm y una columneta de 15 cm de longitud, con espesor uniforme de 20 cm.

Estos elementos estructurales se fabricaron con la siguiente armadura en el travesaño: tres barras inferiores, longitudinales, N.º 5, y dos flejes paralelos a ellas, colocadas a distancia de 8,5 cm, en varilla N.º 3.

Se fabricaron dos tipos de ménsulas, en las cuales la diferencia consistió únicamente en el anclaje de la armadura del travesaño; lo anterior con la finalidad de analizar la incidencia de los tipos de anclaje (soldadura y ganchos a 90º).



## RESULTADOS

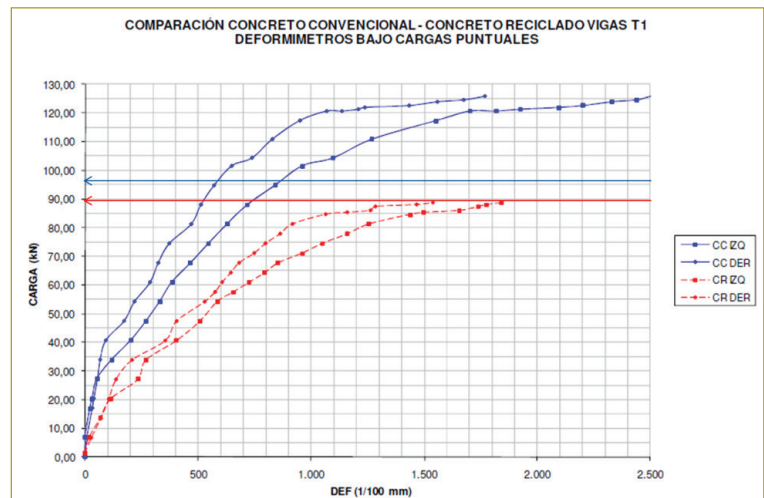
A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los elementos estructurales ensayados: vigas continuas, placas apoyadas en tres bordes, vigas altas y ménsulas. Así mismo, se relacionarán las observaciones de los ensayos y se harán comparaciones, en cuanto a comportamiento y desempeño, entre el concreto con agregado grueso de concreto reciclado y el concreto convencional o de control.

### Vigas continuas

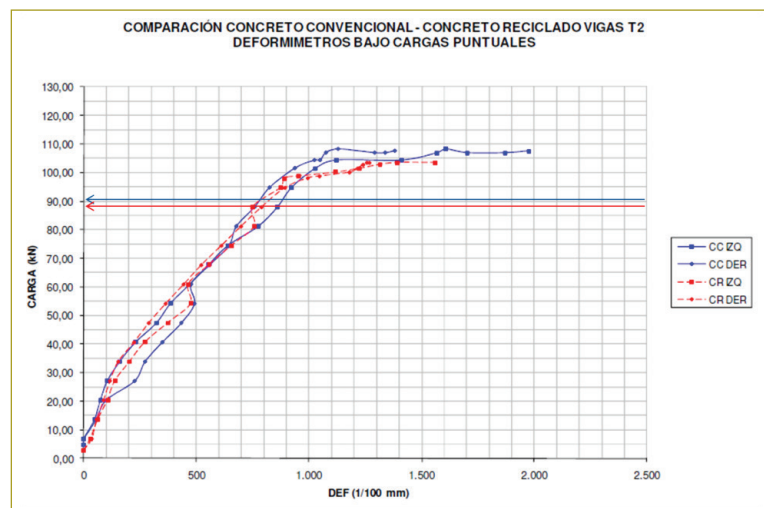
Independientemente del tipo de concreto y configuración del refuerzo, las vigas presentaron el mecanismo de falla previsto: rótulas debajo de las cargas y en el apoyo central.

Las líneas horizontales de las siguientes gráficas representan las cargas de falla teóricas estimadas.

Al comparar las vigas con refuerzo tipo 1, fue evidente un mejor comportamiento del concreto convencional frente al concreto con agregado de concreto reciclado; no obstante, es de resaltar que este último alcanzó la carga de falla teórica estimada.

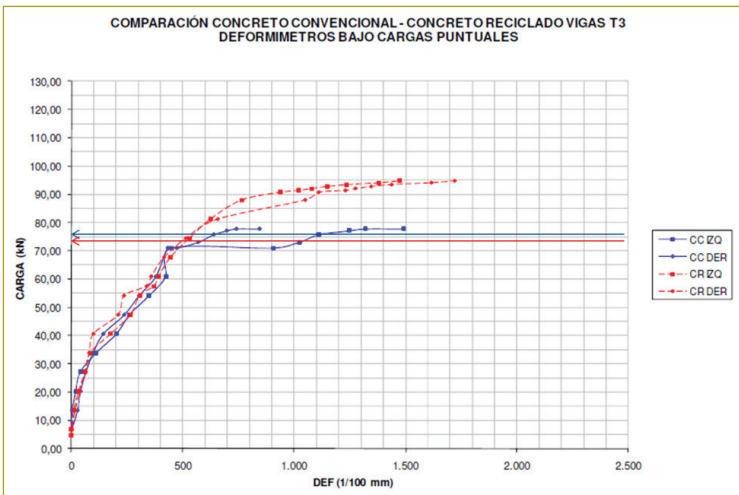


Para vigas con refuerzo tipo 2, el comportamiento de los dos tipos de concreto fue casi idéntico; los dos superan ampliamente las cargas de falla teóricas estimadas.



Las vigas con refuerzo tipo 3 presentaron un comportamiento muy similar hasta una carga de 70 kN y a partir de este punto el concreto con agregado de concreto reciclado registró un mejor comportamiento, aunque se destaca que el concreto convencional superó ligeramente la carga de falla estimada.





En los dos tipos de concreto se presentaron variaciones en las deformaciones obtenidas al lado izquierdo y al lado derecho del apoyo central, lo que se explica por las pequeñas diferencias dimensionales en los montajes que no permiten tener una simetría perfecta.

Se observaron variaciones en comportamiento menos pronunciadas para el mismo concreto y diferente tipo de refuerzo en el concreto con agregado de concreto reciclado.

Todas las vigas –sin distinción entre concreto convencional y concreto con agregado de concreto reciclado– presentaron cargas de falla experimentales superiores que las teóricas, debido a que las formulaciones teóricas utilizadas se basan en que la falla ocurre cuando tanto la armadura para momento positivo como armadura para momento negativo alcanzan el límite de fluencia y en la práctica se pasaron estos límites, obteniendo grandes deformaciones y sosteniendo la carga (ductilidad) hasta que los elementos estructurales fallaron totalmente por aplicación de carga; tal vez se llegó a la zona de endurecimiento por deformación.

Por tratarse de un ensayo destructivo, en el que se llevaron los elementos estructurales hasta la falla total, se evidenciaron ciertas diferencias –ya mencionadas– en comportamiento entre el concreto convencional y el concreto con agregado de concreto reciclado, pero con cargas de trabajo o de funcionamiento normal en una estructura real éstas serían prácticamente imperceptibles; esto se demostró mediante un análisis de las deflexiones con cargas de trabajo de un entrepiso típico y se encontró que los dos tipos de concreto cumplen

a cabalidad con la normativa existente y las diferencias entre sí son irrelevantes.

## Placas

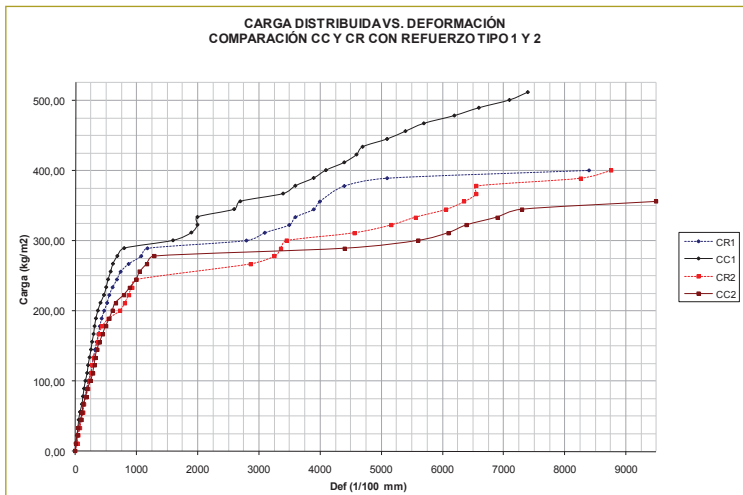
Como estaba previsto, las placas presentaron diferentes comportamientos en función de la disposición del acero de refuerzo, aunque todas tuvieron el único mecanismo de falla posible dada la geometría de los elementos estructurales ( $L > 2B$ ). La diferencia en comportamiento se refleja en los esquemas de fisuración, pues como era de esperarse se presentó una fisuración más notoria, incluso con colapso total, en las placas armadas únicamente en el sentido longitudinal (izquierda), pese a su mayor resistencia.



Para todas las placas se observaron resistencias experimentales diferentes de las teóricas (superiores en su totalidad), teniendo como máximo una diferencia alrededor del 54 % para la placa tipo 2 (armadura en los dos sentidos) de concreto convencional y como mínimo 31 % para la placa tipo 1 (armadura únicamente en el sentido longitudinal) de concreto convencional; el concreto con agregado de concreto reciclado presentó diferencias del orden del 35 % para los dos tipos de refuerzo.

Se registraron variaciones menos pronunciadas para el mismo concreto y diferente tipo de refuerzo en el concreto con agregado de concreto reciclado; esto mismo se observó en el ensayo de vigas continuas.

Se observaron comportamientos similares en el concreto convencional y en el concreto con agregado de concreto reciclado, acorde con la similitud presentada en las propiedades físico-mecánicas de los cilindros testigo ensayados. Las placas ensayadas presentaron un comportamiento muy similar, hasta una carga sobrepuesta de aproximadamente  $175 \text{ kg/m}^2$  (sin incluir el peso propio).



Se calcularon las áreas bajo las curvas carga-deformación y se encontró una disminución del 5 % en el concreto con agregado grueso reciclado frente al concreto convencional para el refuerzo tipo 2 (placa armada en los dos sentidos); para el refuerzo tipo 1 (placa armada únicamente en el sentido longitudinal) se obtuvo un porcentaje del 0,75 % a favor del concreto con agregado grueso de concreto reciclado; este último presentó una variación entre tipos de refuerzo del orden del 6 %, mientras que en el concreto convencional la variación fue prácticamente nula.

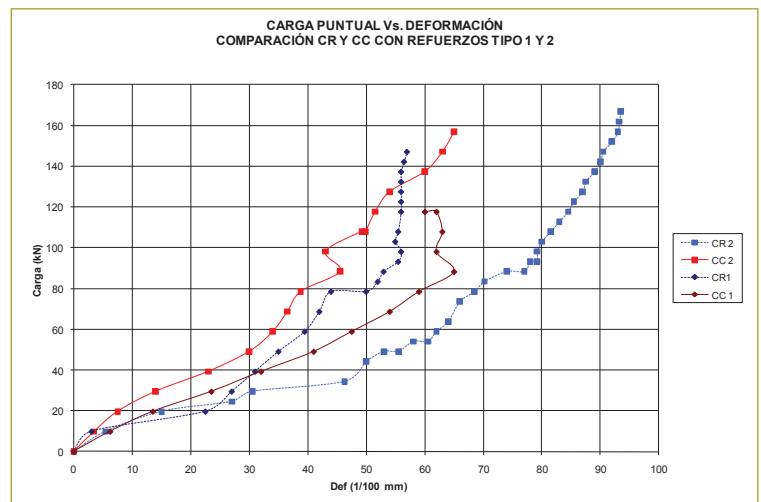
### Vigas altas

Todos los elementos estructurales ensayados presentaron el mecanismo de falla por cortante previsto.



Debido a que los elementos estructurales se fundieron y ensayaron en las mismas fechas y en condiciones climáticas muy similares, se obtuvieron de los ensayos

de los cilindros testigo resistencias a la compresión y módulos de elasticidad casi idénticos; pese a estas similitudes que condujeron a la obtención de diferencias teóricas insignificantes, en los ensayos realizados a los elementos estructurales se evidenciaron diferencias considerables entre los dos tipos de concreto, tanto en la carga máxima que en todos los casos fue superior en el concreto con agregado de concreto reciclado (alrededor de 30 y 7 % para viga alta sin refuerzo adicional y con refuerzo adicional respectivamente) como para las deformaciones; así se evidencia en la siguiente gráfica carga-deformación.



Para el concreto convencional se presentó una carga de falla experimental inferior a la teórica, del orden del 8 % menos para la viga alta sin refuerzo adicional y de 2 % para la viga alta con refuerzo adicional. Por otra parte, las vigas altas de concreto con agregado de concreto reciclado presentaron cargas de falla superiores a las teóricas del orden de 18 y 5 % más para el tipo 1 –sin armadura adicional– y el tipo 2 –con armadura adicional–, respectivamente.

A diferencia de lo observado en los ensayos de vigas continuas y placas apoyadas en tres bordes, se observaron variaciones más pronunciadas, en cuanto a deformación, para el mismo concreto y diferente tipo de refuerzo en el concreto con agregado de concreto reciclado.

Como se esperaba, las vigas altas con refuerzo adicional presentaron un mejor desempeño que las que carecían de éste.

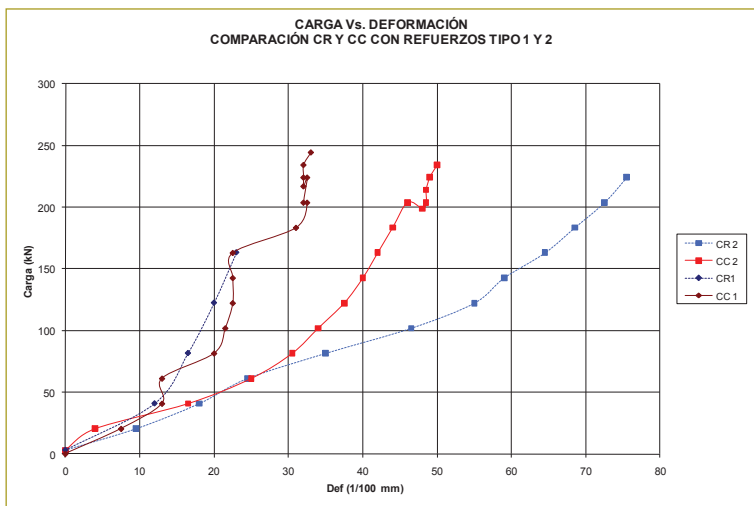


## Ménsulas

En la totalidad de ensayos efectuados se presentó el mecanismo de falla por cortante esperado.



Al igual que para las vigas altas, se obtuvieron en los cilindros testigo propiedades físico-mecánicas casi idénticas para los dos tipos de concreto, lo que condujo a la obtención de diferencias teóricas pequeñas; no obstante, en los ensayos realizados se presentaron diferencias considerables entre los dos tipos de concreto: en la carga máxima, que en todos los casos fue superior en el concreto convencional (alrededor de 35 y 6 % para anclaje con barra transversal soldada y ganchos a 90°, respectivamente), y en las deformaciones, como se evidencia en la gráfica carga-deformación que se muestra a continuación.



Para el concreto convencional se presentó una carga de falla experimental inferior a la teórica del orden del

5 % menos para la ménsula con anclaje en ganchos a 90° y cargas de falla experimentales y teóricas muy similares (la diferencia no alcanza el 0,5 %) para la ménsula con anclaje de barra soldada. Por otra parte, las ménsulas de concreto con agregado de concreto reciclado presentaron cargas de falla inferiores a las teóricas del orden de 33 y 13 % menos para el tipo 1 –anclaje con barra soldada– y el tipo 2 –anclaje con ganchos a 90°–, respectivamente. Cabe anotar que por la naturaleza de la falla (cortante) los elementos estructurales pueden presentar fallas locales súbitas, como es el caso de la ménsula de concreto con agregado de concreto reciclado que falló anticipadamente debido a que la armadura quedó desplazada en el momento de la construcción y, en consecuencia, quedó un apoyo en una zona sin refuerzo; este caso fue el que presentó la mayor diferencia. Cabe destacar que esto se presentó en el primer ensayo realizado, por lo que se aumentó en dos centímetros la distancia del borde de la ménsula al centro de los apoyos, con el fin de evitar la repetición del inconveniente.

Como se esperaba, al comparar las muestras de concreto convencional, la ménsula con anclaje soldado registró un mejor comportamiento que la que tenía anclaje con ganchos a 90°. Para el caso de las muestras de concreto con agregado de concreto reciclado, se obtuvo una mayor carga de falla en la ménsula con anclaje de ganchos a 90° debido a la falla prematura de la ménsula con anclaje soldado, por las razones explicadas con anterioridad y que sólo se detectaron una vez realizado el ensayo; sin embargo, pese a que la carga máxima fue inferior a la obtenida en la ménsula con anclaje de ganchos a 90°, se evidencia claramente en la gráfica carga-deformación un mejor comportamiento en la ménsula con anclaje soldado hasta la falla prematura.

Al comparar el concreto con agregado de concreto reciclado con el concreto convencional se observó para el refuerzo tipo 1 –con anclaje de barra soldada–, que presentaron un comportamiento muy similar hasta alrededor de 16 toneladas (carga de falla de la ménsula de concreto con agregado de concreto reciclado); incluso la ménsula de concreto con agregado de concreto reciclado presentó un comportamiento más consistente hasta su falla prematura. Al analizar en forma similar el comportamiento para las ménsulas con refuerzo tipo 2 –con anclaje de ganchos a 90°– se observó que se alcanzó una carga máxima similar para los dos tipos de

concreto, pero el concreto convencional muestra un mejor desempeño, teniendo menores deformaciones para el mismo nivel de carga; esto se puede notar con claridad en las gráficas carga-deformación.

A diferencia de lo observado en los ensayos de vigas continuas y placas apoyadas en tres bordes, se observaron –al igual que en el caso de vigas altas– variaciones más pronunciadas para el mismo concreto y diferente tipo de refuerzo en el concreto con agregado de concreto reciclado; esto se puede explicar por el tipo de sollicitación (cortante), lo cual indica que el comportamiento del concreto con agregado de concreto reciclado es más propenso al cortante que a la flexión.

En general, las observaciones previas indican que el concreto con agregado de concreto reciclado presenta un comportamiento y desempeño adecuado, comparativamente con el concreto convencional de control. Así mismo, los resultados obtenidos sugieren que el uso de agregado grueso de concreto reciclado es viable para aplicaciones estructurales, lo que concuerda con las investigaciones previas de elementos estructurales sometidos a flexión [refs. 6, 7, 8 y 9] y a cortante [refs. 6, 7, 10 y 11].

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación se plantean unas conclusiones generales, producto de la compilación de las observaciones particulares de cada tipo de elemento estructural ensayado y unas recomendaciones para futuros estudios.

- De manera general, se comprobó que para una sustitución del 20 % del agregado grueso por agregado de concreto reciclado se obtienen comportamientos y desempeños satisfactorios desde el punto de vista de resistencia mecánica, y las diferencias entre el concreto convencional y el concreto con agregado de concreto reciclado no son significativas, lo que permite su utilización en diversos tipos de elementos estructurales, sin acarrear consecuencias negativas en contra de la seguridad.
- El concreto con agregado de concreto reciclado es una alternativa prometedora que amerita que se siga estudiando para, en un futuro, alcanzar la normalización y, por ende, su aplicación en las obras civiles del entorno colombiano, con los correspondientes beneficios al medio ambiente.
- Se considera necesario acometer más investigaciones del material para avanzar en el estado del arte a escala nacional. Sería interesante estudiar otros tipos de elementos estructurales, como columnas o pórticos, para estos últimos es aconsejable incluir cargas dinámicas y analizar el comportamiento ante este tipo de sollicitaciones.
- Es recomendable hacer estudios con diferentes porcentajes de sustitución del agregado grueso natural por agregado de concreto reciclado, para encontrar el punto de equilibrio a partir del cual las propiedades físico-mecánicas y el comportamiento estructural se vean significativamente comprometidos.
- Para terminar, el desempeño de los elementos estructurales ensayados (vigas continuas, placas apoyadas en tres bordes, vigas altas y ménsulas) cumplió a cabalidad con las expectativas ante las sollicitaciones impuestas, por lo que no hay necesidad de hacer ajustes a las ecuaciones clásicas del diseño estructural, lo que demuestra un comportamiento muy similar del concreto con agregado grueso de concreto reciclado frente al concreto convencional o de control.

## REFERENCIAS

- Ref. 1** Asociación Científico - Técnica del Hormigón Estructural (ACHE) (2006). Utilización de árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural. España.
- Ref. 2** Arriaga T., L.E. (2013). Utilización de agregado grueso de concreto reciclado en elementos estructurales de concreto reforzado. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- Ref. 3** Bojacá C., N.R. (2008). Concreto sostenible como alternativa estructural, ambiental y económica en la construcción de obras civiles. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- Ref. 4** Bojacá C., N.R. (2013). Propiedades mecánicas y de durabilidad de concretos con agregado reciclado. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- Ref. 5** Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). Bogotá, D.C.
- Ref. 6** Yagishita, F., Sano, M. & Yamada, M. (1993). Behaviour of reinforced concrete beams containing recycled coarse aggregate concrete. Demolition and Reuse of Concrete and Masonry. Proceedings of the Third International Rilem Symposium. Edited by Erik K. Lauritzen, pp. 331-342.
- Ref. 7** Mukay, T. (1998). Properties of reinforced concrete beams containing recycled aggregate. Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, vol. 2. Reuse of Demolition Waste. Proceedings of the Second International Rilem Symposium. Ed. Y. Kasai, pp. 670-679.

**Ref. 8** McNail, K. & Kang, T. (March, 2013). Recycled concrete aggregates: a review. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, vol. 7, N.º 1; pp. 61-69.

**Ref. 9** Tsujini, M., Noguchi, T., Tamura, M., Kanematsu, M. & Maruyama, I. (February, 2007). Application of recycled coarse aggregate to concrete structure by surface modification treatment. *Journal of Advanced Technology*, vol. 5, N.º 1; pp. 13-25.

**Ref. 10** González, B. (2002). Hormigones con áridos reciclados procedentes de demoliciones: dosificaciones, propiedades mecánicas y comportamiento estructural a cortante. Universidad Politécnica A Coruña.

**Ref. 11** Etxeberria, M. (2004). Experimental study on microstructure and structural behaviour of recycled aggregate concrete. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.

# Factibilidad de reúso de aguas negras en edificaciones

## Feasibility of wastewater reuse in buildings

**JOHN CÉSPEDES ROMERO<sup>1</sup> - JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS<sup>2</sup>**

1. Ingeniero civil de la Universidad Minuto de Dios. Maestría 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.

john.cespedes@escuelaing.edu.co - jairo.romero@escuelaing.edu.co

Recibido: 27/11/2015 Aceptado: 21/01/2016

Disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

### Resumen

A lo largo de este artículo se presentan los resultados de las investigaciones y ensayos de laboratorio hechos para determinar la factibilidad de reúso de aguas negras en edificaciones.

### Abstract

This article presents the results of investigations and laboratory tests to determine the feasibility of wastewater reuse in buildings.

## INTRODUCCIÓN

Entre un 60 y 80 % de las aguas de consumo per cápita son transformadas en aguas residuales. El aporte de aguas negras (aguas de sanitarios y orinales) es muy importante porque son las que contienen la carga contaminante principal, ya que mediante ellas se transportan la materia fecal y la orina con sus contaminantes principales, representados en materia orgánica (DBO), sólidos suspendidos y probables organismos patógenos.

Las aguas negras se definen como las aguas que provienen de inodoros y orinales, contaminadas por la orina y las heces humanas; el empleo más generalizado que se les da a las aguas negras tratadas es el de la irrigación de zonas verdes, jardines, etc. Sin embargo, también pueden ser tratadas para usos que requieran una mayor calidad de agua, los cuales requerirán un sistema de tratamiento más avanzado y menos económico.

Los constituyentes convencionales presentes en aguas negras son sólidos suspendidos y coloidales, materia orgánica e inorgánica medida como demanda química y bioquímica de oxígeno, carbono orgánico total, nitrógeno, fósforo, bacterias, protozoarios y virus. En general, las aguas negras presentan valores de pH alrededor de la neutralidad, con una concentración de materia orgánica variable (250-800 mg/L de DQO), se caracterizan por su alto contenido de patógenos bacterianos, sus altas cargas en materia orgánica y nutrientes, su color oscuro y un olor muy ofensivo.

Tienen como uso más conocido para reutilización el de irrigación de jardines y zonas verdes. Los tipos y aplicaciones se clasifican de acuerdo con el sector o infraestructura que recibe el beneficio, siendo uno de los principales el urbano, que incluye irrigación de parques públicos, campos de atletismo, áreas residenciales y campos de golf.

La reutilización de las aguas negras data desde muchos años atrás. Mil años antes de Cristo las aguas negras de Jerusalén desembocaban en un estanque de sedimentación y se empleaban para riego.

El reúso de las aguas negras dependerá de los parámetros y características de la normativa vigente, y la complejidad del sistema de tratamiento es, por tanto, función del objetivo de tratamiento. En las edificaciones y conjuntos residenciales, por consiguiente, es necesario contemplar un pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y un tratamiento terciario o avanzado, dependiendo del uso propuesto.

Para ello hay que conocer las características básicas de los componentes de las aguas negras: orina y materia fecal, e incluir los resultados experimentales de la caracterización de un número determinado de muestras.

Más adelante se incluyen las opciones que generalmente se tienen de reúso de aguas negras en edificaciones, así como también algunos criterios normativos para ellos.

## ANTECEDENTES

El agua residual doméstica se ha utilizado para regar cultivos, campos, etc. (figura 1). Con el pasar del tiempo se han establecido sistemas de tratamiento que permiten el reúso de estas aguas, de manera económica y sin riesgo para la salud pública<sup>(1)</sup>.

El empleo y la importancia del agua dulce para el hombre no cesan de aumentar. Su abastecimiento se hace cada vez más difícil, por lo que el reúso del agua residual representa una interesante alternativa. Con esta práctica se han producido aspectos benéficos, como el incremento en los rendimientos agrícolas debido al aporte de nutrientes y la disminución en el uso de fertilizantes químicos. Sin embargo, se han notado efectos negativos sobre la salud pública, ya que se han incrementado las infecciones gastrointestinales por el contacto con las aguas negras y el consumo y manejo de productos agrícolas regados con ellas, debido a su contenido de microorganismos patógenos. La Organización Mundial de la Salud (OMS)<sup>(2)</sup> recomienda un estándar microbiológico para el uso del agua residual tratada en el riego de cultivos de  $\leq 0,1$  huevo de helminto/litro para cultivos que comúnmente se consumen crudos, para campos deportivos y para parques públicos, siendo el grupo expuesto los trabajadores y los consumidores.

Ejemplos del aprovechamiento de las aguas negras son el riego de cultivos de:

- Silvicultura (plantaciones forestales)
- Forrajes, hierbas, alfalfas, etc.
- Maíz, trigo, cebada
- Menta, algodón, tabaco

Para el riego de cultivos de frutas y legumbres se debe disponer de un sistema de tratamiento con un mayor grado de remoción de elementos patógenos y



un programa de monitoreo regular, para controlar la presencia de patógenos (parásitos y coliformes fecales).



Riego de cultivo con aguas negras. Masaya (Nicaragua).  
Foto cortesía de Ivenne Morazon.

Entre un 60 y 80 % de las aguas de consumo per cápita son transformadas en aguas residuales. El aporte de aguas negras (aguas de sanitarios y orinales) es muy importante porque las aguas negras contienen la carga contaminante principal, ya que mediante ellas se transportan la materia fecal y la orina con sus contaminantes principales, representados en materia orgánica (DBO), sólidos suspendidos y probables organismos patógenos.

La cantidad de aguas negras que genera una persona depende de:

- Su consumo de agua potable.
- Hábitos de uso.
- Fugas y desperdicio de agua.

Aproximadamente un 30 % de las aguas residuales domésticas son aguas negras (aguas de inodoros y orinales), 30 % de la ducha, 35 % del lavado de ropa, manos y platos, y un 5 % de fugas. El promedio de agua doméstica residual está entre 100 y 200 litros por persona al día. El caudal que se produce varía a lo largo del día, siendo el más bajo a las cinco de la mañana y el más alto al mediodía.

Los principales elementos de contaminación que se encuentran en las excretas y en las aguas negras, que provocan un impacto negativo a la salud y el ambiente, son los organismos causantes de enfermedades, sólidos suspendidos, materia orgánica disuelta y nutrientes.

### Ejemplos de reúso de aguas negras

- Hotel Arabella (Alemania). Este edificio presenta reciclaje de aguas grises. En él, las aguas de regaderas y tinas de las habitaciones son tratadas con unidades de contacto biológico rotativo y reusadas en los sanitarios; el agua lluvia también se recolecta y se reutiliza para irrigación de jardines del hotel.
- Proyecto Erdos-Eco Town (Dongsheng, China). Este proyecto contará con sanitarios secos separadores de orina y con sistema de colección de aguas grises y tratamiento en un sistema descentralizado, y reúso de compost (heces y residuos orgánicos) y orina en agricultura.
- Edificio de la KfW (Alemania). Esta construcción cuenta con reciclaje de aguas grises, recolección de aguas lluvias y negras por vacío para tratamiento anaerobio desde el año 2003.
- Campo de fútbol de Vilanova I Geltru (Barcelona). Posee un depósito encerrado de 16 m<sup>3</sup> para la reutilización de aguas grises procedentes de las duchas y la recogida de las aguas
- Edificio Solaire (Manhattan). Considerado como el primer edificio verde de gran altura, ha generado atención en todo el mundo desde que en 2003 recibió la certificación LEED Oro porque, entre otras características, hace reúso de las aguas negras.

En Colombia no se reportan aún casos de reutilización de aguas negras (aguas de sanitarios y orinales) en edificaciones.

Los grandes proyectos que han adoptado en Colombia el reúso de aguas negras para actividades de aseo, riego de zonas verdes, lavado, descarga de sanitarios, etc., son en su mayoría los proyectos que han establecido políticas ambientalistas dentro de su desarrollo urbanístico. Uno de los caminos que toman los proyectos para optar por políticas ambientalistas es la certificación de edificios sostenibles LEED (sigla de Leadership in Energy & Environmental Design), que se compone de

un conjunto de normas sobre la utilización de estrategias encaminadas a la sostenibilidad en edificios de todo tipo. Se basa en la incorporación en el proyecto de aspectos relacionados con la eficiencia energética, el uso de energías alternativas, la mejora de la calidad ambiental interior, la eficiencia del consumo de agua, el desarrollo sostenible de los espacios libres de la parcela y la selección de materiales. El objetivo principal de la categoría “Uso eficiente del agua” es reducir el consumo de agua potable mediante la aplicación de las siguientes estrategias:

- Incrementar la eficiencia en el manejo del agua para reducir la carga requerida de los acueductos y de los sistemas de alcantarillado y drenaje municipales.
- Emplear estrategias que, en conjunto, generen un ahorro en el consumo de agua.
- Limitar o eliminar el uso de agua potable, de cualquier fuente natural o del subsuelo para labores de riego de áreas verdes (jardines, cultivos, etc.).

Y es precisamente para conseguir el cumplimiento de prerrequisitos necesarios para lograr la obtención de créditos en la categoría de “Eficiencia del consumo de agua” que los constructores se incentivan a utilizar el recurso hídrico de la manera más eficiente, a través de la disminución del agua de riego, con la adecuada selección de especies y la utilización de artefactos sanitarios de bajo consumo, por ejemplo. Es allí donde algunos edificios implementan la metodología del reúso de aguas grises. Para conseguirlo, los constructores contemplan la opción de recircular las aguas provenientes de duchas y bañeras, lavadoras y aguas lluvias para regresarlas a las viviendas mediante un sistema de bombeo que permite el posterior uso de éstas en sanitarios y riego de zonas verdes, así como también para aguas de lavados de patios, terrazas, zonas comunes, etc.

Las empresas constructoras colombianas están más conscientes de la importancia de la sostenibilidad. Cabe anotar que en los últimos dos años el país ha registrado un cambio profundo de sensibilidad y nivel de compromiso frente a las mejores prácticas de diseño, construcción y urbanismo sostenible. Este cambio del mercado derivó en un número creciente de proyectos que han optado por certificarse con el sistema LEED, de propiedad del Consejo de Construcción Sostenible de Estados Unidos.

En Colombia el edificio de mayor tamaño ya construido que tiene la certificación LEED es la sede de Bancolombia, en Medellín, que tiene un área construida de 135.379 metros cuadrados y una capacidad para 4.200 empleados. Esta edificación tiene la certificación LEED-EB:OM v2009, es decir, la certificación para edificios existentes: operaciones y mantenimiento, aval otorgado a principios de este año. Entre otras características, la sede permite el ahorro del 50 % de la energía eléctrica gracias al manejo del flujo del aire y de la luz natural, pues cada trabajador del edificio tiene una entrada de luz cerca.

La certificación LEED se entrega en múltiples grados (Certificado, Plata, Oro, Platino) y en distintos segmentos de construcción. En Colombia, la primera edificación en tener la certificación de “Interiores comerciales” fue la de las oficinas de Grupo Contempo en el cuarto piso del Oxo Center. La primera construcción en obtener la certificación de “Nuevas construcciones” fue el edificio de oficinas de Novartis, construidas por Terranum. Por su parte, en la sección de “Retail” los únicos establecimientos que han obtenido el reconocimiento han sido tres almacenes ancla de Falabella: en el Centro Comercial Santafé de Medellín, en el Centro Comercial Centro Mayor y en el Parque Arboleda, en Pereira.

Bogotá tiene 32 proyectos, ubicándola como la ciudad con mayor número de proyectos en busca de certificación, para lo cual es necesario que se implementen metodologías de ahorro, manejo y reutilización de las aguas negras.

## CARACTERIZACIÓN DE AGUAS NEGRAS

Las aguas negras se definen como las aguas que provienen de inodoros y orinales. Generalmente, están contaminadas por la orina y las heces humanas. Las aguas negras se caracterizan por su alto contenido de patógenos bacterianos, sus altas cargas de materia orgánica y nutrientes, su color oscuro y un olor muy ofensivo.

La utilización más generalizada que se les da a las aguas negras tratadas es el de la irrigación subterránea del jardín. Sin embargo, también pueden ser tratadas para usos que requieran una mayor calidad de agua, como llenar las cisternas del lavabo. Estos usos del agua tratada requerirán un sistema de tratamiento más avanzado y menos económico.

## Orina

Es un líquido acuoso transparente y amarillento, de olor característico, secretado por los riñones y eliminado al exterior por el aparato urinario.

A través de la orina se eliminan residuos del trabajo celular, sustancias indeseables y el exceso de agua en la sangre. Es un líquido de color más o menos amarillento, cuya densidad y cantidad dependen de cada organismo, de la cantidad de agua ingerida y de las actividades de consumo realizadas.

### CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA ORINA<sup>3</sup>

Agua presente en la orina	95 %
Sólidos en dilución	4 %
Urea por litro	20 g
Ácido úrico	0,5 g
Volumen	750-2000mL/24h
Olor	<i>Sui generis</i>
Color	Incoloro-amarillo
Turbidez	Ausente
Gravedad específica	1,003-1,035 g/MI
<b>Químicas</b>	
pH	4,7-7,8
Proteínas	Ausentes
Cuerpos cetónicos	Ausentes
Hemoglobina	Ausente
Bilirrubina	Ausente
Nitritos	Ausente
Estereasa leucocitaria	Ausente
Glucosa	Ausente

### Utilizaciones de la orina para reúso

La orina como fertilizante contiene nutrientes útiles para las plantas, como grandes cantidades de nitrógeno en forma de urea y una pequeña cantidad en forma de ácido úrico, por lo que se puede recomendar para riego de la mayoría de cultivos. Al ser especialmente rica en N, es aconsejable dar prioridad a los cultivos que tienen un gran valor y responden bien al N, como la espinaca, coliflor, plantas ornamentales y maíz. No obstante, no existe ninguna razón para no usar la orina, si existe suficiente, como fertilizante en otros cultivos, ya que las experiencias muestran buenos resultados.

Para poder utilizar la orina en los cultivos, los usos y aplicaciones, hay que tomar en cuenta las recomendaciones locales para la fertilización de cultivos. Las dosis

de aplicación para fertilizantes minerales nitrogenados (urea o amonio) pueden usarse como base para las recomendaciones del empleo de la orina. Antes de traducir dichas recomendaciones a la orina, hay que analizar su concentración de nitrógeno (N); de otro modo, se puede estimar una concentración de nitrógeno de 3-7 g por litro. De no ser posible la obtención de recomendaciones locales, una regla general es aplicar la orina producida por una persona durante un día (24 horas) a un metro cuadrado de terreno. Si se recolecta toda la orina, ésta alcanzará para fertilizar de 300 a 400 m<sup>2</sup> de cultivos por persona por año, con N a una dosis razonable.

La orina contiene también una gran cantidad de fósforo, suficiente para fertilizar hasta 600 m<sup>2</sup> de cultivo por persona y temporada de crecimiento, si la dosis de aplicación se escoge para sustituir el fósforo removido.

### Heces fecales<sup>(4)</sup>

Las heces son los desperdicios sólidos producidos por los seres vivos como producto final de la digestión. Son los restos de los alimentos no absorbidos por el tubo digestivo, así como células del epitelio intestinal que son descamadas en el proceso de absorción de nutrientes y microorganismos, al igual que otras sustancias que no son capaces de atravesar el epitelio intestinal.

### Contenido de macronutrientes en la excreta

Existen pocas mediciones de las cantidades y la composición de la excreta humana, por lo que es necesario contar con un método para calcular la composición de la excreta a partir de una información que sea fácil de obtener. Un método, que usa las estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) sobre el suministro de alimentos disponible en varios países, ha sido desarrollado por Jönsson y Vinnerås (2004)<sup>(5)</sup>. Este método utiliza ecuaciones derivadas de las estadísticas de la FAO y una estimación de la excreción media de la población sueca, donde se han hecho extensas mediciones en la excreta.

El contenido de metales pesados y otras sustancias contaminantes, como los residuos de plaguicidas, son generalmente bajos o muy bajos en la excreta, y dependen de las cantidades presentes en los productos

consumidos. Los niveles de metales pesados en la orina son muy bajos (Jönsson et al., 1997; Jönsson et al., 1999; Johansson et al., 2001; Vinnerås, 2002; Palmquist et al., 2004)<sup>(6)</sup>. El contenido de estas sustancias es mayor en las heces en comparación con la orina. La causa principal de esto es que las heces consisten básicamente en materiales no metabolizados, combinados con algunos materiales metabolizados. La proporción principal de micronutrientes y otros metales pesados pasa a través del intestino, sin ser afectada (Fraústo da Silva y Williams, 1997)<sup>(7)</sup>. Aun así, las concentraciones de sustancias contaminantes en las heces son usualmente más bajas que en los fertilizantes químicos (por ejemplo, el cadmio) y en el estiércol de aves de corral (por ejemplo, el cromo y el plomo)<sup>(8)</sup>.

#### CONTENIDOS PRINCIPALES EN AGUAS NEGRAS

	Heces	Orina
HUMEDAD	66 - 80 %	93 - 96 %
MATERIA ORGÁNICA	88 - 97 %	65 - 85 %
NITRÓGENO	5 - 7 %	15 - 19 %
FÓSFORO	3 - 5,4 %	2,5 - 5 %
POTASIO	1 - 2,5 %	3 - 4,5 %
CARBONO	44 - 55 %	11 - 17 %
CALCIO	4,5 %	4,5 - 6 %

En la anterior tabla se muestran las características principales de las aguas negras (heces fecales y orina). Generalmente las aguas negras tienen una relación aproximada de  $DBO_5 / DQO = 0,5$  y de  $DBOU / DBO_5 = 1,5$ .

### CARACTERIZACIÓN DE AGUAS NEGRAS

#### Preparación de muestras

Se prepararon siete muestras con el producto de una deposición y una descarga de orina diaria, recogidas en la semana del 21 de diciembre del año 2012; una muestra diaria tomada en una hora promedio de 6:00 a 6:30 a.m. Para la toma de las muestras se usó un recipiente plástico (clínicamente conocido como “pato”) lo cual permitió separar la muestra de todo contacto con agua residual, detergente, etc. Una vez que la muestra estaba en el recipiente plástico, se guardó en otro recipiente plástico, que tenía una capacidad de seis litros. Después,

en este mismo recipiente, se agregaba una descarga de orina y por último se llenaba el recipiente plástico con agua de la llave hasta completar los seis litros. Se tomó la decisión de completar seis litros, ya que esa es la capacidad de los tanques de los sanitarios comunes.

#### Análisis de resultados

Las aguas negras analizadas se pueden clasificar como aguas residuales fuertes, muy turbias, de alcalinidad alta, relativamente duras, con alta concentración de hierro, manganeso, materia orgánica y coliformes fecales. Exhiben una relación promedio de  $DBO/DQO$  de 0,78, que confirma su composición por materia orgánica biodegradable. En general, dependiendo del uso requerido, son aguas que responden al tratamiento biológico y que hace necesario removerles turbiedad, hierro y manganeso, así como coliformes fecales.

### OPCIONES DE REÚSO DE AGUAS NEGRAS EN EDIFICACIONES

Las aguas negras domésticas son aprovechadas en muchas partes del mundo, especialmente para:

- Riego agrícola (a veces en forma directa y a veces al extraerla de los ríos donde esas aguas se habían descargado).
- Riego de árboles y plantas en “corredores de transporte” o corredores biológicos.
- Riego de césped, por ejemplo en campos de golf, en jardines de hoteles, escuelas, etc.
- Procesos industriales (enfriamiento de equipos).
- Funcionamiento de inodoros.
- Recarga de acuíferos.
- Mitigación de impactos ambientales (creación de humedales artificiales).
- Usos estéticos/paisajísticos.

En general, con adecuados tratamientos, el uso de aguas negras domésticas en riego no ocasiona deterioro de los suelos ni de las aguas subterráneas, se obtienen productos de calidad, no se ha observado acumulación de metales en los cultivos, no incrementa la salinidad de los suelos, etc.

En edificaciones y conjuntos residenciales las posibles formas de reúso de aguas negras serían:



- Riego de parques, jardines, zonas viales, campos deportivos de recreación.
- Mantenimiento de lagos, estanques, ríos.
- Usos domésticos (no potable).
- Abastecimiento de sanitarios.

El reúso de las aguas negras dependerá de los parámetros y características de la normativa vigente, pero como se ha mencionado la utilización de las aguas negras domésticas tratadas no ha demostrado problemas posteriores al reúso.

En muchos países existen diferentes regulaciones para la reutilización de aguas

En general, los países que tienen una normativa sobre el reúso de las aguas negras han tomado como referencia lo establecido por la EPA, en términos de la clasificación por tipos de la reutilización, y las directrices de la OMS y de la FAO en lo relacionado con límites máximos permisibles de algunas sustancias.

En Colombia, el Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Salud reglamenta los usos del agua y establece los criterios admisibles para la destinación del recurso (capítulo IV, artículo 40).

#### CRITERIOS ADMISIBLES PARA DESTINACIÓN DE AGUAS NEGRAS EN ZONAS VERDES

Aluminio (Al)	5
Arsénico (As)	0,1
Berilio (Be)	0,1
Cadmio (Cd) 0,01	2
Cinc (Zn)	2
Cobalto (Co)	0,05
Cobre (Cu)	0,2
Cromo (Cr + 6)	0,1
Flúor (F)	1
Hierro (Fe)	5
Litio (Li)	2,5
Manganeso (Mn)	0,2
Molibdeno (Mo)	0,01
Níquel (Ni)	0,2
pH (unidades)	4,5 - 9,0

En resumen, la reutilización de aguas negras en edificaciones y conjuntos residenciales está limitada a riego de parques, jardines, zonas verdes, vías, campos deportivos, mantenimiento de lagos y abastecimiento de acuíferos. Los usos anteriores requieren que las aguas

negras sean tratadas y cumplan una norma como la expuesta en los artículos 40 y 43 del Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Salud, los cuales establecen los siguientes criterios de calidad:

#### CRITERIOS ADMISIBLES PARA USO AGRÍCOLA (DECRETO 1594 DE 1984)

Aluminio (Al)	5
Arsénico (As)	0,1
Berilio (Be)	0,1
Cadmio (Cd) 0,01	2
Cinc (Zn)	2
Cobalto (Co)	0,05
Cobre (Cu)	0,2
Cromo (Cr + 6)	0,1
Flúor (F)	1
Hierro (Fe)	5
Litio (Li)	2,5
Manganeso (Mn)	0,2
Molibdeno (Mo)	0,01
Níquel (Ni)	0,2
pH (unidades)	4,5 - 9,0

#### PARÁMETROS MÍNIMOS EXIGIDOS PARA REÚSO DE AGUAS NEGRAS EN RIEGO DE ZONAS VERDES

Parámetro	Unidad	Valor obtenido de muestras propias	Valor exigido por la normativa colombiana
pH	Unidad	8	5-9
Coliformes fecales	UFC/100 mL	>2x10 <sup>11</sup>	1000 microorganismos/100 ml
DBO	Mg/L-O <sub>2</sub>	1449	200
Sólidos suspendidos	Mg/L	679	<100
Hierro	Mg/L	53	<5

Como se observa en la tabla, una exigencia básica es que las zonas verdes, parques o jardines se rieguen con aguas negras tratadas que tengan menos de 1000 coliformes fecales por 100 mL. Esto significa que los sistemas de tratamiento implementados por las edificaciones y conjuntos residenciales deben lograr remover de cuatro a cinco unidades logarítmicas de coliformes fecales, empleando sistemas de tratamiento adecuados.

De igual manera, la normativa exige unos estándares químicos muy exigentes para el reúso de aguas negras en riego de zonas verdes. Teniendo en cuenta los va-



lores promedios obtenidos en este estudio (tabla 7), se concluye que las aguas negras requieren por lo menos tratamiento secundario y desinfección para cumplir con el estándar para riego de zonas verdes.

## TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS EN EDIFICACIONES

### Contaminantes de las aguas residuales y formas de tratamiento y remoción

#### *Sólidos suspendidos*

- Sedimentación
- Tamizado y desintegración
- Filtración
- Flotación
- Adición de polímeros
- Coagulación/sedimentación

#### *Orgánicos biodegradables*

- Lodos activados
- Filtros biológicos
- Discos rotatorios
- Lagunas de aireación
- Filtración en grava y arena
- Filtración en membrana

#### *Patógenos*

- Cloración
- Ozonización
- Radiación UV
- Desinfección por calor

#### *Nutrientes*

##### Nitrógeno

- Nitrificación y desnitrificación en lechos suspendidos
- Nitrificación y desnitrificación en lechos fijos
- Intercambio iónico
- Cloración a punto de ruptura

##### Fósforo

- Adición de coagulantes
- Coagulación y sedimentación con cal
- Remoción por procesos biológicos

#### *Orgánicos refractarios*

- Adsorción con carbón activado
- Ozonización

#### *Metales pesados*

- Precipitación química
- Intercambio iónico

#### *Sólidos inorgánicos disueltos*

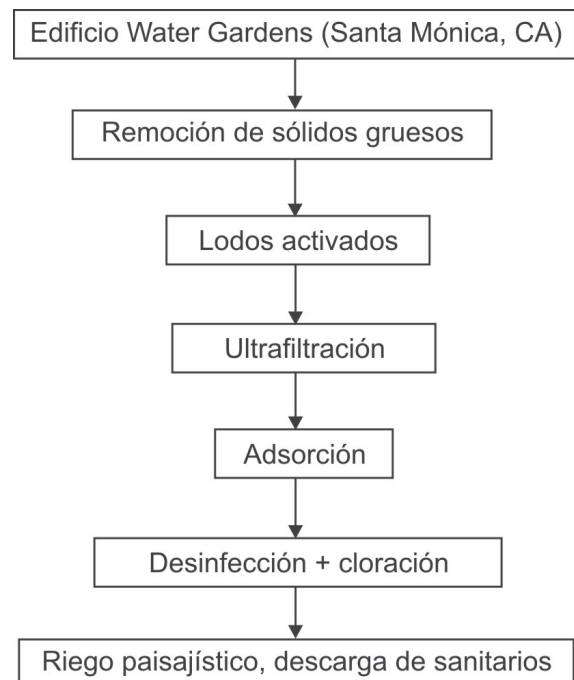
- Intercambio iónico
- Ósmosis inversa
- Electrodialisis

En los siguientes ejemplos se ilustran metodologías utilizadas para reúso de aguas negras en edificios.

### Edificio Water Gardens (Santa Mónica, California)

En este edificio se contemplan la construcción de una planta de tratamiento para reúso de aguas negras con fines de riego paisajístico y descarga de sanitarios, se ilustran las condiciones del proyecto.

#### TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS EN EL EDIFICIO WATER GARDENS (SANTA MÓNICA, CALIFORNIA)



**Fay School.** Ésta es una escuela privada y un internado para estudiantes de primaria y secundaria en Southbo-

rough (Massachusetts), que consta de 22 edificios que albergan 552 estudiantes y profesores. El 30 % de los cuales reside en el campus como parte del internado. En 2011, la escuela estaba produciendo 7900 gpd (30 m<sup>3</sup>/d) de aguas residuales y proyecta un crecimiento del 20 % de estudiantes y profesores, lo cual resulta en una producción de aguas residuales en el futuro de 10.500 gpd (40 m<sup>3</sup>/d). En esta escuela, se identificaron las oportunidades más significativas para la reutilización del agua, incluidos el ahorro y la reducción del uso del agua innecesaria, la conciencia ambiental y las oportunidades de enseñanza sostenible, y el potencial para la certificación LEED de oro.

El sistema está diseñado para producir concentraciones de nitrógeno total en el efluente por debajo de 10 mg/L. Las membranas están diseñadas para producir efluente filtrado con menos de 2 UNT, como se requiere para su reutilización en el estado de Massachusetts. La desinfección ultravioleta está diseñada para cumplir con los límites de reúso de menos de 14 UFC/100 ml como concentración de coliformes fecales media mensual.

**Corporación EMC.** Fabrica sistemas electrónicos de almacenamiento de datos y cuenta con un plantel de un millón de pies cuadrados (92.903 m<sup>2</sup>), ubicado en Hopkinton (Massachusetts). La empresa tiene principios verdes destinados para instalaciones de ingeniería y producción, los cuales se encuentran en las cuencas hidrográficas de Charles, Concord y el río Blackstone.

La planta incluye un reactor discontinuo secuencial de lodos activados (proceso sludge), seguido de tela de filtración y desinfección UV antes de su almacenamiento en un depósito de agua tratada. La planta entró en servicio en el año 2000 y tiene una capacidad de aproximadamente 83.000 gpd (314 m<sup>3</sup>/d), y tiene la capacidad de recuperar 100 % de las aguas residuales. Cerca del 25 % se utiliza para el lavado higiénico y el 75 % restante se usa para la recarga de los acuíferos y en riego. Aproximadamente cuatro millones de galones (18.000 m<sup>3</sup> de agua) se regeneran por año.

**Inodoro en el Gillette Stadium.** Se prevé que el nuevo estadio Gillette aumente la demanda de agua potable hasta en 600.000 galones por día (2300 m<sup>3</sup>/d), durante los partidos en casa, en gran parte debido a la descarga de inodoros.

Se construyó una planta de regeneración de aguas residuales que trata 0,25 mgd 11 L/s, ampliable a 1,3 mgd (57 L/s), junto con un sistema de percolación de una parte del agua reciclada. La planta incluye un biorreactor de membrana, ozono y desinfección UV.

El agua recuperada se bombea a un tanque de 1900 m<sup>3</sup> al sistema de eliminación subterránea. En promedio, un 60 % del agua residual se reutiliza para aseo en el estadio. El agua recuperada restante se bombea al sistema de eliminación de subsuelo, donde se recarga a las aguas subterráneas.

La instalación vuelve a utilizar unos diez millones de galones (38.000 m<sup>3</sup>) de aguas residuales regeneradas por año.

**Fallingwater Conservation. Descarga Cero.** En 1999, el Pennsylvania Conservancy Western (WPC) puso en marcha un plan de reutilización de agua en cascada para promover los principios de diseño sostenible y reducir el uso de agua potable a través de un sistema de reutilización de aguas residuales de descarga cero. Fallingwater, la famosa “casa de la cascada”, fue diseñada y construida por Frank Lloyd Wright, una de las obras arquitectónicas más importantes de diseño del siglo XX. Las principales mansiones se construyeron en la década de los treinta y la casa principal fue construida en voladizo sobre una cascada situada en Bear Run, una corriente de “valor excepcional”, según la clasificación por el estado de Pensilvania.

El centro de visitantes e instalaciones *in situ* produce aproximadamente 8000 galones por día (30 m<sup>3</sup>/d) de aguas residuales. El agua residual es bombeada a la planta de tratamiento, estructura de 1800 pies cuadrados, 194 m<sup>2</sup> separada de la casa principal. El sistema recicla el 100 % de las aguas residuales que se producen por 140.000 visitantes anuales de la instalación.

Los procesos de tratamiento incluyen un biorreactor de membrana, seguido por adsorción con carbón y desinfección UV. El proceso produce una adecuada reutilización de efluentes de acceso público. Después del tratamiento, el agua regenerada se recicla para su uso como agua en el pabellón de los visitantes, y en otros edificios del sitio, el sistema también incluye sistema de irrigación para proporcionar capacidad de reutilización redundante durante los meses de invierno y los periodos húmedos.

### Reúso de aguas negras en edificio privado en Japón.

En Japón existen alrededor de 2500 edificios con reutilización de aguas residuales urbanas y con techo cosecha para diversos fines. En varias grandes ciudades, como Tokio, las regulaciones requieren un sistema de reutilización de aguas residuales o un sistema de recolección de escorrentía. Las aguas residuales recuperadas y agua de lluvia recolectada se emplean para una variedad de propósitos. El agua se utiliza más comúnmente para la descarga de inodoros, pero también se puede usar para el riego de jardines, enfriamiento, limpieza de vehículos y protección contra incendios.

### Caso de tecnología sostenible apropiada en las Filipinas (mercado).

Las aguas residuales generadas en el mercado público contienen niveles altos de materia orgánica (más de 600 mg/L de demanda bioquímica de oxígeno) y de sólidos, clasificándola como agua residual fuerte. El sistema de tratamiento que se diseñó para la planta de tratamiento de aguas residuales del mercado público Muntulupa es una combinación innovadora de tratamiento anaeróbico y aeróbico, junto con filtración para cumplir con los estándares locales de descarga.

### CONCLUSIONES

- Las aguas negras (aguas de orinales y sanitarios) contienen una alta concentración de hierro, manganeso, materia orgánica y coliformes fecales. Son aguas residuales fuertes que contienen un alto porcentaje de turbiedad y una alcalinidad relativamente alta. Cualquier edificación que plantee un reúso de éstas para algún propósito benéfico deberá contemplar, como mínimo, un sistema de tratamiento secundario que incluya remoción de su turbiedad, hierro y manganeso, así como la eliminación de coliformes fecales y de materia orgánica.
- Las opciones de reúso más viables para una edificación o urbanización son aquellas que no requieran un tratamiento terciario avanzado, por ejemplo:
  - Riego de zonas verdes.
  - Riego de jardines, materas, campos deportivos, etc.
  - Lavado de zonas comunes, patios, *balls*, terrazas.
  - Recirculación y reúso en descarga de sanitarios.
- En todos los casos de reúso se deben tener en cuenta las normas pertinentes de calidad de la entidad reguladora.
- El reúso de aguas negras tratadas requiere aceptabilidad del usuario y beneficio económico.

### REFERENCIAS

- Tomado de M.A., Pérez, R., Caranto & J.R., Caicedo (2003). El reúso de aguas residuales domesticas como bien económico. Seminario Internacional sobre Métodos Naturales para el Tratamiento de Aguas Residuales. Cali: Universidad del Valle.
- OMS (Organización Mundial de la Salud) (1989). Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura. Serie Informes técnicos, 778. Ginebra: Organización Mundial de la Salud (OMS), 93 p.
- Johnson, H., Richert Stintzing, A. & Salomon, E. (2004). Lineamientos para el uso de la orina y heces en la producción de cultivos. Reporte 2004-2. Universidad de Ciencias Agrícolas de Suecia, SLU.
- Salazar (2003). Guía para el manejo de excretas y aguas residuales municipales. Hakan Johnson, Anna Richert Stintzing & Eva Salomon. Lineamientos para el uso de la orina y heces en la producción de cultivos. Reporte 2004-2. Universidad de Ciencias Agrícolas de Suecia, SLU. [www.ecosanres.org](http://www.ecosanres.org).
- Johnson, H., Richert Stintzing, A. & Salomon, E. (2004). Lineamientos para el uso de la orina y heces en la producción de cultivos. Reporte 2004-2. Universidad de Ciencias Agrícolas de Suecia, SLU. [www.ecosanres.org](http://www.ecosanres.org).
- Vinnerås, B., Björklund, A. & Jönsson, H. (2003a). Disinfection of faecal matter by thermal composting – laboratory scale and pilot scale studies. *Bioresource Technology*, 88(1): 47-54.
- Fraústo da Silva, J.J.R. & Williams, R.J.P. (1997). *The Biological Chemistry of the Elements -The Inorganic Chemistry of Life*. Oxford, UK.
- Metcalf & Eddy (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. McGraw-Hill.

# Estudio geométrico a desnivel para posibles intersecciones vehiculares en la Caracas (tramo calle 76 - calle 28)

## Ramp geometry study for possible vehicular intersections on Avenida Caracas (from calle 76 to calle 28)

LORENA YINET ORTEGÓN CÁCERES<sup>1</sup> - ADOLFO CAMILO TORRES PRADA<sup>2</sup>

1. Ingeniera civil de la Universidad Militar Nueva Granada. Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Tránsito y Transporte de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

2. Profesor titular, Ph.D. en Ciencias Técnicas de la Universidad Estatal de Vías de Comunicación de San Petersburgo. Investigador del Centro de Investigación en Riesgos de Obras Civiles (Ciroc) y director del Laboratorio de Modelos Geotécnicos (GeoLab).

lorena.ortegon@mail.escuelaing.edu.co - atorresc@unisalle.edu.co

Recibido: 02/12/2015 Aceptado: 21/01/2016

Disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

### Resumen

En esta investigación se hizo un reconocimiento sobre los niveles de tráfico y accidentalidad que se presentan diariamente en la avenida Caracas. Con la ayuda de diferentes herramientas, como por ejemplo AutoCAD Civil 3D, Google Earth y Google Maps, se logró realizar un diagnóstico de la geometría actual y proponer nuevas alternativas geométricas que pueden ayudar a resolver los problemas de movilidad que se presentan en estos tramos específicos, los cuales son de gran importancia.

**Palabras claves:** intersección vial, túneles, pasos a desnivel, diseño geométrico, puntos de conflicto, semáforos.

### Abstract

This paper reports on an investigation about the levels of traffic and accidents on Avenida Caracas. Using different tools such as AutoCAD Civil 3D, Google Earth and Google maps we manage to run a diagnosis of current geometry and propose new geometrical alternatives that can help to solve the problems of circulation on this important avenue.

**Keywords:** road intersection; tunnels, overpasses, geometrical design, conflict points, traffic lights.



## INTRODUCCIÓN

La implementación de diseños geométricos a desnivel en diversas intersecciones de la avenida Caracas ayudaría a disminuir de manera significativa los puntos de conflicto y mejoraría el flujo vehicular en este importante corredor vial, permitiendo movimientos o giros que actualmente no son permitidos o presentan riesgos de accidentes.

En países como España, Francia, Alemania y Reino Unido se ha demostrado que la adopción de este tipo de sistemas ayuda a mejorar notablemente el tráfico, aumentando los niveles de servicio y movilidad de los vehículos. Es un hecho factible –y ampliamente demostrado– que las ciudades que gozan de un sistema de transporte organizado y eficiente son lugares más agradables para vivir, donde sus habitantes cuentan con más tiempo libre para realizar diferentes tipos de actividades, ociosas o recreativas, que benefician la salud de las personas. Mejorar la movilidad influye en el desarrollo económico, porque activa el comercio, pues el tiempo de recorrido disminuye, generando así un nuevo espacio de tiempo que puede emplearse en hacer todo tipo de actividades productivas o comerciales.

Actualmente, movilizarse en Bogotá se ha vuelto una verdadera psadilla debido a una serie de desafortunadas circunstancias, como por ejemplo corrupción o falta de planificación. Hoy en día, para los habitantes de la capital del país se ha vuelto costumbre invertir varias horas de su jornada para desplazarse de un lugar a otro, por lo que el objetivo de este proyecto es presentar una alternativa de solución a estos problemas a partir de la propuesta de algunos pasos a desnivel en las calles que interceptan la avenida Caracas, lo cual no sólo beneficiaría el transporte particular sino también el transporte público, ya que reduce los tiempos de recorrido y, por ende, favorece a todos los usuarios de este importante corredor vial.

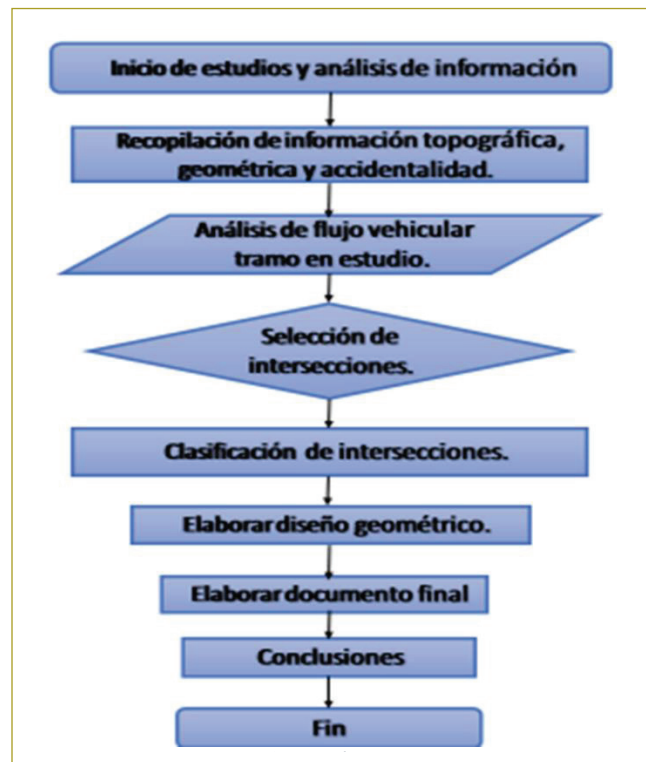
## METODOLOGÍA

La metodología que se va a utilizar consiste en un análisis de tránsito y accidentalidad de los informes e investigaciones realizados anteriormente en la zona de la Caracas; por medio de imágenes de Google Earth y fotografías se hace una clasificación de la geometría actual, luego se procede a distinguir cada una de las intersecciones según su tipología (volumen y capacidad,

sentido de circulación, geometría y accidentalidad), clasificándolas en cinco grupos y seleccionando una de cada grupo de tipología, elaborando un diseño geométrico que aporte nuevas soluciones a los problemas de movilidad que presentan actualmente dichas zonas.

Se definen los parámetros generales de diseño por medio de las tablas del *Manual de diseño geométrico* del Invías, manual de túneles y obras subterráneas, estudios de movilidad y tránsito.

Se diseña el alineamiento horizontal, sección transversal típica de las intersecciones y alineamiento vertical; a partir de éste se generan las secciones transversales, donde se encuentra toda la información pertinente a volúmenes de movimiento de tierra. Dicha metodología se propone de la siguiente manera:



**Figura 1.** Diagrama de metodología empleada para la investigación.

Fuente: Autor.

## RESULTADOS

De las veinte intersecciones analizadas se procede a clasificar cada una según su tipología. Para dicho procedimiento se tiene en cuenta el *Manual de diseño geométrico* del Invías 2008, aforos realizados, observaciones en

**Tabla 1**  
Clasificación de intersecciones según su geometría

Intersección		Geometría							
N.º	Calle	En X simple	En X ensanchada	En + simple	En + ensanchada	En T	En Y	Canalizada	Otro
1	76	x							
2	74	x							
3	72		x						
4	69		x						
5	67			+					
6	66			+					
7	64	x							
8	63			+					
9	60			+					
10	57			+					
11	53			+					
12	49			+					
13	47			+					
14	45			+					
15	42		x						
16	39	x							
17	36			+					
18	34	x							
19	32	x							
20	30-28							x	

Fuente: Autor.

campo y estudios previos; a continuación se presentan la clasificación según la geometría de las intersecciones

**Tabla 2**  
Clasificación de intersecciones según el sentido de circulación

Intersección		Sentido de circulación		
N.º	Calle	Or - Occ	Occ - Or	Doble sentido
1	76	x		
2	74			
3	72			x
4	69		x	
5	67	x		
6	66		x	
7	64	x		
8	63		x	
9	60	x		
10	57			x
11	53			x
12	49	x		
13	47			
14	45			x
15	42		x	
16	39			x
17	37		x	
18	34			x
19	32			x
20	32			x

de la avenida Caracas desde la calle 74 hasta la calle 28 (tabla 1), la clasificación que se realizó según el sentido de circulación de las intersecciones de la avenida Caracas desde la calle 74 hasta la calle 28 (tabla 2) y la clasificación de capacidad según el número de carriles, desde la calle 74 hasta la calle 28 (tabla 3).

Se realizaron varios conteos vehiculares en las intersecciones seleccionadas, por el método de aforo manual, donde se ejecutó el conteo total de A-B-C (automóviles, buses y camiones), con el fin de llevar a cabo el estudio de tránsito que reportara el estado y volumen vehicular durante este lapso.

En un reporte de la Alcaldía de Chapinero se registran todos los accidentes que sucedieron en las intersecciones y en todo el corredor de la Caracas durante el año 2012; de esta manera, se toman los datos únicamente de las intersecciones en estudio y se elaboran tablas del número de accidentalidad, con sus gráficas respectivas.

Finalmente, se hace un análisis de dichas intersecciones y se clasifican según el número de accidentes ocasionados en el año 2012.

**Tabla 3**

Clasificación de intersecciones por capacidad vial y número de carriles

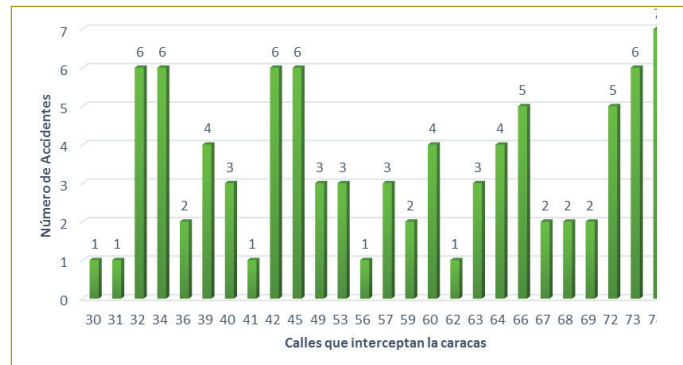
Intersección N.º	Calle	Capacidad - número de carriles						
		Constante		Reducción			Ampliación	
		2	3	3-2	4-2	5-3	2-3	2-4
1	76				x			
2	74		x					
3	72			x				
4	69	x						
5	67			x				
6	66	x						
7	64	x						
8	63					x		
9	60	x						
10	57	x						
11	53	x						
12	49	x						
13	47							
14	45	x						
15	42	x						
16	39	x						
17	36	x						
18	34						x	
19	32	x						
20	30-28	x						

**Tabla 4**

Clasificación por volúmenes

Intersección N.º	Calle	Volúmenes		
		Alto	Medio	Bajo
1	76	x		
2	74	x		
3	72	x		
4	69			x
5	67	x		
6	66		x	
7	64		x	
8	63	x		
9	60	x		
10	57		x	
11	53	x		
12	49		x	
13	47	x		
14	45	x		
15	42		x	
16	39	x		
17	36		x	
18	34		x	
19	32		x	
20	30-28			x

Fuente: Autor.



**Gráfica 1.** Accidentes en la avenida Caracas, tramo calle 76 - calle 30, en el 2012.

Se asignan diferentes niveles de clasificación, siendo 1 la menor cantidad de accidentes presentados en la intersección y 7 la mayor cantidad de accidentes, durante todo el tramo analizado; más adelante se indica cada uno de los niveles determinados (tabla 6).

**Tabla 5**

Clasificación por accidentalidad

Número de accidentes 2012	Clasificación
0 - 1	Muy bajo
2	Bajo
3	Media
4 - 5	Alto
6 - 7	Muy alto

Fuente: Autor.

A partir de la tabla anterior se clasifica cada una de las intersecciones en el tramo de la avenida Caracas desde la calle 76 hasta la calle 30:

Teniendo la clasificación de las veinte intersecciones que conforman el tramo en estudio, se procede a agruparlas según características geométricas; en la tabla 6 se exponen los grupos: Grupo 1. Intersecciones en X simple; Grupo 2. Intersecciones en X ensanchada; Grupo 3A. Intersecciones en + simple oriente - occidente; Grupo 3B. Intersecciones en + simple occidente - oriente; Grupo 3C. Intersecciones en + simple doble sentido, y por último, Grupo 4. Otros.

Se elige una intersección por grupo, teniendo en cuenta los volúmenes más elevados, la accidentalidad más alta y el sentido o dirección de los carriles, seleccionando únicamente uno de cada tipo; de la tabla 6 se

**Tabla 5**  
Clasificación Niveles Accidentalidad

Intersección	Número de accidentes 2012	Clasificación
Calle 30	1	Muy baja
Calle 31	1	Muy baja
Calle 32	6	Muy alta
Calle 34	6	Muy alta
Calle 36	2	Baja
Calle 39	4	Alta
Calle 40	3	Media
Calle 41	1	Muy baja
Calle 42	6	Muy alta
Calle 45	6	Muy alta
Calle 49	3	Media
Calle 53	3	Media
Calle 56	1	Muy baja
Calle 57	3	Media
Calle 59	2	Baja
Calle 60	4	Alta
Calle 62	1	Muy baja
Calle 63	3	Media
Calle 64	4	Alta
Calle 66	5	Alta
Calle 67	2	Baja
Calle 68	2	Baja
Calle 69	2	Baja
Calle 72	5	Alta
Calle 73	6	Muy alta
Calle 74	7	Muy alta
Calle 76	7	Muy alta

Fuente: Autor.

resaltan en color verde las intersecciones seleccionadas para realizar el diseño geométrico a desnivel.

El diseño geométrico de las intersecciones a desnivel se fundamenta en la información recopilada de los capítulos anteriores y en el modelo digital tridimensional generado a partir de Google Earth; por medio del *software* Civil 3D se proyecta el alineamiento horizontal y de este se genera el perfil longitudinal del terreno natural que sirve como base para proyectar la rasante del proyecto.

Se definieron los parámetros generales de diseño por medio de las tablas del *Manual de diseño geométrico* del Inviás 2008, manual de la AASHTO *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets 2004* y de acuerdo con las características particulares del sector.

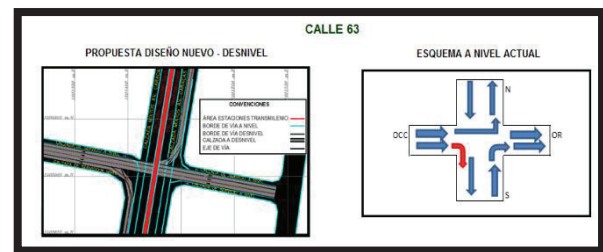
Teniendo en cuenta los parámetros y la información suministrados anteriormente, se especificó la sección

típica del proyecto, uniendo alineamiento horizontal, sección transversal típica y alineamiento vertical, definiendo así el corredor; a partir de éste se generaron las secciones transversales y los volúmenes de movimiento de tierra, y luego los reportes de alineamiento horizontal, alineamiento vertical, cartera de localización, chaflanes y cálculo de volúmenes que forman parte de los anexos del informe.



**Figura 1.** Diseño geométrico calle 74.

Fuente: Autor.



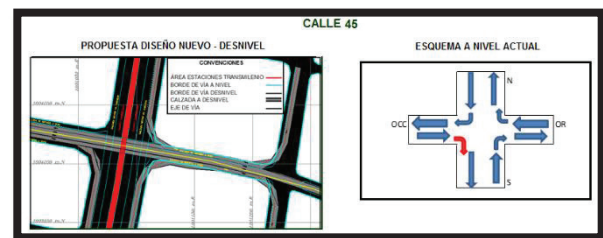
**Figura 2.** Diseño geométrico calle 63.

Fuente: Autor.



**Figura 3.** Diseño geométrico calle 60.

Fuente: Autor.



**Figura 4.** Diseño geométrico calle 45.

Fuente: Autor.







**Figura 4.** Diseño geométrico calle 42.  
Fuente: Autor.

## CONCLUSIONES

El corredor de la Caracas ha evolucionado y se ha expandido con el pasar de los años, por lo que es necesario ir cambiando y modernizando la geometría de la vía, adaptándose a las necesidades y transformaciones de los actuales usuarios.

Se presentan en forma sintetizada los reportes de accidentalidad actualizados, en los cuales se destaca que las intersecciones que presentaron mayor accidentalidad durante el año 2012 fueron calle 76, calle 74, calle 73, calle 45 y calle 42.

Según la Secretaría de Movilidad y el documento “Movilidad en cifras 2012”, en el que se hace un análisis sobre porcentajes de accidentes o siniestros ocurridos en el sistema Transmilenio, se identificó que durante el 2012 la mayor cantidad de accidentes en el sistema se registraron en la avenida Caracas. El anterior indicativo demuestra por qué resulta indispensable adoptar nuevas alternativas de movilidad en este importante tramo vial.

Se establece una clasificación particular de tipos de intersecciones en el corredor de la Caracas, basados en los parámetros del *Manual de diseño geométrico* del Invías, obteniendo los siguientes grupos:

- Grupo 1. Intersecciones en X simple.
- Grupo 2. Intersecciones en X ensanchada.
- Grupo 3A. Intersecciones en + simple oriente - occidente.
- Grupo 3B. Intersecciones en + simple occidente - oriente.
- Grupo 3C. Intersecciones en + simple doble sentido.

En el tramo analizado desde la calle 76 hasta la calle 28, predominan intersecciones de tipo + simple y X simple.

Las intersecciones se clasifican según su capacidad y comportamiento de continuidad en cuanto a la sección transversal constante, de reducción o ampliación, prevaleciendo el comportamiento constante en las secciones transversales.

Durante los aforos se obtuvo que la mayoría de las intersecciones tienen volúmenes altos y medios, teniendo sólo dos intersecciones con volúmenes bajos.

El volumen de motos que transitan en las intersecciones es igual al volumen de automóviles que circulan en estas mismas, conclusión a la que se llega luego de analizar los datos del aforo.

Las calles que comunican el oriente con el occidente se agrupan, identificando un número de seis calles que van en sentido oriente a occidente, seis calles que van en sentido occidente a oriente y ocho calles que van en doble sentido, lo cual indica que predominan intersecciones que van en un solo sentido.

La localización de intersecciones semaforizadas tiene un promedio de secuencia cada dos o tres cuadras, lo que hace que el flujo sea discontinuo y las duraciones de recorrido sean mayores debido a estos tiempos perdidos en cada semáforo.

Se establecieron esquemas de giro diferentes de los empleados actualmente, para cada una de las intersecciones, proponiendo una solución y diseño a desnivel de modo tal que estuvieran dotadas para tener accesos a las edificaciones cercanas, brindar retornos rápidos y eliminar en su mayoría orejas manzanas.

Con la propuesta de diseño se habilitarían cinco giros prohibidos que actualmente tienen las intersecciones analizadas y en promedio se eliminarían diez entrecruzamientos.

Al eliminar las intersecciones semaforizadas para las calles seleccionadas, se puede mantener un flujo más continuo que con la geometría actual.

Los diseños geométricos de las intersecciones seleccionadas cumplen una longitud de 5 km, aproximadamente.

Las colas y las demoras se incrementan cuando las intersecciones tienen distancias muy cortas entre sí y al eliminar algunos cruces semaforizados de las calles en estudio se demuestra cómo mejorarían los tiempos de recorrido.

Se reducen los puntos de conflicto para los movimientos de las intersecciones diseñadas.

Se dota la intersección con infraestructura peatonal, lo cual genera un impacto positivo en los niveles de accidentalidad.

Se mejorarían los parámetros de operación de Transmilenio y la flota podría aumentar.

Se identifica la débil planeación que existe sobre los corredores y las zonas urbanas, lo que implicaría adquisición de predios en zona urbana de alto costo.

## BIBLIOGRAFÍA

- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (2004). A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. Washington, D.C.
- Cárdenas Grisales, J. (octubre de 2008). *Diseño geométrico de carreteras*, 1.ª ed. Bogotá: Ecoe Ediciones, 409 pp.
- Cal y Mayor Reyes, R. & Cárdenas Grisales, J. (enero de 2007). *Ingeniería de tránsito. Fundamentos y aplicaciones*, 8.ª ed. México: Alfaomega. 597 pp.
- Invías (2008). *Manual de diseño geométrico para carreteras*. Bogotá: Invías.
- Guglielmetti, V. (2007). Mechanized tunnelling in urban areas design methodology and construction control. Piergiorgio Grasso (ed.).
- Garber, N. & Lester, H. (2005). *Ingeniería de tránsito y de carreteras*, 3.ª ed. México: Thomson Ed. pp. 693-762.
- Hurtado García, L.A. (abril de 2001). *Diseño de vías*. 1.ª ed. Manizales: Universidad Nacional de Colombia. pp. 17-184.
- Manual de túneles y obras subterráneas* (2000). *Entorno gráfico* S.L. Madrid. Carlos López Jimeno Carlos (ed.).
- Ingeo Túneles (s.f.). Carlos López Jimeno (ed.). *Entorno gráfico* S.L., Madrid, 1998-2007.
- Túneles (1997). *Planeación, diseño y construcción*, vols. I y II. México: Megaw & Barlett J.V.
- Surface and underground excavations methods, techniques and equipment (2005). Ratan Raj Tatiyan.
- Underground space use analysis of the past and lessons for the future, edited by Yücel Erdem y Tülin Solak, Congress proceedings of the 31ST ITA-AITES World Tunnel (2005 mayo 7-12: Stanbul, Turkey).
- Underground Space the 4th Dimension of Metropolises*, vols. I, II, III (2007). Prague: Taylors & Francis.
- Ingeniería geológica (2002). González Vallejo Luis I.
- Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte*. Cal y Mayor y Asociados S.C.
- Archivo en Excel Alcaldía de Chapinero.090822\_OT017\_1049\_AVCARACASYK15XC72\_VDS\_V1
- Historia urbana de Bogotá (2010). Corporación Fondo de Prevención Vial y la Universidad de los Andes. Anuario Estadístico de Accidentalidad Vial. Colombia.
- Fondo de Prevención Vial 2012: Balance mixto para la seguridad vial en Colombia Bogotá, febrero 14 de 2013.
- Moreno Lozada, S.L. (2012). Muertes y lesiones por accidentes de transporte. Colombia.
- Norma RILSA <http://webidu.idu.gov.co:9090/jspui/bitstream/123456789/37133/7/60020746-03.pdf>.
- Secretaría de Movilidad (2012). Movilidad en cifras 2012.
- Túneles viarios urbanos: diseño, instalaciones y elementos de seguridad.
- Uribe Celis, S.L. (s.f.). *Manual de diseño geométrico para vías e intersecciones urbanas*. Bogotá: Universidad de los Andes.

# Propuesta de evaluación de herramientas de monitoreo para plataformas tipo nube

## Evaluation proposal for cloud computing platform monitoring tools

ANDRÉS RICARDO RODRÍGUEZ CHONA<sup>1</sup> - ANDRÉS MAURICIO PATIÑO ARIAS<sup>2</sup> - CLAUDIA PATRICIA SANTIAGO CELY<sup>3</sup>

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

2. Ingeniero de sistemas de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

3. Ingeniera de sistemas y Magíster en Gestión de Información. Profesora de la decanatura de Ingeniería de Sistemas de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Miembro del grupo de investigación Ciencia, Tecnología y Gestión Informática (CTG-Informática).

andres.rodriguez@mail.escuelaing.edu.co - andres.patino@mail.escuelaing.edu.co - claudia.santiago@escuelaing.edu.co

Recibido: 08/01/2016 Aceptado: 12/02/2016

Disponibile en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

### Resumen

A lo largo de este artículo se presenta una metodología para la evaluación de herramientas de monitoreo para la nube que se basa en una matriz de evaluación. Dicha matriz de evaluación se compone de dos dimensiones: la primera de perspectivas y la otra de criterios. Dichas dimensiones son parametrizables mediante la definición de los pesos de importancia de cada una y por medio de la definición de tantos criterios como se crean necesarios para obtener una mejor evaluación de las herramientas. Esta matriz se utilizó en una empresa como caso práctico y sirvió para determinar cuál era la herramienta de monitoreo que mejor se adaptaba a las necesidades de dicha empresa en la prestación de servicios en la nube; este caso de estudio se presenta en la parte final de este artículo. Se pretende que con esta propuesta las empresas del área de tecnologías de información (T.I.) puedan hacer la selección de herramientas de monitoreo para ambientes de la nube y puedan brindar una mayor confiabilidad a sus clientes y un mejor nivel de la prestación de servicios.

**Palabras claves:** computación en la nube, gestión de infraestructura de TI, monitoreo de plataformas de nube.

### Abstract

This article presents a methodology to evaluate cloud monitoring tools using an evaluation chart. This chart is two-dimensional; one dimension is called “perspective” and the other “criteria”. Both dimensions can be parameterized changing the level of importance of each one. Similarly, the chart can be expanded by adding new perspectives and criteria in order to obtain a more appropriate evaluation tool. The evaluation chart was used in a company that provides cloud services and the results obtained were used to decide the best monitoring application for them – this case is mentioned at the end of this paper. It is expected for the model proposed to be used as an evaluation tool for IT Companies when they need to select cloud monitoring applications in order to provide their customers with higher reliability and improved service quality.

**Keywords:** cloud computing, IT infrastructure management, cloud monitoring.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen organizaciones que cuentan con amplia experiencia en proveer e implementar servicios de TI para todos los sectores, caracterizándose por su poder de innovación. Debido al crecimiento y la demanda por parte de muchas empresas en cuanto a recursos y servicios de TI en la nube, las empresas de tecnología están implementando cada vez más la infraestructura que se necesita para prestar a sus clientes servicio sobre la nube; además de esto, es responsabilidad de las empresas garantizar un servicio de calidad a sus clientes y por tal motivo se requiere una herramienta de monitoreo que ayude a supervisar el funcionamiento de esta tecnología. Es importante para la compañía prestadora de servicios en la nube conocer cuáles son las mejores prácticas y marcos de referencia del mercado en cuanto a la infraestructura de la nube, con el fin de poder conocer los criterios y características fundamentales que debe tener un *software* que preste los servicios de monitoreo, así como de evaluar y determinar cuáles son las herramientas que mejor se adapten a sus necesidades, de tal manera que sus servicios sean eficientes, óptimos y seguros.

Basado en lo anterior, en este artículo se presenta una propuesta de análisis y evaluación de soluciones que permita a empresas del sector prestador de servicios en la nube hacer una evaluación de herramientas relacionadas con el ámbito de monitoreo de servicios que mejor se adapte a los requerimientos de una organización.

Para hacer dicha evaluación, se definió una matriz de evaluación, la cual está conformada por perspectivas (descripción funcional, arquitectura tecnológica, costos y soporte) y criterios, los cuales son características puntuales que deberán satisfacer la herramienta en cuanto a las perspectivas definidas. Dicha matriz está construida de manera que se puedan evaluar la mayor cantidad de características de las herramientas; para esto se dio un peso en porcentaje a cada criterio y, a su vez, este peso dará una calificación sobre la perspectiva (la cual tiene un porcentaje sobre la calificación total de la herramienta) en general, dando así una evaluación por cada perspectiva y una evaluación total de la herramienta. Cada perspectiva se está evaluando con alrededor de diez criterios, que son los más relevantes encontrados en las herramientas de monitoreo. Vale la pena mencionar que se pueden definir los criterios y perspectivas que la

empresa considere relevantes para su evaluación y no sólo los mencionados en el caso de estudio. Las ventajas de dicha matriz es que es adaptable a cualquier selección de *software* y no sólo para los ambientes en la nube, haciendo así que dicha matriz tenga un valor agregado para las empresas y se pueda adaptar a las necesidades que éstas puedan tener.

Finalmente, y como caso práctico, esta matriz se aplicó en una empresa del sector de prestación de servicios, la cual estaba en el proceso de selección de herramientas de monitoreo. Con base en dicha evaluación y selección se puede ver que la empresa, al haber seleccionado una herramienta de monitoreo, mejoró la prestación de sus servicios al contar constantemente con métricas y alarmas que le permitieron determinar cuáles eran las acciones que hay que tomar sobre los servicios y dar solución a los problemas que se presentan en la operación diaria de su plataforma.

## PROBLEMA

Este trabajo surge a raíz de la necesidad puntual de una empresa del sector de las TI que se encuentra en proceso de implementación de una infraestructura nube, la cual, para tener un óptimo desempeño, debe contar con herramientas de monitoreo de servicios; esto con el fin de determinar diferentes situaciones de falla que se puedan presentar a la hora de dar funcionamiento a los servicios de nube en una organización. Al realizar un análisis al problema que presentaba esta empresa, donde no se contaba con herramientas que permitieran hacer revisiones del estado de los servicios y plataformas que tiene al servicio de sus clientes, vimos una oportunidad para generar una propuesta de evaluación de herramientas, la cual pudiera adaptarse a las necesidades y particularidades de la compañía. Es así como se busca encontrar las herramientas que mejor se acoplen a las necesidades de monitoreo de servicios que soporte la información de los clientes que tomen este servicio de nube con la empresa objeto del caso de estudio.

## MARCO TEÓRICO

Las herramientas cotidianas de monitoreo de la red están comenzando a tomar un nuevo rol como herramientas de monitoreo de nubes.

El hecho de que un ambiente de nube puede estar fuera de la vista no significa que está fuera de la mente de los directores e ingenieros. Los expertos de TI están recurriendo a herramientas de monitoreo y solución de problemas, como SiteScope, Orchestration, SmartCloud Monitoring, CA, Oracle Enterprise Manager y BCM, para dirigir y corregir dificultades de mercados y servicios en la nube. Pero antes de entrar a revisar herramientas y hacer una evaluación de ellas, es importante tener claros algunos conceptos generales alrededor de la nube, así como estándares y buenas prácticas que puedan guiar la labor de gestión de la nube como tal.

## Nube

El nuevo concepto de negocio en internet también conocido como “computación en la nube”. La nube consiste en la posibilidad de ofrecer servicios a través de internet, como por ejemplo Amazon Web Services (AWS).

*Cloud computing* o computación en la nube es una categoría de soluciones de computación en la cual una tecnología o servicio permite a los usuarios acceder a los recursos de computación a pedido, según sea necesario, tanto si los recursos son físicos o virtuales, dedicados o compartidos, y no importa cómo se accede a ellos (a través de una conexión directa, LAN, WAN o internet) (IBM, 2010).

Basado en Management Solutions (2012), la nube ofrece una oportunidad para las empresas del sector de TI, de tal manera que definan nuevos modelos de negocios en los que ofrezcan a sus clientes plataformas TI, a través de internet, de tal manera que ellos puedan aprovecharlas para hacer más eficiente y flexible su operación y generando relaciones de *e-business* (negocios por internet).

Las principales ventajas de la nube están relacionadas con factores económicos, seguridad, elasticidad y conectividad de la plataforma (Debitoor, 2015):

- Bajo costo: Productos gratuitos o pagos mensuales fijos por utilización, sin costos adicionales, dado que no hay que invertir en gran infraestructura ni en licencias.
- Seguridad: Los datos siempre están seguros.
- No hay necesidades de poseer una gran capacidad de almacenamiento.

- Mayor rapidez en el trabajo al estar basado en web.
- Información a tiempo real.
- Fuerte inversión en innovación.
- Acceso a toda la información.
- Acceso cuando quiera y donde quiera, sólo con una conexión a internet.

Esta nueva línea de negocio implica para el proveedor de la plataforma, es decir, para las empresas de TI que las ofrecen, entre otros, realizar procesos de monitoreo de su infraestructura, y varias entidades y empresas del sector TI han definido marcos de referencia y buenas prácticas que deben considerarse para la adquisición e implementación de herramientas de monitoreo para ambientes de la nube. A continuación se mencionarán marcos de referencia y buenas prácticas que deben considerarse para la adquisición e implementación de herramientas de monitoreo para ambientes de la nube.

## Marcos de referencia y buenas prácticas

### COSO

Según Cabello (2011), el informe COSO es un documento que contiene las principales directivas para la implantación, gestión y control de un sistema de control y se ha convertido en un marco de referencia que hay que tener en cuenta para las organizaciones. Proporciona un marco de referencia aplicable a cualquier organización. Para COSO, este proceso debe estar integrado con el negocio, de tal manera que ayude a conseguir los resultados esperados en materia de rentabilidad y rendimiento.

Existen dos versiones del informe: 1992 y 2004. Esta última incorpora las exigencias de la ley Sarbanes-Oxley a su modelo y aparece hacia fines de septiembre de 2004, como respuesta a una serie de escándalos e irregularidades que provocaron pérdidas importantes a inversionistas, empleados y otros grupos de interés. El Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission publicó el Enterprise Risk Management – Integrated Framework y sus aplicaciones en técnicas asociadas para ampliar el concepto de control interno, proporcionando una luz más extensa sobre la identificación, estimación y gestión integral de riesgo (Cabello, 2011).

Basado en el mismo autor, COSO presenta las siguientes ventajas:



- Permite a la dirección de la empresa poseer una visión global del riesgo y accionar los planes para su correcta gestión.
- Posibilita la priorización de los objetivos, riesgos clave del negocio y de los controles implantados, lo que permite su adecuada gestión y mejora y facilita la toma de decisiones.
- Alinea los objetivos del grupo con los objetivos de las unidades de negocio, así como los riesgos asumidos y los controles puestos en acción.
- Permite dar soporte a las actividades de planificación estratégica y control interno.
- Permite cumplir con los nuevos marcos regulatorios y demanda de nuevas prácticas de gobierno corporativo.
- Fomenta que la gestión de riesgos pase a formar parte de la cultura del grupo.

### Control interno

Basado en COSO (2013), se define como un proceso efectuado por la dirección y el resto del personal de una entidad, diseñado con el objeto de proporcionar un grado de seguridad razonable en cuanto a la consecución de los objetivos dentro de las siguientes categorías:

- Eficacia y eficiencia de las operaciones.
- Confiabilidad de la información financiera.
- Cumplimiento de las leyes, reglamentos y normas (que sean aplicables).

El sistema de control interno o de gestión es un conjunto de áreas funcionales en una empresa y de acciones especializadas en la comunicación y control dentro de la compañía. El sistema de gestión por intermedio de las actividades afecta a todas las partes de la empresa a través del flujo de efectivo. La efectividad de una empresa se establece en la relación entre la salida de los productos o servicios y la entrada de los recursos necesarios para su producción. Entre las responsabilidades de la gerencia están:

- Controlar la efectividad de las funciones administrativas.
- Regular el equilibrio entre la eficacia y la eficiencia en la empresa.

### Cobit 5

Basado en Isaca (2015), Cobit 5 es un marco de gobierno de las tecnologías de información que proporciona una serie de herramientas para que la gerencia pueda conectar los requerimientos de control con los aspectos técnicos y los riesgos del negocio, permite el desarrollo de las políticas y buenas prácticas para el control de las tecnologías en toda la organización y enfatiza en el cumplimiento regulatorio, ayuda a las organizaciones a incrementar su valor a través de las tecnologías y permite su alineamiento con los objetivos del negocio.

- Compendio de mejores prácticas aceptadas internacionalmente.
- Orientado al gerenciamiento de las tecnologías.
- Complementado con herramientas y capacitación.
- Gratuito.
- Respaldado por una comunidad de expertos.
- En evolución permanente.
- Mantenido por una organización sin fines de lucro, con reconocimiento internacional.
- Mapeado con otros estándares.
- Orientado a procesos, sobre la base de dominios de responsabilidad.

### ITIL (Information Technology of Standards and Technology)

La Biblioteca de Infraestructura de Tecnologías de Información, frecuentemente abreviada ITIL (del inglés *Information Technology Infrastructure Library*), “son un conjunto de herramientas claves en el uso de tecnologías de información soportadas en los procesos organizacionales y la filosofía del negocio que permiten a las organizaciones proyectarse en la estandarización y en la reestructuración de los modelos ya implementados de administración de un área de tecnologías de información. Basadas en un marco de las mejores prácticas” (Ortiz & Hoyos, 2005).

Aunque se desarrolló durante los años ochenta, ITIL no fue ampliamente adoptada hasta mediados de los años noventa. Esta mayor adopción y conocimiento ha llevado a varios estándares, incluyendo ISO/IEC 20000, que es una norma internacional que cubre los elementos de gestión de servicios de TI de ITIL. ITIL se considera a menudo, junto con otros marcos de trabajo de mejores prácticas, como la Information Services Procurement

Library (ISPL, Biblioteca de adquisición de servicios de información) - (ITIL) (Nexos Software, n.d.).

Basado en ITIL (2007), las prácticas propuestas por ITIL son aplicables a cualquier organización de TI, en sus ámbitos de infraestructura, desarrollo y operaciones, ya que no están basadas en plataforma tecnológica, una industria o una solución específica. Ofrece prácticas robustas, medibles y probadas que tienen relevancia tanto en el sector privado como en el público, al igual que para servicios de TI internos o externos, para empresas de cualquier tamaño.

## ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE MONITOREO

Los proveedores más destacados en el mercado de soluciones de *software* están entregando grandes cantidades de herramientas para ayudar a las empresas a construir, comprar, administrar, monitorear, cambiar y rastrear los servicios de nube. Estas herramientas se encuentran diseñadas para ayudar a las organizaciones a mejorar su desempeño en prestaciones de servicios tecnológicos. Pero ¿cómo decidir cuáles de las herramientas responden a las necesidades de una empresa prestadora de servicio de nube particular? Este documento presenta una propuesta para hacer la evaluación de herramientas de monitoreo para infraestructuras de nube a partir de una matriz compuesta por perspectivas y criterios, los cuales pueden ser ajustados para adaptarse a la organización particular que está haciendo evaluación y selección de las herramientas específicas.

Antes de presentar la propuesta, para tener un proceso eficaz de adquisición e implementación de herramientas, se deberían tener en cuenta los siguientes consejos:

- Evidenciar, desde una exploración detallada, el apoyo a procesos de monitoreo en el ambiente de la nube, se deben conocer concienzudamente las características del ambiente de la nube y el potencial de prestación de servicios.
- Arquitectura tecnológica: la filosofía de la organización cumple con los estándares de calidad del *hardware* y del *software*.
- Tener en cuenta que los sistemas operativos sean compatibles con la herramienta.
- En caso de una falla, se determina sus características funcionales en el futuro.
- La herramienta debe tener una serie de servicios y funcionalidades mínimos para suplir las necesidades de la organización.
- La herramienta debe estar acorde con los estándares del mercado y al presupuesto de la empresa u organización.
- Evidenciar las actualizaciones de la herramienta para adquirirla.
- Estabilidad y soporte constante de la herramienta para un mejor provecho.

## Desarrollo de la propuesta

En el desarrollo del proyecto se hizo una investigación de herramientas existentes en el mercado que cumplieran con las funciones requeridas para monitorear ambientes tipo nube, se encontraron varias herramientas que cumplieran con la mayoría de los requerimientos de servicios, pero entre estas herramientas existían muchas diferencias, por lo que se procedió a realizar una matriz de evaluación y desempeño que consta de cuatro perspectivas, las cuales se considera que se deben tener en cuenta al momento de hacer la selección de una solución de *software* para una empresa prestadora de servicios de nube. Dichas perspectivas son arquitectura tecnológica, descripción funcional, costos y soporte. La estructura general de la matriz de evaluación y de desempeño se presenta más adelante (tabla 1).

Esta matriz tiene la ventaja de ser flexible a modificaciones a gusto de las empresas evaluadoras, esto con el fin de que se puedan actualizar pesos - impacto (tanto de perspectivas como de criterio) e incluso se pueden modificar los criterios analizados por la alta gerencia. La idea es que cada uno de estos criterios sea valorado individualmente con una calificación acorde con las necesidades de la empresa. La calificación, en principio, puede ser alta, media y baja, lo cual indica el nivel de importancia de dicho criterio para la empresa, y al final da un diagnóstico de evaluación y desempeño de la herramienta analizada; esto depende, claro está, de los requerimientos particulares de la organización.

Ya teniendo definidos los criterios de comparación y análisis en la matriz, se procedió a buscar e investigar herramientas de monitoreo para ambientes nube; en la investigación se encontraron cinco herramientas que aplicaban para ser evaluadas, se diseñaron una serie de pruebas prácticas para cada uno de los demos de

**Tabla 1**  
Estructura general de la matriz de evaluación y desempeño de herramientas

Perspectiva	Impacto	Alcance general	Grupos de criterios	Impacto
Arquitectura tecnológica		Se debe cumplir con los estándares de calidad y estar orientado con la filosofía de la organización	1. Compatibilidad 2. Eficiencia 3. Capacidad de integración 4. Mantenibilidad 5. Portabilidad 6. Evolución de producto 7. Usabilidad	
			<b>Total</b>	<b>100 %</b>
Descripción funcional		La herramienta debe prestar una serie de servicios, con el fin de suplir las necesidades de la organización	1. Monitoreo bases de datos 2. Monitoreo de servidores 3. Monitoreo de redes 4. Monitoreo de servicios 5. Generación de reportes 6. Monitoreo de máquinas virtuales y nube 7. Monitoreo de transacciones web 8. Monitoreo de <i>big data</i> 9. Arquitectura del <i>software</i>	
			<b>Total</b>	<b>100 %</b>
Costos		La inversión en la herramienta debe cumplir con el presupuesto y estándares del mercado	1. Adquisición 2. Mantenimiento	
			<b>Total</b>	<b>100 %</b>
Soporte		Se debe portar con un soporte constante, que permita a la organización tener un grado de estabilidad en el futuro	1. Acuerdos de nivel de servicio 2. Asistencia técnica 3. Referenciación del mercado	
			<b>Total</b>	<b>100 %</b>
<b>TOTAL</b>	<b>100 %</b>			

las herramientas elegidas que podrían cumplir con los requerimientos de la empresa prestadora de servicios nube, las herramientas investigadas son las siguientes.

- SiteScope HP
- IBM SmartNube Monitoring – Application Insight
- CA Nimsoft Monitor
- Oracle Enterprise Manager 12c
- BCM Gestión de operaciones en la nube

Todas estas herramientas se seleccionaron porque cumplieran con la mayoría de los aspectos necesarios para poderlas evaluar y la selección de la que más se adecúa a las necesidades de la empresa evaluadora estará determinada por la aplicación de la matriz de evaluación (tabla 1) y el proceso de definición de pesos a cada criterio y perspectivas, determinados según las necesidades de la empresa.

### Caso práctico

Esta propuesta de evaluación de herramientas de monitoreo para plataformas en la nube se pudo llevar a la práctica gracias a la Organización Carvajal Tecnología y Servicios, compañía que presta servicios de TI en todas sus áreas; esta empresa es reconocida por su alto nivel de innovación en servicios de TI y actualmente se encuentra en proceso de implementación de su propia plataforma de la nube. Se tuvo la fortuna de poder aplicar toda la investigación teórica y práctica al proyecto de Carvajal, siendo de gran apoyo a la hora de la elección de la herramienta de monitoreo para su ambiente de la nube.

Para este caso particular, la matriz de evaluación que se utilizó para la revisión de herramientas se presenta posteriormente (tabla 2).

Al final de la evaluación de las herramientas, se hallaron estos resultados (tabla 3).

**Tabla 2**  
Estructura matriz de evaluación y desempeño de herramientas Carvajal T&S

Perspectiva	Impacto	Alcance general	Grupos de criterios	Impacto
Arquitectura tecnológica	20 %	Se debe cumplir con los estándares de calidad y debe estar orientado con la filosofía de la organización	1. Compatibilidad 2. Eficiencia 3. Capacidad de integración 4. Mantenibilidad 5. Portabilidad 6. Evolución de producto 7. Usabilidad <b>Total</b>	15 % 20 % 15 % 15 % 5 % 10 % 20 % <b>100 %</b>
Descripción funcional	35 %	La herramienta debe prestar una serie de servicios con el fin de suplir las necesidades de la organización	1. Monitoreo bases de datos 2. Monitoreo de servidores 3. Monitoreo de redes 4. Monitoreo de servicios 5. Generación de reportes 6. Monitoreo de máquinas virtuales y nube 7. Monitoreo de transacciones web 8. Monitoreo de Big Data 9. Arquitectura del software <b>Total</b>	8 % 16 % 8 % 20 % 8 % 20 % 5 % 5 % 10 % <b>100 %</b>
Costos	30 %	La inversión en la herramienta debe cumplir con el presupuesto y estándares del mercado	1. Adquisición 2. Mantenimiento <b>Total</b>	40 % 60 % <b>100 %</b>
Soporte	15 %	Se debe portar con un soporte constante que permita a la organización tener un grado de estabilidad en el futuro	1. Acuerdos de nivel de servicio 2. Asistencia técnica 3. Referenciación del mercado <b>Total</b>	40 % 40 % 20 % <b>100 %</b>
<b>TOTAL</b>	<b>100 %</b>			

Para el caso particular, se puede observar que la herramienta que mayor puntaje obtuvo de acuerdo con la calificación por parte de la organización fue SiteScope de Hewlett Packard. Esto indicaría que dicha herramienta es la que mejor cumple y satisface las necesidades de la organización.

## CONCLUSIONES

El desarrollo de este proyecto evidenció lo difícil que es para una empresa del sector de las TI seleccionar una solución de *software* para integrarla a sus procesos de producción. Todas estas dificultades que se observaron se deben a que para las empresas contar con el tiempo que les permita adquirir todos los conocimientos necesarios para tomar decisiones en la adquisición de aplicaciones para servicios nuevos no es siempre adecuado, y dichos conocimientos pueden permitirle tomar mejores decisiones a la hora de elegir un *software*. La

matriz desarrollada en este proyecto es una herramienta de apoyo para cualquier empresa que quiera evaluar varias alternativas de soluciones de *software*, ya que esta matriz es flexible y permite hacerle modificaciones de acuerdo con las necesidades particulares que tenga la empresa evaluadora. Como se mencionó en el caso práctico, la matriz se aplicó a un proyecto real, en el cual una empresa se encontraba en el proceso de selección de un *software* de monitoreo.

Durante el desarrollo de la matriz, se pudo evidenciar que no hay metodologías de evaluación que permitan la selección de soluciones de *software*, razón por la cual con la matriz de evaluación se pretende generar una nueva metodología que permita hacerlo.

A partir de la evaluación hecha a las herramientas de monitoreo existentes en mercado se pudo determinar, basándose en la calificación obtenida por cada una de ellas, que la herramienta que mejor se adapta a las necesidades de Carvajal T&S es SiteScope de Hewlett

**Tabla 3**  
Resultado de la evaluación de las cinco herramientas

Perspectiva	Impacto	Alcance general	Grupos de criterios	Impacto	SiteScope HP	CA Nimsoft Manager	IBM SmartCloud Monitoring	Oracle Enterprise Manage	BCM
Arquitectura tecnológica	20 %	Se debe cumplir con los estándares de calidad y debe estar orientado con la filosofía de la organización	1. Compatibilidad 2. Eficiencia 3. Capacidad de integración 4. Mantenibilidad 5. Portabilidad 6. Evolución de producto 7. Usabilidad <b>Total</b>	15 % 20 % 15 % 15 % 5 % 10 % 20 % <b>100 %</b>	1,50 2,00 1,00 1,10 0,33 1,00 2,00 <b>8,93</b>	0,75 2,00 1,50 1,10 0,33 1,00 2,00 <b>8,68</b>	0,75 2,00 1,00 1,10 0,33 1,00 2,00 <b>8,18</b>	1,50 2,00 1,00 1,25 0,33 1,00 2,00 <b>9,08</b>	1,50 2,00 1,50 1,10 0,33 1,00 2,00 <b>9,10</b>
Descripción funcional	35 %	La herramienta debe prestar una serie de servicios con el fin de suplir las necesidades de la organización	1. Monitoreo bases de datos 2. Monitoreo de servidores 3. Monitoreo de redes 4. Monitoreo de servicios 5. Generación de reportes 6. Monitoreo de máquinas virtuales y nube 7. Monitoreo de transacciones web 8. Monitoreo de big data 9. Arquitectura del software <b>Total</b>	8 % 16 % 8 % 20 % 8 % 20 % 5 % 5 % 10 % <b>100 %</b>	0,80 1,60 0,80 1,67 0,72 2,00 0,50 0,25 1,00 <b>9,34</b>	0,00 1,60 0,80 1,67 0,57 2,00 0,50 0,00 1,00 <b>8,14</b>	0,72 1,37 0,80 1,67 0,72 1,50 0,50 0,00 1,00 <b>8,29</b>	0,59 1,60 0,80 1,67 0,65 2,00 0,43 0,25 1,00 <b>8,99</b>	0,59 1,14 0,24 1,67 0,65 2,00 0,50 0,13 1,00 <b>7,92</b>
Costos	30 %	La inversión en la herramienta debe cumplir con el presupuesto y estándares del mercado	1. Adquisición 2. Mantenimiento <b>Total</b>	40 % 60 % <b>100 %</b>	3,48 6,00 <b>9,48</b>	3,48 6,00 <b>9,48</b>	3,48 6,00 <b>9,48</b>	3,48 6,00 <b>9,48</b>	3,48 6,00 <b>9,48</b>
SopORTE	15 %	Se debe portar con un soporte constante que permita a la organización tener un grado de estabilidad en el futuro	1. Acuerdos de nivel de servicio 2. Asistencia técnica 3. Referenciación del mercado <b>Total</b>	40 % 40 % 20 % <b>100 %</b>	3,52 4,00 1,58 <b>9,11</b>	3,52 4,00 1,33 <b>8,86</b>	3,52 4,00 1,58 <b>9,11</b>	3,52 4,00 1,58 <b>9,11</b>	3,52 3,00 0,92 <b>7,44</b>
<b>TOTAL</b>	<b>100 %</b>		<b>GRAN TOTAL</b>	<b>100 %</b>	<b>9,22</b>	<b>8,79</b>	<b>8,76</b>	<b>9,17</b>	<b>8,49</b>



– Packard, al obtener una calificación de 9,22. Además de esto, se pudo determinar que todas las herramientas encontradas cumplían con muchos de los requerimientos que en ciertas perspectivas superaban a SiteScope, pero al ser ésta la que más calificación obtuvo en cuanto a la funcionalidad requerida con un puntaje de 9,34, y dado que dicha perspectiva era la que más peso tenía sobre las otras con un 35 % de impacto sobre la decisión final, fue la herramienta seleccionada como la mejor para usarla como la herramienta de monitoreo para la infraestructura de la nube destinada a Carvajal T&S.

Otro de los puntos importantes que se pudieron encontrar con la evaluación es que no necesariamente se debe obtener la calificación más alta en todas las perspectivas, ya que lo más importante es tener una buena puntuación en cuanto a la perspectiva que más impacto tenga sobre la decisión final. Para aclarar esto se pudo ver que SiteScope en la perspectiva de arquitectura tecnológica obtuvo 8,93, lo cual fue menos puntaje que la herramienta de Oracle Enterprise Manager, cuyo puntaje en dicha perspectiva fue de 9,06.

Finalmente, cabe aclarar que para que la evaluación tenga un mayor éxito es de vital importancia que se haga una buena definición de los criterios y perspectivas y sus respectivos pesos, ya que si no es así, muy posiblemente la organización se verá obligada a incurrir en nuevos gastos y en adquirir nuevas herramientas que suplan estas brechas que se encontraron después por una mala toma de decisiones.

Adicionalmente a esto vale la pena recalcar que esta matriz es flexible, haciendo así que cualquier organización que esté en búsqueda de soluciones de *software* pueda hacer los ajustes necesarios a ésta y pueda evaluar la solución que desee. No sólo se pueden hacer modificaciones sino que también se pueden crear nuevas perspectivas y criterios que harán que la evaluación de las herramientas sea aún más exhaustiva, dando una mejor evaluación y satisfaciendo aún más necesidades que la organización tenga.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- BCM (julio de 2012). BMC Nube Operations Management. Retrieved 09/15/2014, from <http://documents.bmc.com/products/documents/07/04/440704/440704.pdf>
- Brian Stanton, M. T. (16 de agosto de 2014). Framework for Nube Usability. Retrieved 09/15/2014, from NIST: <http://www.nist.gov/itl/nube/upload/NubeFrameworkIR.PDF>
- Cabello R., N. (6 de septiembre de 2011). Auditoría, Contabilidad & economía. Obtenido de ¿Qué es COSO?: <https://blogconsultorasur.wordpress.com/2011/09/06/que-es-coso/>.
- COSO (mayo de 2013). Internal Control — Integrated Framework. (C. o. Commission, Ed.) Durham, North Carolina, USA: American Institute of Certified Public Accountants. Obtenido de Internal Control - Integrated Framework - Executive Summary: [https://na.theiia.org/standards-guidance/topics/Documents/Executive\\_Summary.pdf](https://na.theiia.org/standards-guidance/topics/Documents/Executive_Summary.pdf)
- Debitoor (2015). Definición de Cloud computing. Obtenido de Definición de Cloud computing: <https://debitoor.es/glosario/definicion-cloud-computing>.
- Hewlett-Packard Development Company, L. (2014). Automatización y organización. Retrieved 09/29/2014, from <http://www8.hp.com/co/es/software-solutions/it-automation-orchestration/index.html>.
- Hewlett-Packard Development Company, L. (2014). HP SitesCOPE. Retrieved 09/29/2014, from <http://www8.hp.com/co/es/software-solutions/sitescope-application-monitoring/index.html#skip-header>.
- IBM (15 de enero de 2010). IBM developerWorks. Obtenido de Una solución de computación en nube en las universidades. Virtual Computing Lab: <https://www.ibm.com/developerworks/ssa/websphere/library/ws-vcl/#ibm-pcon>
- IBM (2014). IBM SmartNube Monitoring - Application Insight. Retrieved 09/30/2014, from <http://www-03.ibm.com/software/products/es/smartnube-monitoring-application-insight/>
- Isaca (2015). What is Cobit 5? Obtenido de Cobit 5 an ISACA Framework: <https://cobitonline.isaca.org/>.
- ITIL (2007). The Official Introduction to the ITIL - Service Lifecycle. Norwich: TSO (The Stationery Office).
- Management Solutions (2012). La nube: oportunidades y retos para los integrantes de la cadena de valor. Obtenido de <http://www.managementsolutions.com/PDF/ESP/La-nube.pdf>
- Nexos Software (s.f.). ITIL - Information Technology Infrastructure Library. Obtenido de <http://www.nexos-software.com/index.php/articulos/60-til-information-technology-infrastructure-library>.
- Nieves, M. (abril de 2014). Best practice in the nube: an introduction. Retrieved 10/01/2014, from [http://www.axelos.com/gempdf/best\\_practice\\_in\\_the\\_nube\\_an\\_introduction.pdf](http://www.axelos.com/gempdf/best_practice_in_the_nube_an_introduction.pdf)
- Oracle (26 de febrero de 2013). Oracle. Retrieved 10/03/2014, from Managing Nubes with Enterprise Manager 12c: <http://www.oracle.com/technetwork/oem/pdf/512028.pdf>.
- Ortiz, P. A. & Hoyos, A. M. (2005). ITIL: una nueva alternativa en el aprovechamiento de los recursos informáticos para las empresas colombianas. *Revista Ingenierías*, Universidad de Medellín, 25-39.
- Redman, D. (11 de diciembre de 2013). What is IT governance, and why you need it. Retrieved 09/24/2014, from IIA / ISACAWNY Conference: <https://chapters.theiia.org/rochester/Events/Presentations%20Archive/IT-Governance-2013-12-11.pdf>.
- Technologies, C. (2014). CA Unified Infrastructure Management. Retrieved 10/01/2014, from <http://www.ca.com/us/opscenter/ca-nimsoft-monitor/details.aspx>.



# Enseñanza del electromagnetismo usando la experimentación y *software* de simulación

## Teaching electromagnetism through experimentation and simulation software

HEINDEL RICARDO OTERO ARÉVALO<sup>1</sup> - CARLOS COLLAZOS MORALES<sup>1</sup> - JAIME JOSÉ ISAZA CEBALLOS<sup>1</sup> - MARTHA PIMIENTA GIRALDO<sup>2</sup> - LILIANA PEDRAZA VEGA<sup>3</sup>

1. Profesores del Departamento de Ciencias Naturales de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

2. Coordinadora de Investigación de la Vicerrectoría Académica de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

3. Coordinadora de Desarrollo Profesional de la Vicerrectoría Académica de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

heindel.otero@escuelaing.edu.co - carlos.collazos@escuelaing.edu.co - jaime.isaza@escuelaing.edu.co - martha.pimienta@escuelaing.edu.co - liliana.pedraza@escuelaing.edu.co

Recibido: 10/01/2016 Aceptado: 12/02/2016

Disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

### Resumen

La teoría del electromagnetismo es de gran importancia para la formación de los ingenieros, pero como tiene un alto nivel de abstracción, a los estudiantes se les dificulta el aprendizaje de los conceptos físicos.

El propósito de este artículo es mostrar que, con la ayuda de la parte experimental y con el uso de simuladores de *software* computacional, el aprendizaje del electromagnetismo se vuelve más sencillo y los conceptos físicos pueden quedar claros en la mente de los estudiantes.

**Palabras claves:** simulación, circuito RLC, carga y corriente.

### Abstract

Electromagnetic theory is of great importance in engineering training, it has a high level of abstraction so students find it difficult to learn physical concepts.

The purpose of this article is to show that, backed up by experimentation and the use of computational software simulators, learning electromagnetism becomes easier and physical concepts can be clarified in students' minds.

## INTRODUCCIÓN

Los circuitos RLC son de gran aplicación tanto en ingeniería eléctrica como en ingeniería electrónica. Se emplean como osciladores y filtros de pasa banda, de pasa alta y pasa baja. También se usan en los equipos médicos para protegerlos de sobrecargas transitorias, y en la industria se utilizan ampliamente para corregir el factor de potencia, haciendo que el consumo de energía sea menor.

## ESTRUCTURA DEL ARTÍCULO

Este artículo se ha estructurado en cuatro partes, que son las siguientes:

Primera parte. Consiste en hacer un análisis físico del circuito electromagnético y encontrar un modelo físico con expresiones matemáticas de carga y tensión que hay en el condensador.

Segunda parte. Se hará un análisis teórico y experimental del circuito RLC subamortiguado.

Tercera parte. Se hará un análisis teórico y experimental del circuito RLC sobreamortiguado.

Cuarta parte. Se hace un análisis del circuito RLC en condiciones de amortiguamiento crítico.

## ANÁLISIS TEÓRICO

### PRIMERA PARTE

El circuito RLC que se va a analizar se ilustra en la figura siguiente (figura 1).

Los elementos que integran el circuito son una resistencia eléctrica, un condensador, una bobina, un interruptor y una fuente de voltaje de corriente directa.

Cuando se cierra el interruptor del circuito, por centésimas de segundo la corriente y la carga que hay en el circuito son variables en el tiempo. En esta situación, en la bobina se induce una tensión y la ecuación de tensión o voltaje en el circuito es la siguiente:

$$V - L \frac{dl}{dt} = IR + \frac{Q}{C} \quad (1)$$

La corriente es la carga que fluye en el circuito en la unidad de tiempo:

$$I = \frac{dQ}{dt}$$

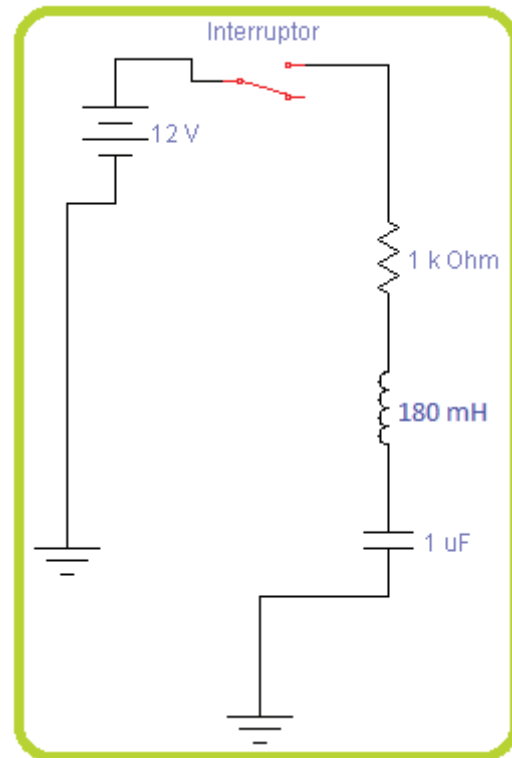


Figura 1. Circuito RLC en serie con una fuente de voltaje  $V$ .

La ecuación anterior puede escribirse en la siguiente forma:

$$L \frac{d^2Q}{dt^2} + R \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C} - V = 0 \quad (2)$$

Si se hace un cambio de variable.

$$\frac{q}{C} = \frac{Q}{C} - V$$

La ecuación 2 se vuelve a escribir.

$$L \frac{d^2q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = 0 \quad (3)$$

Se ordenan términos y se obtiene la siguiente ecuación:

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dq}{dt} + \frac{q}{Lc} = 0 \quad (4)$$

Se llama:

$$\lambda = \frac{R}{L} \quad \text{y} \quad \omega_0^2 = \frac{1}{LC}$$

La ecuación 4 se escribe así:

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \lambda \frac{dq}{dt} + \omega_0^2 q = 0 \quad (5)$$

Se propone una solución de la ecuación diferencial en la siguiente forma:

$$q = A_0 e^{\hat{j}(pt+\alpha)} \quad (6)$$

Se reemplaza la ecuación 6 en la ecuación 5.

$$\begin{aligned} (-p^2 + \hat{j}p\lambda + \omega_0^2) A_0 e^{\hat{j}(pt+\alpha)} &= 0 \\ -p^2 + \hat{j}p\lambda + \omega_0^2 &= 0 \end{aligned} \quad (7)$$

Se escribe  $p = n + \hat{j}s$ , donde  $n$  y  $s$  son reales

$$p^2 = (n + \hat{j}s)^2 = n^2 + 2n\hat{j}s - s^2$$

Se lleva esta última ecuación a la ecuación 7.

$$-n^2 - 2n\hat{j}s + s^2 + n\hat{j}\lambda - s\lambda + \omega_0^2 = 0 \quad (8)$$

En la ecuación 8 se obtienen dos ecuaciones:  
Parte real:

$$-n^2 + s^2 - s\lambda + \omega_0^2 = 0 \quad (9)$$

Parte imaginaria

$$-2ns + n\lambda = 0 \quad (10)$$

De la ecuación 10 se tiene que:

$$s = \frac{\lambda}{2}$$

y ésta se sustituye en la ecuación 9.

$$n^2 = \omega_0^2 - \frac{\lambda^2}{4} \quad (11)$$

El valor de  $p$  se sustituye en la ecuación 6.

$$q = A_0 e^{-st} * e^{\hat{j}(nt+\alpha)} \quad (12)$$

Siendo

$$n = \pm \sqrt{\omega_0^2 - \frac{\lambda^2}{4}}, \quad s = \frac{\lambda}{2} \quad \text{y} \quad \lambda = \frac{R}{L}$$

La ecuación de la carga  $q(t)$  es:

$$q(t) = A_0 e^{-\frac{R}{L}t} * e^{\hat{j}\left(\pm\sqrt{\omega_0^2 - \frac{R^2}{4L^2}}t + \alpha\right)} \quad (13)$$

Ahora se escribe la ecuación de la carga  $Q(t)$  del circuito.

$$Q(t) = q(t) + cV$$

$$Q(t) = A_0 e^{-\frac{R}{2L}t} * e^{\hat{j}\left(\pm\sqrt{\omega_0^2 - \frac{R^2}{4L^2}}t + \alpha\right)} + cV \quad (14)$$

## SISTEMA SUBAMORTIGUADO

### SEGUNDA PARTE: Circuito subamortiguado

Se presenta cuando  $\omega > 0$ , es decir, que

$$\frac{1}{LC} > \frac{R^2}{4L^2}$$

La parte real de la ecuación 14 se puede escribir en la siguiente forma:

$$Q(t) = e^{-st} [A_1 \text{Cos}wt + A_2 \text{Sen}wt] + cV \quad (15)$$

Siendo

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$$

Aplicando condiciones iniciales:

En  $t = 0$ .

$$\begin{aligned} Q(0) &= 0 = A_1 + cV \\ I(0) &= 0 \end{aligned}$$

Se encuentra que:

$$A_1 = -V \quad \text{y} \quad A_2 = \frac{cVR}{2L\omega}$$

La ecuación de la carga eléctrica se puede expresar así:

$$Q_c(t) = -cV e^{-\frac{Rt}{2L}} \left[ \text{Cos}wt + \frac{R}{2L\omega} \text{Sen}wt \right] + cV$$

La ecuación de la tensión en función del tiempo en el condensador se encuentra usando la siguiente relación:



$$V_c = \frac{Q}{c}$$

La tensión  $V_c(t)$  en el condensador es:

$$V_c(t) = -Ve^{-\frac{Rt}{2L}} \left[ \cos \omega t + \frac{R}{2L\omega} \text{Sen} \omega t \right] + V \quad (16)$$

Siendo

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$$

De acuerdo con esta ecuación de tensión, la curva de tensión del condensador en función del tiempo sería así (figura 2):



Figura 2.  $V_c$  vs. t.

### Montaje experimental del circuito RLC

El circuito está formado por un generador de ondas que está conectado en serie con la resistencia, la bobina y el condensador. El osciloscopio se encuentra conectado al condensador, con el fin de registrar la tensión del condensador en función del tiempo.

A renglón seguido se muestran las conexiones realizadas en el laboratorio de física (figura 3).

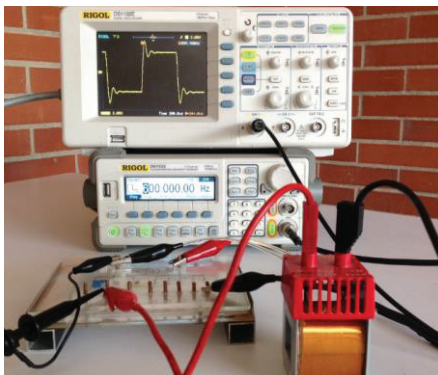


Figura 3. Montaje experimental del circuito RLC subamortiguado.

Los valores de resistencia, inductancia, capacitancia, frecuencia del generador y tensión del generador para este montaje son los siguientes:

$$R = 1045\Omega, L = 50 \text{ mH}, \\ C = 10 \text{ nF}, V = 9\text{v} \text{ y } F = 600 \text{ Hz}$$

La tensión en el condensador se muestra con más detalle a continuación (figura 4).



Figura 4. Tensión vs. tiempo, en el condensador.

En el gráfico se ve que el circuito es un oscilador debido a que la tensión en el condensador está oscilando y disminuyendo con el tiempo.

En la ecuación de tensión en función del tiempo (ecuación 16) se reproduce el gráfico mostrado en el osciloscopio.

Ahora se va a utilizar el *software* Electronics Workbench®.

Con el simulador se realiza el circuito RLC (figura 5).

En el osciloscopio del simulador (figura 6) se puede ver la gráfica de tensión en función del tiempo.

Se observa que en el osciloscopio real y en el simulador los gráficos son iguales.

La tensión en el circuito oscila en el tiempo tendiendo a cero.

Al remplazar los valores de  $R, L, C$  y  $V$  en la ecuación de tensión para el condensador en función del tiempo, se obtiene la siguiente ecuación:

$$V_c(t) = -9ve^{-\frac{10.450t}{s}} \left[ \cos \left( 43.589 \frac{\text{rad}}{s} t \right) + 0,24 \text{ Sen} \left( 43.589 \frac{\text{rad}}{s} t \right) \right] + 9\text{v}$$

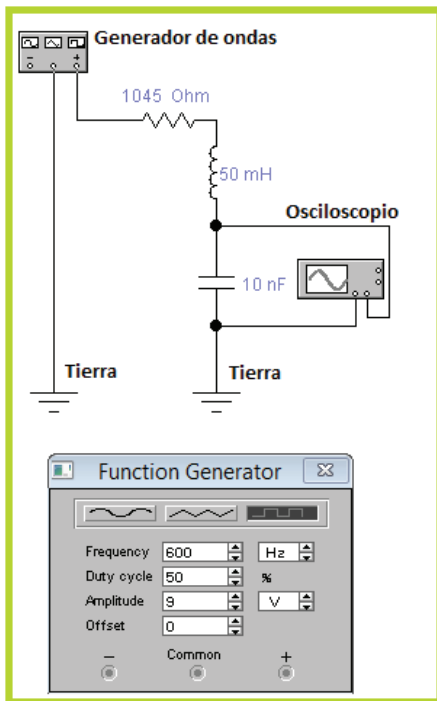


Figura 5. Esquema del circuito RLC, usando el simulador Electronics Workbench®.

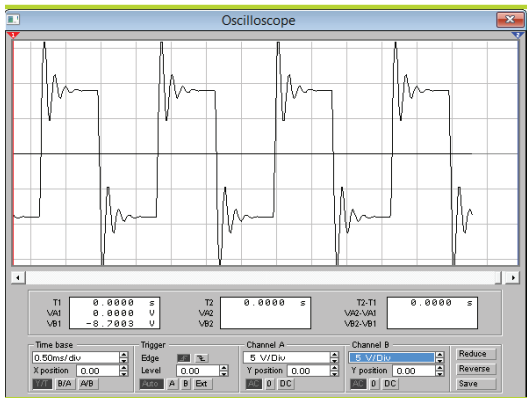


Figura 6. Gráfico de tensión en el condensador en función del tiempo.

En esta ecuación se reproducen los gráficos de tensión que se ven en el osciloscopio y en el simulador Workbench®.

### SISTEMA SOBREAMORTIGUADO

#### TERCERA PARTE: Circuito sobreamortiguado

Se presenta cuando  $\omega < 0$ , es decir, que.

$$\frac{1}{LC} < \frac{R^2}{4L^2}$$

Usamos la ecuación 14, que corresponde a la carga eléctrica en el circuito. Esta ecuación queda expresada de la siguiente manera:

$$Q(t) = A_0 e^{-\frac{R}{2L}t} * e^{j\left(\pm\sqrt{\omega_0^2 - \frac{R^2}{4L^2}}t + \alpha\right)} + cV$$

Se llama:

$$m = \sqrt{-\omega_0^2 + \frac{R^2}{4L^2}}$$

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$$

$$Q(t) = e^{-\frac{R}{2L}t} [A_1 e^{mt} + A_2 e^{-mt}] + cV \quad (15)$$

Se aplican condiciones iniciales para  $t = 0$ .

$$Q(0) = 0 = A_1 + A_2 + cV$$

$$I(0) = 0$$

Se encuentra que:

$$A_1 = -cV \frac{\left(m + \frac{R}{2L}\right)}{(2m)}$$

$$A_2 = -cV \frac{\left(m - \frac{R}{2L}\right)}{(2m)}$$

La ecuación de carga es:

$$Q(t) = -\frac{cV}{2m} \left[ \left(m - \frac{R}{2L}\right) e^{-\left(m + \frac{R}{2L}\right)t} + \left(m + \frac{R}{2L}\right) e^{-\left(m - \frac{R}{2L}\right)t} \right] + cV \quad (16)$$

Usando la relación  $V_c = \frac{Q}{C}$  se encuentra la ecuación de la tensión en el condensador como función del tiempo.

$$V_c(t) = -\frac{V}{2m} \left[ \left( m - \frac{R}{2L} \right) e^{-\left( m + \frac{R}{2L} \right) t} + \left( m + \frac{R}{2L} \right) e^{\left( m - \frac{R}{2L} \right) t} \right] + V \quad (17)$$

La gráfica de tensión en función del tiempo para el condensador es la siguiente:



Figura 7. Tensión en función del tiempo, para el condensador.

En la figura anterior se muestra que el circuito sobreamortiguado no está oscilando.

### Montaje experimental del circuito RLC

El circuito está formado por un generador de ondas que está conectado en serie con la resistencia, la bobina y el condensador. El osciloscopio se encuentra conectado al condensador, con el fin de registrar la tensión del condensador en función del tiempo.

Posteriormente se muestran las conexiones efectuadas en el laboratorio de física (figura 8).

En el osciloscopio se observa que la tensión no oscila en el tiempo.

Los valores de los elementos del circuito experimental son los siguientes:

$$R = 1045 \Omega, \quad L = 50 \text{ mH}, \quad C = 3,3 \mu\text{F}, \quad F = 200 \text{ Hz}$$

$$y \quad V = 5 \text{ v}$$

En la ecuación de tensión en función del tiempo (ecuación 17) se reproduce el gráfico mostrado en el osciloscopio.

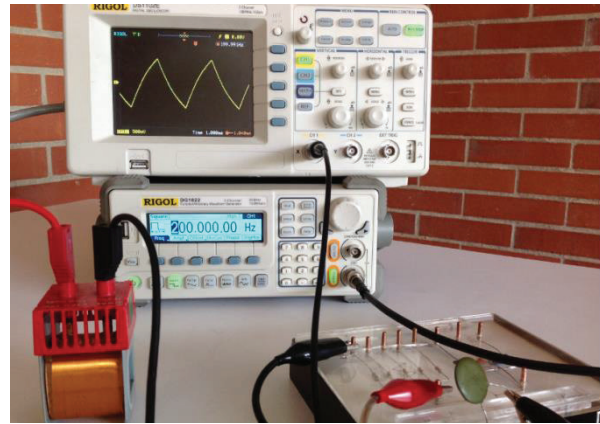


Figura 8. Montaje experimental del circuito RLC sobreamortiguado.

Ahora se va a utilizar el *software* Electronics Workbench®.

Con el simulador se construye el circuito RLC, como se muestra a renglón seguido (figura 9).

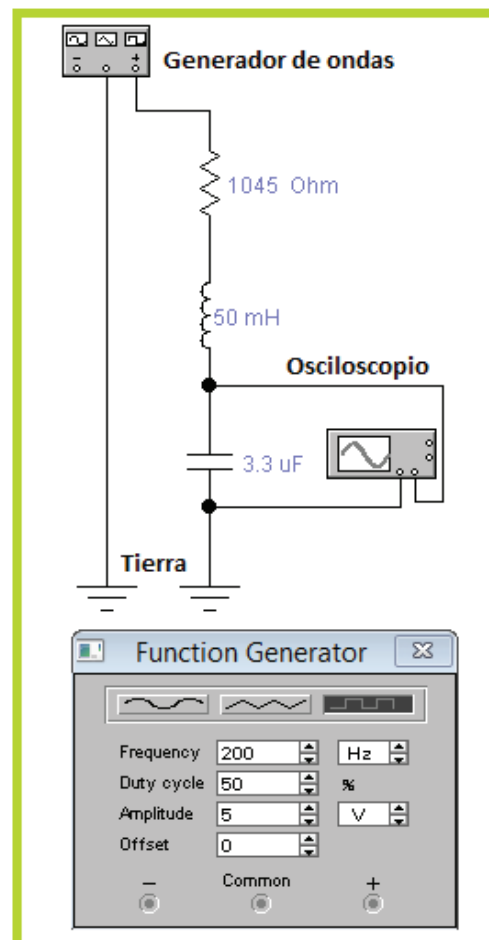
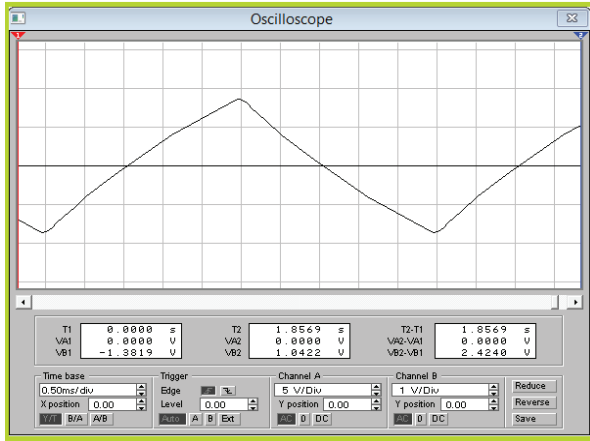


Figura 9. Esquema del circuito RLC, usando el simulador Electronics Workbench®.

Se usa el osciloscopio del simulador (figura 10) que muestra la gráfica de tensión en función del tiempo.



**Figura 10.** Gráfico de tensión del condensador en función del tiempo, usando el simulador Workbench.

Al observar tanto en el osciloscopio real como en el osciloscopio del simulador, se ve que las curvas de tensión no están oscilando en el tiempo.

Los valores de los elementos del circuito son los siguientes:

$$R = 1045 \Omega, L = 50 \text{ mH}, C = 3,3 \mu\text{F}, \\ F = 200 \text{ Hz y } V = 5 \text{ v}$$

Con los valores de  $R, L, C$  y la tensión en el generador (escritos en la figura 6), se escribe la ecuación de tensión del condensador en función del tiempo.

$$V_c(t) = -2,4 * 10^{-3} \text{ v} \left[ 9111 e^{-\frac{11201}{s}t} + 11201 e^{-\frac{911}{s}t} \right] + 5 \text{ v}$$

Esta ecuación de tensión dice que el circuito no oscila.

**AMORTIGUAMIENTO CRÍTICO**

**CUARTA PARTE: Circuito críticamente amortiguado**

Se presenta cuando  $\nu = 0$ , es decir, que:

$$\frac{1}{LC} = \frac{R^2}{4L^2}$$

Se propone la siguiente ecuación para la carga eléctrica del circuito, en función del tiempo:

$$Q(t) = e^{-\frac{R}{2L}t} [A_1 + A_2t] + cV \quad (18)$$

Se aplican las condiciones iniciales, para  $t = 0$ .

$$Q(0) = 0 = A_1 + cV$$

$$A_1 = -cV$$

$$I(0) = 0 = A_2 - \frac{RA_1}{2L}$$

$$A_2 = -\frac{RcV}{2L}$$

La ecuación de la carga finalmente queda escrita así:

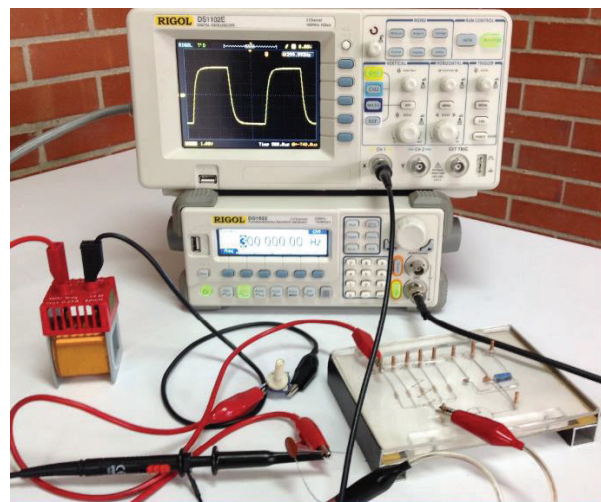
$$Q(t) = -cV e^{-\frac{R}{2L}t} \left[ 1 + \frac{R}{2L}t \right] + cV \quad (19)$$

Usando la relación  $V_c = \frac{Q}{C}$  se encuentra la ecuación de la tensión en el condensador como función del tiempo.

$$V(t) = -V e^{-\frac{R}{2L}t} \left[ 1 + \frac{R}{2L}t \right] + V \quad (20)$$

**Montaje experimental del circuito RLC**

A continuación se pueden apreciar las conexiones hechas en el laboratorio de física (figura 11).



**Figura 11.** Montaje experimental del circuito RLC en amortiguamiento crítico.



Los valores de los elementos del circuito experimental son los siguientes.

$$R = 1226,1 \Omega, L = 50 \text{ mH}, C = 133 \text{ nF},$$

$$F = 300 \text{ Hz} \text{ y } V = 5 \text{ v}$$

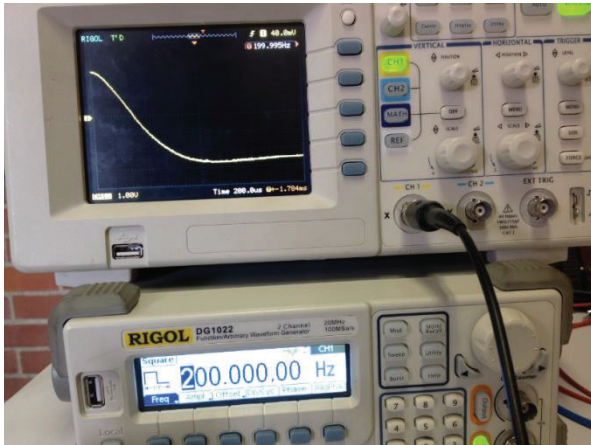


Figura 12. Circuito RLC en amortiguamiento crítico.

En el mismo montaje se le cambió la frecuencia al generador, con el fin de mostrar un mejor gráfico de la tensión en el condensador.

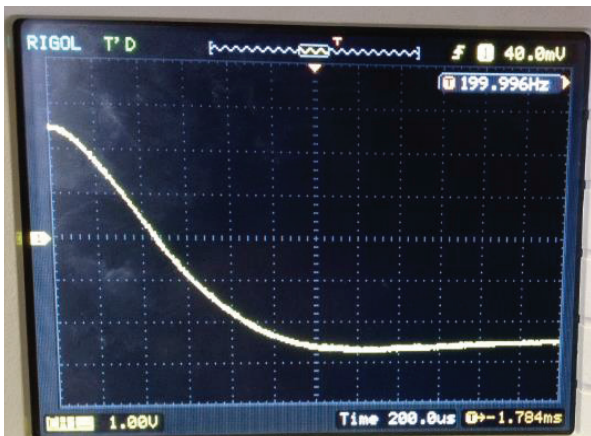


Figura 13. Circuito RLC en amortiguamiento crítico. Tensión en el condensador.

Se observa en el osciloscopio del montaje experimental que la tensión en el condensador en función del tiempo no presenta oscilaciones, es decir que el sistema no es oscilatorio.

### Simulación del amortiguamiento crítico

En el simulador Workbench se pueden apreciar el circuito y los gráficos de tensión en el condensador en función del tiempo. Estos gráficos aparecen en el osciloscopio del simulador.

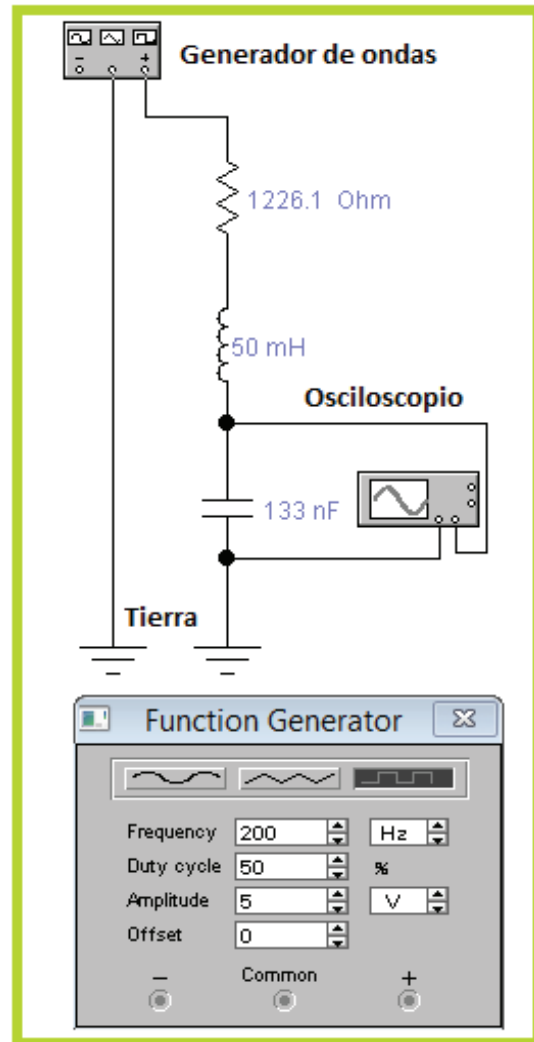


Figura 14. Circuito RLC críticamente amortiguado.

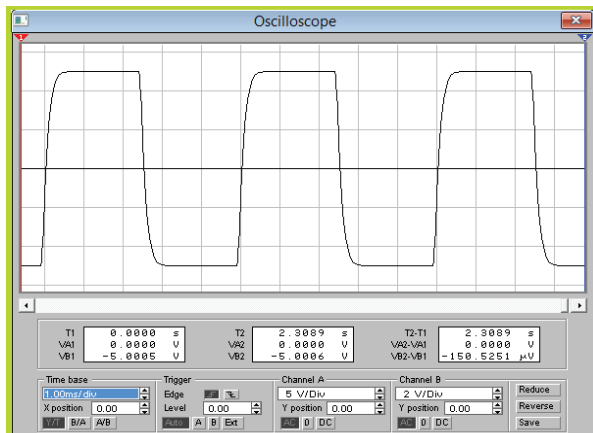
En la siguiente figura se puede observar la tensión del condensador en función del tiempo (figura 15).

En el siguiente gráfico se muestra en detalle la curva de tensión en función del tiempo (figura 16).

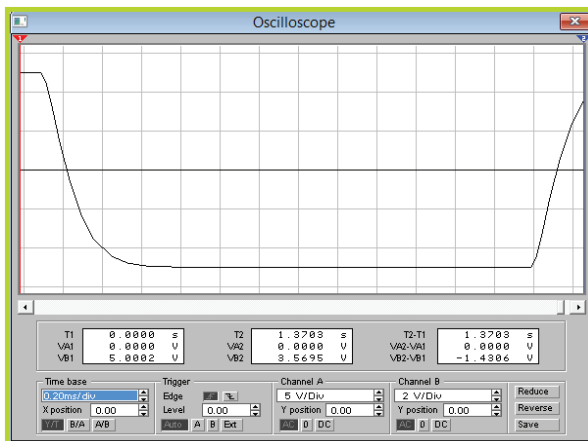
Se observa claramente que la tensión en el circuito no oscila en el tiempo.

Con los valores de  $R$ ,  $L$ ,  $C$  y  $V$  (escritos en la figura 11), se escribe la ecuación de la tensión del condensador en función del tiempo.





**Figura 15.** Tensión en función del tiempo para el condensador.



**Figura 16.** Gráfica de la tensión en función del tiempo, en el condensador.

$$V_c(t) = -5ve^{-\frac{1226,1}{s}t} \left[ 1 + \frac{1226,1}{s}t \right] + 5v$$

Esta expresión matemática dice que la tensión no oscila y por consiguiente el circuito no es oscilatorio.

## CONCLUSIONES

- Para los estudiantes de ingeniería se presenta una mayor claridad de los conceptos físicos cuando la teoría es explicada con la ayuda de la física experimental y con simulaciones físicas.
- Las simulaciones en física computacional, asistida por los docentes, han demostrado tener un gran éxito en la enseñanza de la física teórica y en especial con el electromagnetismo.
- De acuerdo con la preparación académica de los estudiantes que se matriculan en un programa de ingeniería, es indudable que el profesor atrae la atención de los alumnos, de una manera más efectiva, utilizando las herramientas computacionales para explicar los conceptos de la física teórica.

## BIBLIOGRAFÍA

- Física universitaria, volumen 2, Young y Freedman. Edición número 13, Editorial Pearson, página 1009.  
 Física para ciencias e ingeniería, vol 2, Serway Jewett. Edición número 9, Editorial Cengage Learning, página 984.  
 Vibraciones y ondas. A. P. French. Editorial Reverte, página 72.  
 Circuitos eléctricos. Joseph A. Edminister y Mahmood Nahvi. Editorial McGraw Hill, página 187.



# La historia de un sueño frustrado plasmado en un billete:

## Jorge Eliécer Gaitán<sup>1</sup>

### A broken dream's history stamped on a bill: Jorge Eliécer Gaitán

**JOSÉ CAMILO VÁSQUEZ CARO**

Historiador. Profesor del Departamento de Humanidades e Idiomas de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

jose.vasquez@escuelaing.edu.co

Recibido: 15/01/2016 Aceptado: 20/02/2016

Disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

*¡Ay! Utopía,  
cabalgadura  
que nos vuelve gigantes en miniatura.*

J. M. SERRAT

Es un agente silencioso que habita en nuestra cotidianidad, participa en nuestras transacciones, nos acompaña en el bus y en la cafetería, y en muchas otras partes. Es un agente silencioso que está cargado con todo el peso histórico de un sueño frustrado, con el anhelo de lo que hubiera sido. Hablo del billete de mil pesos y de lo que puede representar su personaje principal, Jorge Eliécer Gaitán. En este breve texto se presentará una lectura biográfica de Gaitán, en la que se invita al lector

a pensar en él como un símbolo de un sueño frustrado que aún hoy en día, décadas después de su muerte, tiene vigencia en nuestra sociedad.

Colombia es un país heredero de estructuras feudales y coloniales, donde el poder político ha estado en manos de unos pocos. Incluso después de la independencia, el legado español, compuesto en parte por instituciones como la encomienda y las grandes haciendas, sembró y abonó una sociedad excluyente y jerarquizada en extremo, que se ha mantenido desde entonces. Pasadas las guerras de independencia en el siglo XIX, una élite criolla terrateniente asumió el poder y se mantuvo en él a toda costa, luchando entre sí, con la palabra y el fusil, por establecer proyectos políticos de nación en los que, unos más que otros, buscaban desarrollar y modernizar la democracia, crear y defender los derechos y las libertades individuales, generar y establecer el libre comercio, sin acabar con la exclusión, todo esto en un escenario en el que la Iglesia católica compartía por completo el poder con los políticos. Pero pese a los múl-

1. Quiero agradecer al escritor y guionista Manuel Nieto Arango por tomarse el tiempo de acompañarme en mi proceso de escritura. Gracias por cuestionar mis ideas y por dialogar sobre las utopías y, claro, por leerme innumerables veces y corregirme.



tiples intentos por establecer esa nación, los esfuerzos se quedaron muchas veces en el papel y las jerarquías de señor, siervo, peón, indio siguieron rigiendo la vida cotidiana del país más allá del siglo XIX.

Jorge Eliécer Gaitán es, tal vez, una de las figuras más representativas del siglo XX en Colombia, pues desde su condición de caudillo político trascendió múltiples niveles de la sociedad colombiana, y al haberse convertido en mártir, fue más allá; trascendió los tiempos y pasó de ser el líder de un proyecto político real a convertirse en una utopía. Para unos y otros su muerte fue, a un mismo tiempo, el final de una amenaza y el comienzo de un sueño. Paradójicamente, su muerte le dio inmortalidad, y la frustración dejada por su ausencia creó un vacío que se alimentó de especulaciones e ilusiones, convirtiendo su figura en el símbolo de una opción que Colombia no pudo tomar.

Gaitán, a través de su discurso político, buscó ser la voz del pueblo siempre olvidado y marginado, y logró que éste se identificara con él, encarnando e interpretando sus anhelos y sus frustraciones. Y lo hizo incluso después de muerto. Una de sus frases célebres resume su ideario: “Yo no soy un hombre, soy un pueblo”. Dice Antonio Caballero: “Jorge Eliécer Gaitán fue la primera voz que el pueblo tuvo en Colombia, y sigue siendo casi la única, 50 años después de muerto”<sup>2</sup>.

Jorge Eliécer Gaitán nació en 1898, cuando no había terminado un siglo de guerras y frustraciones. Creció durante la hegemonía conservadora, con la que se construía un proyecto de país basado en un modelo centralista en extremo, ligado a la Iglesia católica y unificado por el idioma español.

Con la llegada de los liberales al poder en los años treinta, personificados por Enrique Olaya Herrera, la República Liberal cambió el modelo de la educación pública y, a través de ésta, comenzó una mínima movilidad social. Quedó atrás el siglo XIX y una nueva era se evidenció en sitios como Bogotá, donde los colegios y la universidad les dieron a muchos colombianos, que no las habían tenido, oportunidades que antes eran exclusivamente para las élites. Un ejemplo de esto es el establecimiento en 1913, por parte de los sacerdotes lasallistas, del Instituto San Bernardo, donde se impartía educación técnica en un entorno académico eminentemente católico, para la formación de obreros y técnicos calificados, por supuesto de origen popular.

Gaitán nació en un singular hogar del barrio Las Cruces, en las faldas de los cerros tutelares de Bogotá, Monserrate y Guadalupe, habitado fundamentalmente por obreros y artesanos, pero con un reciente pasado de clase media. Las dificultades económicas obligaron a la familia Gaitán Ayala a mudarse al barrio Egipto, éste sí un barrio ancestralmente popular. Su madre, maestra de escuela, y su padre, librero, con pocos recursos económicos, lo impulsaron a educarse en pequeños colegios del sector central de la ciudad, donde ya comenzó a destacarse como líder. Gaitán se graduó de abogado de la Universidad Nacional y de ahí saltó a la vida pública. “Gaitán escogió el derecho penal. La profesión parecía idealmente apropiada a sus aptitudes oratorias...”<sup>3</sup>. En su formación profesional y política fue decisivo un viaje a Italia a especializarse, viaje que vale la pena explorar más adelante.

Ya como político y hombre público, entre los cargos que Gaitán desempeñó estuvieron los de alcalde de Bogotá y ministro de Educación. Vale la pena resaltar que esta cartera ha sido históricamente de las más inestables de Colombia. Hasta el 2002 un ministro alcanzaba apenas un promedio de dos años en el cargo. Se puede especular que muchos usaron esta cartera como punto de partida de una carrera política de alto nivel. El más célebre ministro, quizás, fue Luis Carlos Galán, otro mártir de la nación. En el caso de Galán, la anécdota es que lo nombraron ministro antes de haberse graduado, por lo que habría tenido que firmar su propio diploma como ministro, cosa que nunca hizo.

2. Antonio Caballero (1998). *El hombre que inventó un pueblo. El saqueo de una ilusión*. Bogotá: Número Ediciones.

3. Herber Braun (1998). *Mataron a Gaitán*. Bogotá: Grupo Editorial Norma.

A Gaitán lo destituyeron del cargo de alcalde a causa de una huelga de taxistas, lo que resulta contradictorio pues fue este gremio, esencialmente popular, el que acabó con su mandato. Vale recordar que en esa época el cargo de alcalde no era de elección popular sino de libre nombramiento por parte del presidente.

La vida profesional de Gaitán no se limitó a la política, pues ejerció su profesión de abogado, con lo que alcanzó reconocimiento. Su viaje a Italia fue, precisamente, para continuar con sus estudios en derecho penal, y no sólo le permitió profundizar y especializarse en este campo sino que le facilitó descubrir y empaparse de lo que se vivía en el mundo europeo; esa experiencia también le abrió puertas en Colombia al volver con un título muy difícil de lograr por personas con un origen humilde como el suyo. "... realizó su sueño de viajar a Roma para estudiar con su mentor, Enrico Ferri, cuyas ideas había defendido...". "Gaitán era el segundo abogado colombiano –el primero había sido el político liberal Carlos Arango Vélez– que estudiaba con el eminente jurista. Pero tuvo un éxito sin precedentes"<sup>4</sup>.

Gaitán lograba así lo que sólo podían permitirse las elites bogotanas, cuyos hijos se formaban en Estados Unidos o en Europa.

Ser testigo de lo que estaba sucediendo en Europa le ayudó a definir su posición política entre quienes querían mantener el *statu quo* y quienes querían cambiar el rumbo del país.

En Italia vio el surgimiento de Benito Mussolini y pudo observar cómo el poder de la palabra movía y alentaba a las masas. Para cautivar a la muchedumbre, la oratoria, ampliada e impulsada por la revolución tecnológica que significó la aparición de la radio, ya no se reducía a los escenarios de la plaza pública. Las voces que transmitían las ideas con emoción ya retumbaban en el interior de los hogares, estrechando los vínculos entre los líderes y el pueblo. También en Europa, Gaitán fue testigo de cómo se instauraban los regímenes fascistas y comunistas, que redefinieron en los países nuevos conceptos de nación. Así mismo, pudo presenciar las maneras como ambas ideologías ejercían un control absoluto sobre las masas. Figuras como Hitler y Mussolini pudieron influir en Gaitán como hombre público, ya que estos dos caudillos se podían ver como ejemplo de

hombres que, sin provenir de familias nobles ni pertenecer a elites sociales, económicas y políticas, lograron captar la atención de las masas y ganarse su apoyo. "Gaitán formaba parte de un fenómeno universal, naturalmente. Pero en Colombia las cosas sucedieron de otro modo por una razón: que hasta entonces aquí no existía el pueblo"<sup>5</sup>.

Gaitán, a ojos de las elites tradicionales, encarnaba y representaba el ascenso y la imposición de una figura de origen popular. Por esa razón lo llamaban despectivamente el "negro" o el "indio". Sin embargo, hasta cierto punto, jugó con las reglas de las elites: tuvo formación universitaria y se educó en el exterior, logró experiencia y reconocimiento profesional, y se casó con una mujer de condiciones económicas y sociales diferentes de las suyas, una "niña bien", pero por más que hiciera todo esto y hasta pareciera que lo recibían en sus círculos, Gaitán siempre fue excluido. Vivió cerca de la elite, quizás logró entrar a sus casas y a sus clubes, pero nunca fue verdaderamente aceptado y considerado un igual. "Era un mestizo, como tantos otros que han llegado a ser de nuestra clase dirigente, un hombre público que se hizo a sí mismo. Lo que no le perdonaban en los salones no era su sangre india, pues en Colombia cualquiera la tiene, sino haber sido fiel a esos orígenes..."<sup>6</sup>.

Sus posiciones políticas le ganaron el favor de las masas populares hasta el punto de ser elegido el candidato con más opción para ser presidente, pero no le permitieron alcanzarlo. A ojos del pueblo, él representaba la esperanza de romper las estructuras tradicionales que regían la sociedad colombiana. Ellos no lo veían como uno más de esa élite excluyente, sino como uno de "ellos", del pueblo que es la base de Colombia, siempre marginado y olvidado. La situación política de Gaitán era contradictoria, pues él era, a un mismo tiempo, la oportunidad del pueblo y la amenaza de las elites.

"Por medio de la oratoria en el Congreso y en las plazas públicas los políticos intentaron forjar un sentimiento de comunidad, al infundir en sus oyentes virtudes morales y pensamientos nobles"<sup>7</sup>. Pero Gaitán, con su oratoria, que era parte del oficio y que sin duda

4. *Ibid.*

5. *Ibid.*

6. William Ospina (1998). La persistencia de un día tremendo. *El saqueo de una ilusión*. Bogotá: Número Ediciones.

7. Herbert Braun (1998). *Op. cit.*



perfeccionó en sus años europeos, y su propuesta algo ambigua y polifacética, no sólo conquistó a las masas sino que les mostró a las oligarquías un poder nunca antes visto en el escenario político del país. Mediante la palabra, y a través de él mismo como figura, dejó de ser un individuo y se convirtió en un movimiento, y más que eso, se convirtió en un pueblo. “Al Duce italiano le copió Gaitán gestos histriónicos, tics de orador, frases enteras: ‘Si avanzo, seguidme; si me detengo, empujadme; si retrocedo, matadme’ ”<sup>8</sup>.

En las esquinas, en las plazas, en las marchas y desde la radio, Gaitán estaba presente. Él era el pueblo: esa era su fortaleza y su debilidad. Sin Gaitán no habría pueblo que tuviera un significado político.

Al decir que era polifacético se hace referencia a su política incierta y a sus múltiples caras como caudillo. En la prensa de la época, en una caricatura destacada por el historiador Herbert Braun, vemos cómo Gaitán iba de una idea a otra, de acá para allá, y cómo se podía poner diversas caras políticas.

“La incertidumbre que Gaitán creaba llevó a muchos a concluir que, más que un ser humano digno de fe, era un manojo de impulsos contradictorios e incontrolables”<sup>9</sup>.

Sin embargo, Gaitán fue un político que llegó a su cúspide en los años treinta y cuarenta, cuando el planeta entero se sumergía en la Segunda Guerra Mundial, en la que se enfrentaban demócratas, nazis, fascistas y comunistas. Al mismo tiempo, Gaitán era ese “otro” que estaba tomando demasiada fuerza en el ámbito político colombiano y que generaba temor a quienes estaban en el poder. De nuevo Braun hace alusión, a través de una caricatura, al Gaitán salvaje, que, con su pueblo gaitanista, amenazaba con destronar el *statu quo*.

Como se ha dicho innumerables veces, el asesinato de Gaitán ese 9 de abril de 1948 partió en dos la historia de Colombia, y aunque su autor o autores siguen siendo un misterio, los sucesos que desencadenó no habían tenido precedentes ni se han repetido en la historia del país. Su muerte fue la del caudillo de un pueblo sumido en la inequidad y la violencia, y que se identificaba con él. También fue la muerte del pueblo que reclamó justicia y buscó venganza. El crimen y sus consecuencias

alteraron el orden político y social para siempre. No fue una revolución, aunque tuvo el potencial. Fue más un profundo dolor que se expresó a través de la violencia, y se convirtió en un saqueo descontrolado y anárquico, pues al morir Gaitán no hubo líder que lo remplazara.

Es importante ver cómo el 9 de abril elevó a Gaitán de político y candidato presidencial a víctima, a icono inmolado. Gaitán fue sacrificado por unas fuerzas invisibles y su pueblo lo vengó. Esa venganza se tradujo más que todo en la destrucción del centro de Bogotá, y el reflejo del caos e inmadurez del pueblo fue evidente. Y a pesar de todo, las elites continuaron en el poder.

Pero los sucesos del 9 de abril tienen consecuencias más profundas que la sangrienta y desordenada revuelta. Hay placas y recordatorios en las calles. Se enseña en el colegio. Se han publicado numerosos libros sobre el suceso. Se han hecho películas y escrito novelas. Y la ciudad cambió para siempre. “El viejo centro urbano colonial debía readecuarse para permitir la entrada del capitalismo financiero...”<sup>10</sup>. Si miramos el desarrollo urbano de Bogotá, vemos cómo los ricos se reubicaron huyéndoles a los pobres y así la ciudad rompió exponencialmente con sus límites tradicionales. El pueblo, con su rabia y frustración, estaba en Bogotá y la violencia política, que era algo que se vivía en las provincias remotas, se sintió en la capital.

¿Qué nos queda de Gaitán a los colombianos? Los recuerdos de los abuelos, algunas anécdotas, sus discursos que pocos repiten y una nostálgica duda de “¿qué habría sido de Colombia si no hubiera muerto el caudillo?”. Gaitán es un anhelo frustrado y por eso se convirtió en un sueño en el que tal vez las cosas hubieran cambiado. Lo mismo ocurrió con Galán cuatro décadas después. En los dos casos quedamos suspendidos en el clímax de la historia cuando el héroe, a punto de lograr su objetivo, es derrotado. Pero hay que ser realistas. Que las cosas habrían sido diferentes si “el otro” hubiera llegado al poder es mera suposición, porque no se puede saber qué habría hecho.

Por ahora, cada vez que tengamos un billete de mil pesos en mano recordemos que en ese pequeño objeto hay una representación y un discurso de nuestra historia.

8. *Ibid.*

9. *Ibid.*

10. Carlos Niño Murcia (1998). Levantar la ciudad moderna sobre los escombros del pasado. *El saqueo de una ilusión*. Bogotá: Número Ediciones.

# REVISTA 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](mailto: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](mailto: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).



**Confía en 4-72,**  
el servicio de envíos  
de Colombia

Línea de atención al cliente:  
**(57 - 1) 472 2000 en Bogotá**  
**01 8000 111 210 a nivel Nacional**

.....

**[www.4-72.com.co](http://www.4-72.com.co)**