

ESPECIAL

- Gestión de la seguridad vial (norma ISO 39001:2012).
- La importancia del factor humano en la explicación de los accidentes de tránsito.
- Infraestructura segura.
- Cuantificación de la probabilidad o chance de evitabilidad en un accidente de tránsito cuando se supera la velocidad límite en un tramo vial.
- Seguridad activa y seguridad pasiva, sistemas fundamentales en un vehículo de hoy.
- Investigación de los accidentes de tránsito: la tentación de la infalibilidad o la crisis de la evidencia.
- Programa de educación en seguridad vial apoyado en la herramienta didáctica Sistema Simulador Universal de Accidentes de Tránsito (SSUAT).
- Planteamiento y desarrollo metodológico de la macromedición en acueductos urbanos.
- Sistema aeropónico automatizado para la producción de hortalizas.
- Diseño geotécnico de cimentaciones aplicando factores de carga y resistencia (LRFD).

ESCUELA
COLOMBIANA
DE INGENIERÍA
JULIO GARAVITO

REVISTA DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE
Ingeniería

102

Abril - junio de 2016

ISSN 0121-5132

P.V.P. Colombia \$12.000,00

02



Tarifa postal reducida N.º 2016-107 4-72

Servicios Postales Nacionales S.A.

Vence 31 de diciembre de 2016 - ISSN 0121-5132

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
BOGOTÁ, D.C., COLOMBIA

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

5 / EDITORIAL

Tercer Seminario Internacional de Accidentología Vial

Santiago Henao Pérez

7-14

Gestión de la seguridad vial (norma ISO 39001:2012)

Miguel Guzmán Negrete

La norma ISO 39001:2012 en seguridad vial es una norma muy noble, pues en su implementación se genera un círculo virtuoso de gana gana para todos.

15-22

La importancia del factor humano en la explicación de los accidentes de tránsito

José Ignacio Lijarcio Cárcel - Luis Montoro González

Los accidentes de tránsito causan aproximadamente 1,2 millones de muertes en todo el planeta, convirtiéndose en un problema de salud internacional, según informa la Organización Mundial de la Salud.

23-35

Infraestructura segura

Maritza Cecilia Villamizar Roperó

En este artículo se habla de la infraestructura segura: las carreteras; los elementos que hay que tener en cuenta en la infraestructura, las medidas para el diseño y el equipamiento de carretas seguras, y se evalúa la relación de las posibles medidas de seguridad vial para solucionar los tipos de accidentes más frecuentes.

37-41

Cuantificación de la probabilidad o chance de evitabilidad en un accidente de tránsito cuando se supera la velocidad límite en un tramo vial

Alejandro Rico León - Diego López M.

El presente artículo concreta y parametriza técnicamente la situación específica del análisis de evitabilidad de un accidente de tránsito en el que la velocidad de circulación del vehículo se constituya como la hipótesis del evento y pueda llegar a ser la causa de éste.

43-48

Seguridad activa y seguridad pasiva, sistemas fundamentales en un vehículo de hoy

Francisco Pulido Varón

En el presente artículo primero se mira la evaluación de los vehículos a lo largo de la historia y sus elementos, para luego encadenarlos con la seguridad activa y la seguridad pasiva de los vehículos y de las motos.

49-54

Investigación de los accidentes de tránsito: la tentación de la infalibilidad o la crisis de la evidencia

Juan Martín Hernández Mota

Dos son los caminos que permiten analizar en este artículo la importancia de la adecuada formación científica en la materia forense de los accidentes de tránsito: el

primero consiste en seguir de cerca el egreso de nuevos expertos y su rápida inserción en el ámbito forense para la resolución de un hecho accidentalógico; el otro es teórico, lo que implica hacer referencia a los métodos de investigación que dichos expertos utilizan.

55-62

Programa de educación en seguridad vial apoyado en la herramienta didáctica Sistema Simulador Universal de Accidentes de Tránsito (SSUAT)

Santiago Henao Pérez - Maritza Cecilia Villamizar Roperó

En este artículo se presenta una propuesta de enseñanza de la seguridad vial, vista como una enfermedad de interés en salud pública como bien lo plantea la Organización Mundial de la Salud (OMS).

63-68

Sistema aeropónico automatizado para la producción de hortalizas

Nicolás Rubio Forero - Daniel Andrés Vega Castro

Con el fin de evaluar la producción de lechuga verde crespita (*Lactuca sativa* L.) se desarrolló una investigación pionera de tipo descriptivo, en la cual se evaluó la variable referente al peso en fresco como indicador de productividad y se realizó cálculo de asimilación de CO₂ de la estructura como estrategia para la mitigación de aspectos asociados al cambio climático.

69-77

Planteamiento y desarrollo metodológico de la macromedición en acueductos urbanos

Héctor Alfonso Rodríguez Díaz - Mauricio Cruz Gómez

Aquí se presentan los procesos o desarrollos metodológicos de la macromedición en un sistema de acueducto urbano, desde los puntos de vista de implementación, mantenimiento y aseguramiento de la calidad, selección de equipos y procesamiento de la información de datos.

79-92

Diseño geotécnico de cimentaciones aplicando factores de carga y resistencia (LRFD)

Carlos A. Arias V. - Jorge E. Durán G.

En este artículo se explora la aplicación en Colombia de métodos estadísticos en el diseño geotécnico de cimentaciones, específicamente el método de diseño por confiabilidad llamado *Load and Resistance Factors Design* (LRFD), el cual se ha incorporado en las normas de diseño de Estados Unidos y de Europa.

93 / ALCANCE Y POLÍTICAS

Gestión de la seguridad vial (norma ISO 39001:2012)

Road traffic safety management systems (ISO 39001:2012)

MIGUEL GUZMÁN NEGRETE

Director del área de Seguridad Vial. Cesvi México.

mguzman@cesvimexico.com.mx

Recibido: 31/03/2016 Aceptado: 10/04/2016

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

Resumen

La gestión de la seguridad vial es prácticamente el marco regulatorio que permite contar con la institucionalidad suficiente para poder realizar las acciones necesarias en pro de la prevención de accidentes de tránsito. La norma ISO 39001:2012 en seguridad vial es una norma muy noble, pues en su implementación se genera un círculo virtuoso de gana gana para todos, ya que gana la organización al bajar los costos de operación, ganan los integrantes de la organización al reducir el riesgo, gana la sociedad al contar con empresas y personas que circulan todos los días por las calles y carreteras con mayor seguridad, generando una cultura organizacional de seguridad vial en la prevención de accidentes, teniendo presente que no es garantía de que la empresa ya no enfrentará accidentes, dado que el riesgo siempre va a estar latente, pero sí se garantiza que se tomarán acciones mediante las lecciones aprendidas para minimizar o evitar, en la medida de lo posible, que se vuelvan a presentar accidentes del mismo tipo.

Palabras claves: seguridad vial, prevención, implementación y accidentes.

Abstract

Road traffic safety management is the regulatory framework that allows for enough institutionalism to be able to execute the necessary actions for preventing traffic accidents.

ISO 39001:2012 for road traffic safety is a truly noble standard, because its implementation generates a win-win situation for everyone involved. In other words, the organization wins by lowering operating costs; organization members win by reducing the risk; society wins by having companies and people using roads and streets more safely. All of the aforementioned generates an organizational culture of road safety for accident prevention; this does not guarantee that accidents will not occur, risk is always latent, but it does assure that the lessons learned will promote actions to minimize or avoid, as much as possible, the repetition of similar accidents.

Keywords: road traffic safety, prevention, implementation, accidents.

INTRODUCCIÓN

Hace 18 años, al comenzar a dar cursos de manejo defensivo a empresas con una flota de vehículos, nos dimos cuenta que lográbamos reducir la cantidad de accidentes entre un 20 y 30 %; sin embargo, el efecto del curso se diluía más o menos al año de haberlo impartido. Al reflexionar al respecto, después de varios años de experiencia y de haber trabajado con un número importante de compañías, nos dimos a la tarea de generar la primera solución para las empresas que cuentan con una flota de vehículos y redactamos el “Manual de seguridad vial: plan integral de seguridad vial”, el cual contiene las mejores prácticas y las lecciones aprendidas de las empresas interesadas en controlar la cantidad de accidentes de tránsito.

El objetivo del manual es implementar las mejores prácticas en las compañías que poseen una flota de vehículos en temas de seguridad vial, logrando con esto la reducción de entre el 20 y 50 % de accidentes de tránsito, pero ahora de manera constante, ya que el efecto del trabajo no se diluía sino que quedaban establecidos diversos procesos en la organización. Sin embargo, también sufrimos algunos fracasos en la implementación de estos planes integrales de seguridad vial, pues nos dimos cuenta de que si no se tiene el apoyo de la alta dirección de la organización y de un líder responsable de hacerle seguimiento al plan y de impulsarlo, éste tiende a fracasar rotundamente.

El apoyo de la alta dirección y la asignación de un líder responsable se pueden traducir en la piedra angular de un sistema de gestión de seguridad vial.

Efectivamente, nos hemos percatado de que la gestión es un pilar fundamental para reducir o controlar el riesgo de accidente de tránsito, no sólo en las empresas que cuentan con una flota de vehículos sino para gobiernos o instituciones interesadas en ese aspecto.

Al mismo tiempo que seguíamos implementando el plan integral de seguridad vial, nos dábamos cuenta de la gravedad del problema de accidentalidad, pues se estima que cada año, en las vías públicas del mundo, alrededor de 1,2 millones de personas mueren y entre 20 y 50 millones sufren lesiones, cifras que van en aumento, y cuyo impacto socioeconómico y de salud es muy significativo.

Ante tal pandemia, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) impulsa la Década de Acción para la Seguridad Vial para el periodo 2011-2020. La iniciativa

de la ONU, cuyo objetivo es frenar el aumento global del número de víctimas por los accidentes de tránsito, consta de cinco pilares estratégicos, siendo el primero de ellos “La gestión de la seguridad vial”.

¿QUÉ ES LA GESTIÓN DE LA SEGURIDAD VIAL?

Es fundamental conocer muy bien el concepto de gestión de la seguridad vial, ya que en general es el marco regulatorio de un sistema. De la buena o mala gestión se pueden obtener buenos o malos resultados.

La gestión de seguridad vial, ya sea gubernamental, de empresa privada o de cualquier institución, tiene como misión la coordinación y unión de todos los involucrados en el sistema, así como la elaboración de estrategias, planes y metas, dirigiendo su ejecución, recopilando datos, investigando los factores de riesgo en el sistema, proponiendo planes de acción y vigilando la ejecución y su eficacia, todo con la convicción de reducir al máximo los riesgos en la generación de accidentes de tránsito.

Si hablamos de la gestión de la seguridad vial a escala nacional, esto se debe traducir en el deber que tiene cada país de disponer de una agencia nacional que realice las actividades anteriormente mencionadas, y si hablamos de la gestión en las empresas de transporte estamos hablando de que se debe tener en cada organización una persona o un área responsable del sistema de gestión que haga las funciones antes mencionadas en una empresa.

¿CÓMO SE LOGRA CONTAR CON UN SISTEMA DE GESTIÓN EN SEGURIDAD VIAL QUE CUMPLA CON SU MISIÓN?

Hoy en día, ya hay casos de éxito de sistemas de gestión en seguridad vial que han tenido muy buenos frutos tanto en empresas como en países.

Los casos de Suecia y España son apenas un par de ejemplos relevantes en los que se han conseguido buenos resultados. Cuando pregunté en una conferencia a uno de los impulsores de la Visión Cero accidentes en Suecia el motivo que los había llevado a impulsar acciones para reducir el número de muertos por hechos de tránsito, su respuesta fue: “Teníamos una demanda importante de petróleo y entonces se empezó a extraer, y el mismo impulso generó que la flota vehicular se

incrementara, por lo que se empezó a aumentar la cantidad de muertos por accidentes; por esto se pusieron en la tarea de reflexionar y ver cómo podrían atacar el problema, entonces a grandes rasgos se dieron cuenta de que el ser humano es imperfecto, por lo que está propenso a cometer errores, entonces se dieron a la tarea de disminuir el riesgo, y entonces comenzaron a impulsar la fabricación de vehículos más seguros, la construcción de carreteras más seguras, además del impulso de aspectos cívicos en su nivel básico de escuela; de ahí empezó entonces lo que hoy es la Visión Cero muertes por hechos de tránsito terrestre, política que ha sido la punta de lanza para realizar acciones a escala mundial. El caso español es un tanto diferente, pues España empezó con actividades relativas a la prevención de accidentes de tránsito a raíz de su inclusión en la Comunidad Económica Europea.

Como vemos, existen antecedentes importantes para la prevención de accidentes, pero ¿qué pasa cuando lo comparamos con Latinoamérica? Hay una gran distancia, pues mientras en dichas latitudes hablan de visión cero, en Latinoamérica, si bien es conocido el concepto, falta mucho por hacer en todos los sentidos, pero hay uno en particular que habría que empezar por trabajar si queremos reducir los muertos por accidentes: romper los paradigmas en seguridad vial que tiene nuestra cultura latina.

En general, existen tres tipos de paradigmas que se deben romper para establecer una cultura de la seguridad vial, ya sea en un país o en una empresa o institución, y son paradigmas personales, de organización y de país.

En muchas ocasiones escuchamos decir a los conductores latinos “No me pongo el cinturón porque se traba”, “Manejo mejor borracho”, “Llego en la mitad del tiempo”, “Puedo hablar por teléfono y conducir al mismo tiempo”, etc. Esto refleja una gran desinformación, así como falta de cultura y educación en seguridad vial.

Por otra parte, es común escuchar, por ejemplo, “No hay que hacer más grande la burocracia”, “Es complicado convencer al político”, “Los conductores ya deben saber conducir”, “Estoy para contar accidentes”, “No tengo conductores para programar descansos”, “¿Puedes hacer el traslado de mercancía en las condiciones en las que estás o traigo a otro?”, etc. Muchas veces se tienen sistemas reactivos, creemos que el accidente se presenta como algo normal dentro de nuestra

operación o dentro de nuestra vida misma, cuando el accidente es fortuito e imprevisto; el llamado accidente es la consecuencia de un proceso que comenzó mal o que se desarrolló mal en algún punto del proceso, por lo que se debe comprender que en muchas ocasiones las decisiones de escritorio pueden influir en la generación de lamentables hechos de tránsito, por lo que no sólo es responsabilidad del conductor sino de toda la organización.

De la misma forma, tenemos los paradigmas de país; en este aspecto es importante considerar algunos factores, como que las calles y carreteras de la mayoría de los países latinos se encuentran con áreas de oportunidad desde su superficie hasta su diseño; además, el parque vehicular no cuenta en muchos casos con elementos básicos de seguridad, se carece de buenos sistemas de control vehicular y de la implementación de las sanciones correspondientes. Por otra parte, a los latinos nos gusta tener siempre la razón y no respetar la ley, hay poco trabajo en equipo, se dejan las cosas para lo último y no hay una cultura de la prevención; por lo general, somos más bien reactivos a las situaciones. Aquí también existe un reflejo de lo mucho que hay que hacer para ir cambiando la idiosincrasia y poder implementar cada vez mejores prácticas de seguridad.

Para poder contar con un sistema de gestión eficiente, una de las actividades fundamentales consiste en hacerles seguimiento a las actividades que irán rompiendo todos estos paradigmas.

En general, un sistema de gestión no ofrece fórmulas mágicas ni da resultados por sí solo. Lo único que da resultado es el trabajo constante y metódico, a través de la concientización de la sociedad en general.

GESTIÓN DE LA SEGURIDAD VIAL EN LOS GOBIERNOS

Cada vez más países latinoamericanos cuentan con su agencia nacional de seguridad vial, lo cual es muy benéfico porque esta entidad se encarga de gestionar todos los esfuerzos de los niveles de gobierno y los sectores para mejorar la seguridad vial. En el caso de los países que no cuentan con su agencia, es fundamental considerar establecerla lo antes posible, ya que de lo contrario todos los esfuerzos por reducir la cantidad de accidentes y muertos por hechos de tránsito estarán dispersos y los efectos de las acciones no se valorarán adecuadamente.

En general, es fundamental que las agencias de seguridad vial impulsen algunos puntos importantes, tales como:

- La administración de los recursos para fomentar una mejor cultura de seguridad vial.
- La creación de un observatorio nacional de lesiones y de observatorios estatales que permitan recabar datos objetivos relacionados con los accidentes y sus efectos, tanto materiales como humanos.
- Es deber de las agencias de seguridad vial generar la estrategia nacional, así como darle impulso y hacerle seguimiento de cumplimiento.
- Realizar acciones enfocadas en la sensibilización y formación de la sociedad en general en materia de educación vial, por lo que son las responsables de la generación de campañas, formación de la sociedad y publicación de buenas prácticas en seguridad vial.
- Estimular la investigación y divulgación en seguridad vial, así como el impulso de redes de especialistas en el tema.

LA GESTIÓN DE LA SEGURIDAD VIAL EN EL SISTEMA DE GESTIÓN ISO 39001:2012

La norma internacional al respecto se publicó en 2012, en parte para apoyar la década de la seguridad vial 2011-2020 y suministrar una herramienta que ayude a las organizaciones a reducir, y en última instancia a eliminar, la incidencia y el riesgo de las muertes y heridas graves derivadas de los accidentes de tráfico. Dicha norma identifica los elementos de buenas prácticas de gestión de la seguridad vial que permiten a las organizaciones alcanzar los resultados deseados. Además, especifica los requisitos para implantar un sistema de gestión de la seguridad vial que permita a una organización interactuar con el sistema vial para reducir las muertes y heridas graves derivadas de los accidentes de tránsito*.

Beneficios de la norma ISO 39001:2012

- Ayuda a disminuir los costos y elevar la productividad.
- Ayuda a minimizar las lesiones y salvar vidas por accidentes de tránsito.
- Mejora la imagen de las empresas y crea un impacto positivo con los demás usuarios de la vía.

- Implementa un sistema de gestión de la seguridad vial.
- Refuerza la posición en el ámbito de la responsabilidad social corporativa.

Organizaciones que pueden aplicar la norma ISO 39001:2012

La norma es aplicable a todas las organizaciones, sin importar el tipo, tamaño o servicio prestado, siempre y cuando pretendan:

- Bajar sus gastos por concepto de accidentes.
- Reducir su índice de siniestralidad.
- Mejorar su desempeño en seguridad vial.
- Establecer, implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión de seguridad vial.

Sin importar su tamaño o giro, todas las organizaciones interactúan con el sistema vial; por tanto, si así lo desean y adquieren este gran compromiso, pueden implementar un sistema de gestión para la seguridad vial. Algunos ejemplos de empresas que pueden aplicar la norma ISO 39001:2012 son:

- De transporte de carga: general, especializada, paquetería, materiales peligrosos, etc.
- De transporte de pasajeros: de servicio público, turismo, transporte de personal, etc.
- Organizaciones con una flota de vehículos propia.

¿En qué consisten los sistemas que están cobijados por la norma ISO 39001:2012?

El sistema de gestión de seguridad vial, cobijado por la norma ISO39001:2012, es una herramienta que permite a las organizaciones gubernamentales o privadas que interactúan con el sistema vial reducir las muertes y heridos graves que se presentan en los accidentes de tránsito.

Como todas las normas ISO, la 39001:2012 está basada en el ciclo de mejora continua, lo que incluye las cuatro etapas características: *Planificar, Ejecutar, Verificar y Actuar*.



Figura 1. Ciclo de mejora continua.

Etapa de planificación de la ISO 39001:2012

Una piedra angular para que el sistema de gestión en seguridad vial ISO 39001:2012 funcione es el establecimiento del compromiso y liderazgo por parte de la alta dirección, ya que además de definir la política en seguridad vial, deberá también establecer los roles, responsabilidades y presupuestos dentro del sistema de gestión de la seguridad vial.

Se debe hacer un diagnóstico en seguridad vial que permita establecer la situación de partida de la organización mediante la identificación de su contexto; para realizar el diagnóstico es fundamental conocer a grandes rasgos las actividades de la empresa.

Es de suma importancia encuadrar el alcance del sistema de gestión de la seguridad vial, con la finalidad de poder establecer el plan de trabajo y los compromisos tanto de la alta dirección en cuanto a presupuestos como en la operación del sistema, además de poder establecer la estrategia que había que seguir dentro de la organización.

Es necesario identificar el ámbito de influencia de las partes interesadas, así como conocer sus expectativas y necesidades en prevención de accidentes.

Es fundamental hacerle seguimiento al desempeño en seguridad vial de la organización, por lo que se deben establecer indicadores que midan los objetivos que pretende alcanzar la organización de los riesgos detectados y sus respectivas oportunidades, planificando e implementando los respectivos planes de tratamiento; los indicadores estratégicos que se deben establecer son:

- Indicadores de exposición al riesgo
Por ejemplo: kilómetros recorridos por mes o número de entregas realizadas por vehículo.
- Indicadores intermedios de resultado
Por ejemplo: velocidad promedio de la flota y por vehículo o número de vehículos con mantenimiento realizado durante el mes.
- Indicadores finales de resultado
Por ejemplo: número de muertos, heridos leves y graves

Etapa de ejecución en la norma ISO 39001:2012

Una de las funciones primordiales de la alta dirección es proporcionar los recursos necesarios para realizar las acciones que permitan llegar a los objetivos planteados, por lo que se tendrá que trabajar en la capacitación y concientización de las personas que intervienen en el sistema, asegurándose de que se cumpla con las respectivas competencias.

La ejecución de la norma contempla sin duda alguna la elaboración y documentación del sistema, que será el marco regulatorio en el que funcionará; sin embargo, es muy importante considerar que la norma es enunciativa mas no limitativa, por lo que es en este punto donde se pueden establecer las condiciones necesarias para que no sólo se haga un sistema que cumpla, sino que se adapte a la organización, que funcione y ayude a la organización.

Aspectos importantes que hay que documentar y a los que debe hacerse seguimiento son los procesos de operación, por lo que, por ejemplo, hay que documentar la autorización de salidas a ruta, mantenimiento y distribución.

Un aspecto particular de esta norma es la generación del proceso de identificación del riesgo, por lo que se deberá definir un método para su identificación y seguimiento; de la misma forma, se solicita que se realice la investigación de los accidentes ocurridos, que se identifique su causa raíz y se generen los planes de acción y seguimiento que se requieran para reducir el riesgo. Otro proceso que también se debe considerar es el de respuesta a emergencias, el cual deberá definir qué hacer en caso de que se presente un accidente, ya sea si es de sólo daños materiales, lesionados o muertos.

Etapa de verificación del sistema ISO 39001:2012

Todas las actividades determinadas dentro del sistema deben ser medibles y auditables. Por tal razón, es fundamental establecer los indicadores, y no sólo los que pide la norma, sino aquellos datos que sean relevantes para la operación y buen funcionamiento del sistema en las partes operativas, como número de cursos impartidos, campañas realizadas, número de conductores detectados con alcohol o drogas, o número de inspecciones en ruta realizadas.

Un elemento que no pide la norma pero que es una buena práctica a escala operacional es el establecimiento de un comité de seguridad vial, que permite la revisión de las acciones que se están realizando en prevención de accidentes, así como la revisión de los choques que se generaron en el mes y sus respectivas acciones correctivas.

Las auditorías internas del sistema son muy eficientes para ir impulsando la mejora continua, por lo que se deben hacer mínimo dos veces al año, pero si se pueden hacer en un menor tiempo sería mucho mejor, sobre todo cuando el sistema está naciendo. En estas auditorías se deben detectar las no conformidades y llevar a cabo las acciones correctivas y preventivas que serán fundamentales para garantizar la mejora continua del sistema.

Para no caer en la ceguera de taller y para obtener la certificación de cumplimiento de la norma, es necesario que se lleven a cabo auditorías de tercera parte, que son revisiones de cumplimiento de la norma por un organismo certificador.

Etapa de actuación del sistema ISO 39001:2012

Al principio de la descripción del círculo de mejora continua se comentó que era fundamental la disposición y liderazgo de la alta dirección. Pues bien, para cerrar el ciclo de mejora continua se debe revisar periódicamente el sistema por parte de la alta dirección, con el fin de analizar los indicadores definidos, así como las acciones realizadas para prevenir accidentes de tránsito; de la misma manera, se establecerán las acciones necesarias para la mejora continua del sistema.

Ahora bien, no se debe pasar por alto que cada acción que se desarrolle en pro de la disminución de accidentes también debe cumplir con el círculo de mejora continua: *Planear, Hacer, Verificar y Actuar*.

Impacto de la implementación de un sistema de gestión en empresas

- Reducción de accidentes, lesionados y muertos.
- Reducción de costos adyacentes a los accidentes.
- Aumento de la productividad.
- Enfoque de sus actividades en mejorar la cultura vial.
- Mejora de la cultura organizacional.
- Mejora de la imagen de la empresa tanto con su personal como con sus clientes.

A continuación se muestran dos casos: uno en el que se tiene ya durante varios años implementado un plan de seguridad vial y otro en el que se está implementando el sistema de gestión ISO 39001:2012.

El primer caso es de una empresa de transporte de carga federal establecida en Monterrey (Nuevo León, México), con 62 años de experiencia en el traslado de paquetería industrial y 42 sucursales a escala nacional. Actualmente cuenta con una flota de 320 unidades, de las cuales 150 son tractocamiones; el resto son vehículos de carga unitarios, cajas secas y camionetas de 3,5 toneladas. Se muestra la siguiente línea de tiempo en la que se pueden apreciar los esfuerzos constantes de la organización para disminuir los accidentes de tránsito, y también se puede ver el efecto del aumento de éstos cuando se ha bajado la guardia.

El segundo caso es de una empresa de transporte de carga federal establecida en la Comarca Lagunera, al noroeste de México, perteneciente a un grupo empresarial con más de 40 años de experiencia en el traslado de mercancía puerta a puerta tanto en carga regular como en servicio especializado. Actualmente posee 62 tractocamiones, en configuración *full*, con los cuales traslada la carga a los siguientes destinos: Chihuahua, Tampico, Durango, Monterrey, Ciudad de México, Querétaro y otros más.

Se inició con la implementación del sistema de gestión ISO 39001:2012 en seguridad vial en octubre de 2015, con el cual empieza una etapa importante dentro de la consultoría: la concientización del personal a través de capacitación y de diversas campañas de seguridad vial; además, se formaron instructores y se generaron los procesos necesarios.

Enseguida se muestran los resultados que a mediano plazo se han alcanzado, pues incluso antes de haber iniciado la implementación de la ISO 39001:2012, tenían

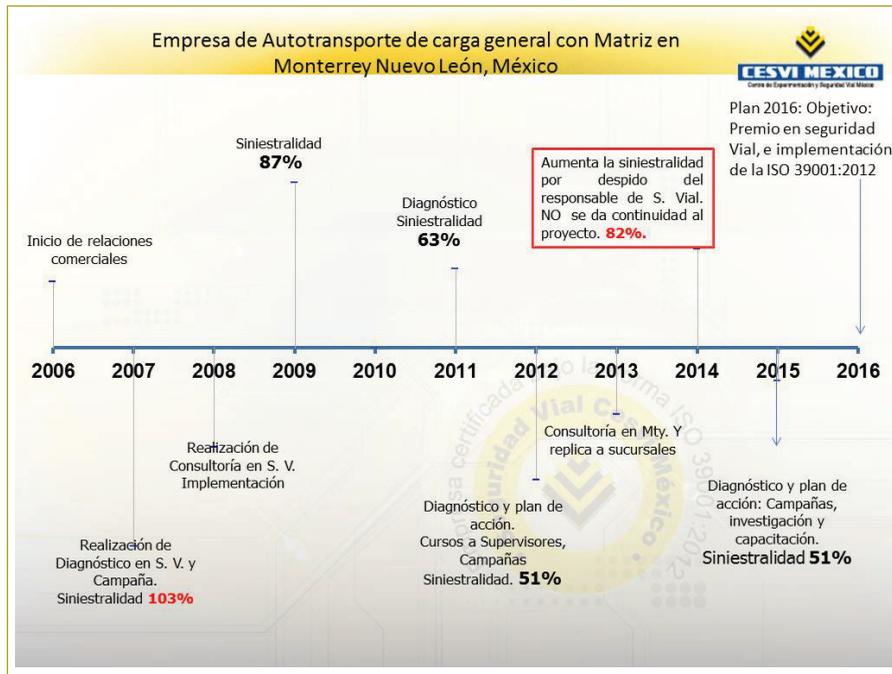


Imagen 2. Línea de tiempo en la que se pueden apreciar los números alcanzados con la implementación de un sistema de gestión en prevención de accidentes.

una siniestralidad del 283 % y a principios de año ya se había logrado reducir a 98 %, lo cual, si bien sigue siendo un porcentaje demasiado alto, también quiere decir que hay una tendencia a la baja. Esto es muy motivante para la organización, pues se tiene la certeza de que trabajando metódicamente se puede cambiar la cultura organizacional y ser cada vez más preventivos.

Aunado al anterior dato, el diagnóstico realizado al principio de la consultoría arrojaba un resultado de

305 puntos en una escala de cero a 1000, en acciones hechas por la compañía en materia de seguridad vial, mientras que a mediados de mayo de 2016 se alcanzó una puntuación de 756, es decir, más del doble de lo que tenían al principio; esto quiere decir que los esfuerzos van por buen camino.

Ahora bien, es importante considerar que la implementación de un sistema de gestión lleva su periodo de maduración. Dependiendo del tamaño de la organización, la construcción del sistema puede tardar entre seis y doce meses, pero ahí hay que seguir trabajando para que el sistema vaya madurando y generando resultados constantes. Montar un sistema maduro llevará entre dos y tres años, y no se deberá bajar la guardia para seguir construyendo una cultura organizacional de prevención de accidentes de tránsito.

Recomendaciones para las empresas interesadas en lograr la certificación en la norma ISO 39001:2012

Las empresas que desean implantar este sistema de gestión deben contar con el firme compromiso de su alta dirección para implementarlo, ya que se deben generar políticas y procedimientos compatibles con los objetivos

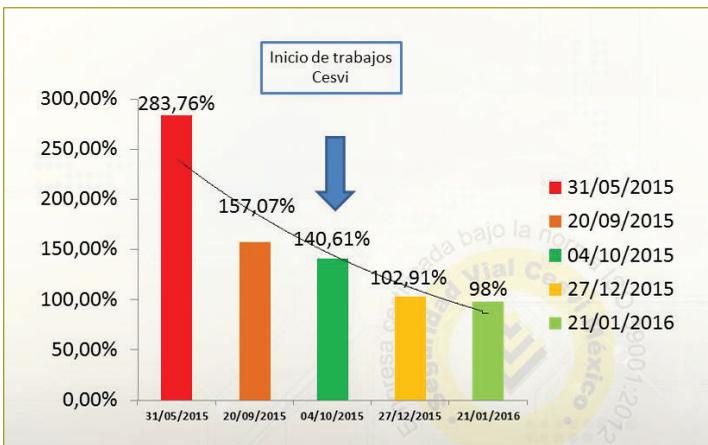


Figura 3. Decremento de la siniestralidad vial.

estratégicos del negocio. Entonces, tendrán que identificar su rol en el sistema vial, así como los procesos, actividades asociadas y funciones de la organización que pueden afectar la seguridad vial.

La ISO 39001:2012 está basada en un sistema de gestión en la misma plataforma de ISO 9001. No es necesario contar con otra ISO, pero si ya se tiene, son compatibles, lo que permitirá desarrollar la implementación de manera más rápida y efectiva.

Se recomienda contar con la asesoría de profesionales en seguridad vial y de calidad para que el sistema que se genere cumpla con lo que pide la norma, pero sobre todo porque verdaderamente ayuda a la organización.

CONCLUSIONES

Las muertes por accidentes de tránsito se han convertido en una verdadera pandemia, razón por la que es clave apearse a la estrategia mundial incentivada por la ONU, en la que el primer pilar del decenio de acción por la seguridad vial es la gestión de ésta.

La gestión de la seguridad vial es prácticamente el marco regulatorio que permite contar con la institucionalidad suficiente para poder realizar las acciones necesarias en pro de la prevención de accidentes de tránsito.

La norma ISO 39001:2012 en seguridad vial es una norma muy noble, pues en su implementación se genera un círculo virtuoso de ganar ganar para todos, ya que gana la organización al bajar los costos de operación, ganan sus integrantes al reducir el riesgo, y gana la sociedad al contar con empresas y personas que circulan todos los días por las calles y carreteras con mayor seguridad.

Gestionar con la ISO 39001:2012 se convierte en un diferenciador ante la competencia, ya que disminuye el riesgo de accidente, por lo que reduce los costos directos e indirectos al respecto; además, aumenta la productividad, puesto que los vehículos están en movimiento y no detenidos, y se establece una mejor cultura organizacional, por lo que mejora la imagen de

la organización ante los empleados, clientes, todas las partes interesadas y la sociedad en general.

En la elaboración de los sistemas de gestión es muy importante contar con un equipo multidisciplinario que esté formado por personal experto en calidad y seguridad vial, y dentro de esta última el abanico de posibilidades en cuanto a perfiles es mayor, ya que puede haber desde médicos o ingenieros, hasta pedagogos o psicólogos.

La implementación de un sistema de gestión lleva a la evolución de una empresa, generando una cultura organizacional de seguridad vial en la prevención de accidentes.

La puesta en práctica de un sistema de gestión ISO 39001:2012 tarda de seis meses a un año, dependiendo de la madurez y lo grande de la organización, y la madurez del sistema, que es cuando empieza a dar frutos constantes, lleva de uno y medio a tres años, por lo que el trabajo constante y metódico es la base para mejorar constantemente.

Implementar la norma ISO 39001:2012 no es garantía de que la empresa ya no enfrentará accidentes, pues el riesgo siempre va a estar latente, pero sí se garantiza que se tomarán acciones mediante las lecciones aprendidas para minimizar o evitar, en la medida de lo posible, que se vuelvan a presentar accidentes del mismo tipo.

BIBLIOGRAFÍA

- Guzmán Negrete, M. (2016). Presentación Sistema de Gestión ISO 39001:2012 en Seguridad Vial. Tercer Seminario de Accidentología Vial. Bogotá: IRS Vial y Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- Guzmán Negrete, M. & Alcántara Rivas, A. (s.f.). Manual de Seguridad Vial: Plan Integral de Seguridad Vial para Empresas de Transporte. México: Cesvi México.
- International Standard ISO 39001:2012 (s.f.). Road Traffic Safety (RTS) Management Systems-Requirements with guidance for use.
- Romero, D. & Alcántara, A. (2015). *Revista Cesvi México*, 39.
- Sminkey, L. (s.f.). Plan Mundial para el Decenio de Acción para la Seguridad Vial, 2011-2020. Liaison Officer, Secretariat, Decade of Action. World Health Organization WHO/VIP.

La importancia del factor humano en la explicación de los accidentes de tránsito

The importance of human factor on explaining traffic accidents

JOSÉ IGNACIO LIJARCIO CÁRCCEL¹ - LUIS MONTORO GONZÁLEZ²

1. Investigador en Seguridad Vial. Universidad de Valencia. Director de Proyectos de la Fundación Española para la Seguridad Vial (Fesvial).

2. Catedrático de Seguridad Vial. Universidad de Valencia. Presidente de la Fundación Española para la Seguridad Vial (Fesvial).

jose.i.lijarcio@uv.es - luis.montoro@uv.es

Recibido: 31/03/2016 Aceptado: 10/04/2016

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

Resumen

Los accidentes de tránsito causan aproximadamente 1,2 millones de muertes en todo el planeta, convirtiéndose en un problema de salud internacional, según informa la Organización Mundial de la Salud (OMS), la cual puso en marcha el Decenio de Acción de Seguridad Vial, con el objeto de reducir a la mitad las cifras de mortalidad en el año 2020. Estos accidentes llevan asociado un gran costo, pues llegan a alcanzar casi el 3 % del PIB de muchos países, así como una reducción de la esperanza y la calidad de vida. El accidente de tránsito no es un proceso fortuito o accidental fruto del destino o del azar, sino que es un problema de salud, prevenible y evitable. De los elementos que conforman el tránsito, vehículo, vía y factor humano, es sobre este último en el que nos centramos desde el punto de vista de la psicología del tránsito para trabajar en los denominados trastornos psicofísicos transitorios, que se encuentran detrás de muchos accidentes de tránsito.

Palabras claves: accidente de tránsito, factor humano, seguridad vial, intervención, trastornos psicofísicos transitorios.

Abstract

Traffic accidents cause about 1.2 million deaths worldwide becoming a global health problem as reported by the World Health Organization, which launched the Decade of Action for Road Safety in order to reduce half traffic fatalities in 2020. These accidents are associated with a high cost reaching almost 3% of GDP in many countries, as well as a reduction in life expectancy and quality. Traffic accidents are not random processes or accidental results of fate or chance, traffic accidents are a health problem, preventable and avoidable. Of the different elements that involve traffic: vehicle, road, and human factor, it is on the latter on which we focus from the point of view of traffic psychology to work on the so-called transient psychophysical disorders behind many road accidents.

Keywords: traffic accidents, human factor, road safety, intervention, transient psychophysical disorders.

LA SEGURIDAD VIAL: LA PANDEMIA DESCONOCIDA

Cada año los siniestros de tránsito causan la muerte de aproximadamente 1,2 millones de personas en todo el mundo y entre 20 y 50 millones de lesionados. Estas lesiones son la principal causa de mortalidad en el grupo de 15 a 29 años y representan el 48 % de las defunciones entre los adultos con edades comprendidas entre los 15 y los 44 años.

Con estas cifras podemos considerar a los traumatismos derivados del accidente de tránsito como una “pandemia”, no por el concepto de enfermedad tal cual lo entiende la medicina tradicional, pero sí porque se extiende por muchos países y afecta a los individuos de diferentes localidades y regiones, causando un gran número de muertes.

Partiendo de la conceptualización pandémica del accidente de tránsito, son escasas las ocasiones en que los agentes o autoridades competentes informan a los ciudadanos antes de realizar un viaje sobre los riesgos viales que tienen los países de destino, aunque éstos registren altas cifras de mortalidad y lesividad vial. En líneas generales, a escala global es mucho más probable ser informado por las autoridades competentes sobre enfermedades “emergentes” o de alta incidencia en la zona de destino, como el caso del virus del zika en América Latina, el virus del Ébola en África Occidental, o los más conocidos, como el dengue, la malaria y la fiebre amarilla, en ciertas regiones de Asia, América del Sur y África Central. Pero si se viaja a uno de los destinos anteriores, ¿cuál sería el mayor riesgo: infectarse

por una de estas enfermedades locales o ser víctima de un accidente de tránsito? Posiblemente, en algunas zonas de estos países la probabilidad de riesgo vial sea mayor que la de riesgo de enfermedad local, ya que el concepto de movilidad y transporte se puede considerar como riesgo ineludible; para viajar hay que desplazarse en algún medio de transporte o incluso a pie como peatón, lo que nos haría ser parte del riesgo, mientras que no en todas las zonas de estos países existe el riesgo de contagio de dichas enfermedades.

Según la OMS, en su informe “Estado de la seguridad vial a nivel mundial” (2015), la probabilidad de mortalidad en accidentes de tránsito a escala internacional también varía de una región del mundo a otra (figura 1), siendo en la actualidad África el país con mayor mortalidad vial con 26,6 por cada 100.000 habitantes.

Con el propósito de mitigar esta pandemia, en 2009 la OMS publicó el primer informe sobre la situación de seguridad vial en el mundo, para el cual reunió información de los estados miembros y diseñó un método normalizado de recopilación de datos, con una serie de indicadores para obtener datos comparables. El resultado de este informe fue la primera evaluación de la seguridad vial a escala mundial, y puso de manifiesto las deficiencias y debilidades que presentaban las políticas, medidas y acciones de los países en esta materia. En el informe se subraya el hecho de que la mitad de las personas muertas por siniestro de tránsito eran «usuarios vulnerables de la vía pública», así como el porcentaje relativamente bajo de países que cuentan con una le-



Fuente: OMS.

Figura 1. Incidencia de la mortalidad de accidentes de tráfico a escala mundial.

gislación global sobre los principales factores de riesgo en materia de seguridad vial, tales como la velocidad, el consumo de sustancias o la utilización de sistemas de seguridad pasiva: casco, uso de cinturón, sistemas de retención infantil, etc.

La seguridad vial y el Decenio de Acción

A la luz de estos resultados obtenidos por la OMS en su informe de 2009, la Comisión de Seguridad Vial Mundial hizo público un llamamiento en favor de un decenio de acción para la seguridad vial, y en noviembre de ese año, el gobierno de la Federación de Rusia acogió la Primera Conferencia Ministerial Mundial sobre Seguridad Vial (Moscú, 19-20 de noviembre de 2009), en cuyo transcurso se aprobó la Declaración de Moscú. En ella se acordaron once líneas generales de acción para el tratamiento de la seguridad vial a escala global.

En marzo de 2010, la Asamblea General de las Naciones Unidas, en su Resolución 64/255, proclamó el periodo 2011-2020 Decenio de Acción para la Seguridad Vial, al tiempo que fijó como objetivo estabilizar y posteriormente reducir las cifras previstas de víctimas mortales en siniestros viales. En respuesta a esta resolución, la OMS preparó un Plan de Acción para el Decenio, en el que se desarrollaron cinco pilares de trabajo (figura 2), para que los países trabajaran iniciativas y legislaciones en este periodo, tanto en el ámbito local como en el nacional, en pro de la seguridad vial.

Con la conformación del Decenio, la OMS, en su *Nota Descriptiva 358*, de septiembre de 2012, afirma que casi la mitad (46 %) de las personas que mueren por traumatismos derivados del tránsito en todo el mundo siguen siendo los “usuarios vulnerables de la vía pública”, que abarcan a los peatones, ciclistas y motociclistas y si no se aplican medidas para evitarlo, se prevé que de



Fuente: www.decadeofactionroadsafety.org.

Figura 2. Pilares de trabajo del Decenio de Acción para la Seguridad Vial, 2011-2021.

aquí a 2020 los siniestros viales causarán cada año 1,9 millones de muertes.

En el tercer Informe de la OMS, publicado en 2015, se presentan datos de más del 90 % de la población mundial, agrupada en 180 países, y se concluye que el número de muertes por accidente de tránsito (1,25 millones en 2013) se está estabilizando, pese al aumento mundial de la población en un 4 % y del uso de vehículos de motor en un 16 %. Esto indica que las medidas de seguridad vial puestas en práctica en los últimos tres años han salvado vidas humanas, aunque no podemos dejar de lado que los accidentes de tránsito siguen representando un importante problema de salud pública, pese a los avances logrados en algunos países, ya que en 2013 solamente el 7 % de los países (28 de ellos en números absolutos) tenían leyes integrales de seguridad vial para la prevención de los cinco factores de riesgo básicos que explican mayor mortalidad y lesividad: el exceso de velocidad, la conducción bajo los efectos del alcohol, no uso del casco de ciclista, del cinturón y de sistemas de retención para niños.

Para cumplir con los objetivos del Decenio y la Agenda de Desarrollo Sostenible para 2030, reduciendo a la mitad el número mundial de muertes y lesiones se deberá acelerar el ritmo de los cambios legislativos y las medidas de intervención, teniendo en cuenta que:

- En los países de bajos ingresos se sigue produciendo el 90 % de las muertes, a pesar de que tienen aproximadamente la mitad de los vehículos del mundo.
- En estos países son las personas de menores estratos las que sufren mayormente las consecuencias.
- La mitad de los muertos siguen siendo los “usuarios vulnerables de la vía pública”, es decir, peatones, ciclistas y motociclistas.
- Si las medidas por aplicar no resultan efectivas en el año 2030, los accidentes de tránsito se convertirán en la séptima causa de muerte en el planeta.

El costo de los accidentes de tránsito

Las lesiones derivadas de los accidentes de tránsito llevan asociado un costo importante, aunque en muchas ocasiones resulta difícil de calcular por el número de variables que hay que considerar y la variabilidad que los precios pueden tener, dependiendo del lugar o país en

que se produzca el accidente. Según datos ofrecidos por la OMS, los accidentes de tránsito cuestan en promedio un 3 % del PIB de los países donde se presentan. Pero no solamente podemos tomar el PIB de un país como indicador del costo de los accidentes de tránsito, pues existen otros indicadores estandarizados de manera internacional que también nos permiten hacer aproximaciones sobre los costos de la accidentalidad; estos son los años potenciales de vida perdidos (APVP), que podremos aplicar a víctimas mortales, y los años de vida adaptados a la discapacidad (AVAD), que podremos aplicar a lesionados graves a causa de accidentes. Los primeros nos dan el resultado del impacto de la mortalidad de personas jóvenes o de fallecimientos prematuros en la sociedad, es decir, el resultado de la pérdida de años de un grupo poblacional frente a la esperanza de vida predeterminada para este grupo. Los segundos nos indican el porcentaje de años de vida ajustados en función de la discapacidad que sufrirá esta persona a causa del accidente.

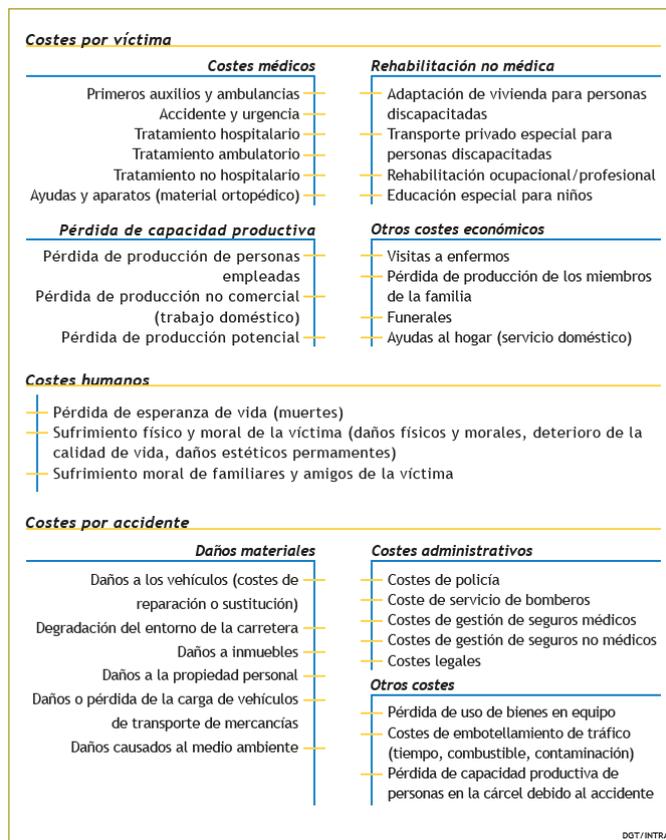


Figura 3. Costos económicos derivados de los accidentes de tráfico.

En el Manual del Formador del Programa Incovía (figura 3) se describen los costos económicos derivados de los accidentes de tránsito, divididos en tres bloques: costos por víctimas, costos humanos y costos por accidente (Montoro et al., 2012).

En Colombia, según datos publicados en el Plan Nacional de Seguridad Vial 2011-2021, los accidentes de tránsito son la segunda causa de muerte violenta en el país y la primera causa de muerte en jóvenes colombianos menores de 30 años. En los últimos diez años (2005 - 2014) en Colombia se han producido 1.836.373 accidentes de tránsito, con un total de 58.121 víctimas mortales y 411.956 víctimas lesionadas. En los últimos años la tendencia de la accidentalidad ha ido en aumento y en el 2014 se cerró con 157.693 accidentes, en los que fallecieron 6.352 personas, lo que supone un incremento del 2,1 % frente a 2013 y un total de 41.452 víctimas lesionadas, un 6,2 % superior con respecto al año anterior.

La revista *Salud Pública* estimó en el año 2011 que el costo promedio de atención por paciente derivado de accidente de tránsito fue de \$1.112.000. El costo promedio de hospitalización por paciente y día fue de \$1.200.000. Las víctimas de accidentes con atención ambulatoria tuvieron un costo promedio de \$247.400. El costo promedio por accidente se calculó en \$2.333.700. Los costos médicos por accidentes en el periodo de análisis en Bogotá fueron aproximadamente \$2.301.028.200 (cifras en pesos colombianos de 2011).

EL CONCEPTO DE ACCIDENTE

En el *Diccionario de la lengua española* se hace referencia a la palabra *accidente* (del latín *accidens*) como algo que sucede o surge de manera inesperada, ya que no forma parte de lo natural o lo esencial de la cosa en cuestión. En el ámbito social, el accidente de tránsito también es atribuido a algo inesperado o azaroso, repentino, lo que según estos calificativos serían sucesos fortuitos, incontrolables, fruto del destino y de la mala suerte o del azar y de consecuencias inevitables. Ante esta premisa, poco sentido tendría trabajar en la investigación y prevención del accidente, ya que “si no podemos realizar nada para evitarlo, para qué vamos a trabajar en prevenirlo”. En realidad, debemos conceptualizar el accidente de tránsito como un problema de salud, también de salud laboral, no accidental, controlable,

evitable, como un proceso, fruto de una consecuencia y, sobre todo, prevenible (Montoro et al., 2006 y 2012).

En el área de prevención de accidentes también se debe incluir el concepto de *incidente*. El incidente vial es todo aquel conjunto de circunstancias, conductas y eventos que ocurren antes de la conducción o después de ésta, y que podrían haber derivado en un accidente, pero que por diferentes motivos o situaciones no finaliza en un accidente ni causa ningún tipo de daño o lesión.

Frente al concepto de *incidente vial* fue Hyden (1987) quien propuso la idea de clasificación de todas aquellas acciones o conflictos que potencialmente podrían ser accidentes y que por diferentes variables, acciones o circunstancias, no sería éste su fin. Tal idea se materializó en la denominada “pirámide de seguridad” (figura 4), donde se representaba de una manera gradual y continua la gravedad de los acontecimientos (conductas del propio conductor y variables del entorno) que se pueden presentar en el tránsito como potenciales riesgos o inseguridades.

Hyden puso en la base de esta pirámide los acontecimientos no interrumpidos; todas aquellas situaciones de mayor frecuencia que no presentan un riesgo excesivo. Por encima de éstas y aumentando la gravedad colocó los denominados conflictos potenciales, continuó con los conflictos leves y finalizó con los cuasiaccidentes o conflictos graves.

Aunque no existe un acuerdo único con la definición precisa y con la validez del concepto *conflicto* utilizado por el autor, sí es cierto que esta propuesta de clasificación ayuda a entender, desde el punto de vista del estudio de la conducta humana en el tránsito, que en nuestra movilidad y conducción diaria realizamos muchas acciones o conductas de riesgo desde el punto de vista de la seguridad vial, como beber y conducir, exceder los límites de velocidad, no llevar el vehículo en las condiciones adecuadas, consumir alcohol o drogas, que podrían derivar en una infracción de tránsito o accidente, pero que por diferentes circunstancias no finalizan así. Éstos serían los conflictos de Hyden.

EL FACTOR HUMANO EN LOS ACCIDENTES DE TRÁNSITO

De los elementos que componen el tránsito, tales como la vía y su entorno, los vehículos y las personas o usuarios de la vía pública, tanto conductores como peatones, son estos últimos, etiquetados como “factor



Fuente: Intras/DGT 2012.

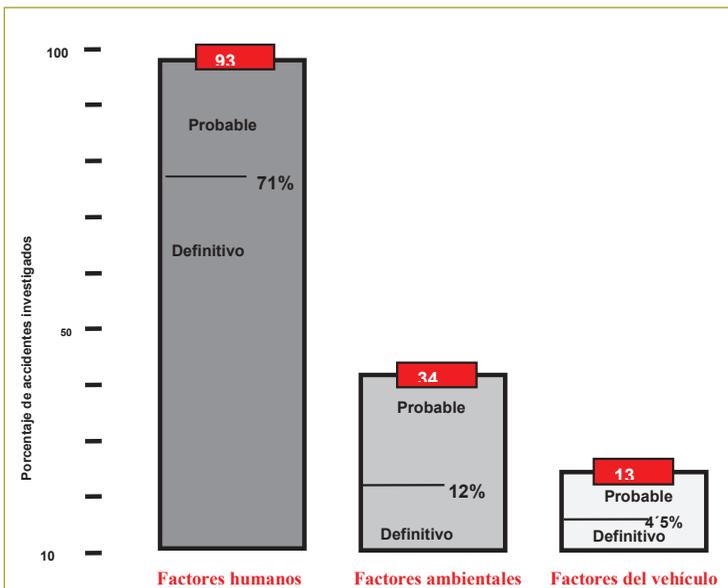
Figura 4. Pirámide de seguridad de Hyden.

humano”, los que tienen un peso mayor en la ocurrencia o explicación del accidente. Esto no significa que el resto de elementos no interactúe en el fatal proceso, pues el accidente de tránsito tiene la característica de multicausalidad, al ser varias las causas que intervienen para que éste suceda; sin embargo, cada una de ellas tiene un peso diferencial en función de las condiciones concretas ante las que se encuentre el conductor y el resto de los elementos. Debido a esta circunstancia, independientemente de la que se considere como causa última del accidente, en la mayoría de los casos el usuario de la vía podría haber actuado de modo que el siniestro se evitara o al menos se minimizaran sus consecuencias, y es en este elemento, en el factor humano, en el que queremos centrar la atención, ya que de todos ellos (factor vía, vehículo y factor humano) es el que mayor flexibilidad y capacidad de adaptación tiene en tiempo real y en situaciones concretas para resolver una situación de riesgo de una manera adecuada o segura.

Por ejemplo, ante una vía en mal estado, o una situación climatológica adversa, se puede afirmar que el factor vía y entorno es el que ha causado el accidente; por el contrario, ante un fallo de los frenos o el reventón de un neumático es probable que se produzcan accidentes atribuibles al mal estado del vehículo, pero no se puede afirmar que han sido los únicos implicados, ya que si el conductor realizara un buen mantenimiento y supervisión del vehículo o si hubiera adaptado su velocidad a las condiciones de la vía en mal estado o de la climatología adversa, tal vez el accidente no se hubiera producido o en caso de producirse sus consecuencias

derivadas serían menores. Por ello, a pesar de lo que se considere como causa última de un determinado accidente, en la mayoría de las ocasiones el conductor podría haber actuado de modo que el siniestro se evitara o al menos se minimizaran sus consecuencias.

En esta línea se apoya el “Tri-level study of the causes of traffic accidents” (1979), de John R. Treat et al., en el que se afirma que el factor humano es el mayor implicado en la causa de la accidentalidad, llegando a una probabilidad de un 93 %, frente a la vía con 34 % y el vehículo con 13 % (figura 5).



Fuente: Kent B. Joscelyn, John R. Treat & Nicholas S. Tihmbas (1973).

Figura 5. Factores causantes identificados por el Indiana Tri-level Study.

LOS PRINCIPALES FACTORES DE RIESGO

Cuando al inicio contextualizábamos el problema del accidente de tránsito a escala global, se realizaba una inferencia a los colectivos vulnerables en la movilidad, sin destacar las principales causas o factores de riesgo que están detrás del accidente. El factor de riesgo es aquel elemento, fenómeno, condición, circunstancia o acción humana que incremente la probabilidad de que ocurra un accidente. Estos factores se agrupan en los elementos generales implicados en cualquier situación de tránsito: el vehículo, la vía y su propio entorno: el conductor (Montoro et al., 2006 y 2012).

Desde la óptica de la psicología del tránsito se comparte una serie de factores de riesgo (características o pautas de conducta) que tienen aquellas personas con altas probabilidades de sufrir un accidente de tránsito. Éstas serían:

- Búsqueda intencionada de riesgo y emociones.
- Deficiente percepción del riesgo.
- Trastornos o enfermedades psíquicas.
- Trastornos o enfermedades físicas.
- Falta de respeto a las normas (conductas antisociales).
- Conductas interferentes en el proceso de conducción.
- Trastornos psicofísicos transitorios.

De todos ellos, son las conductas interferentes y los trastornos psicofísicos transitorios los que comentaremos, por la mayor concurrencia y presencia en la accidentalidad a escala global.

Entendemos por conductas interferentes en la conducción el conjunto de acciones o “conductas” que el sujeto puede realizar dentro del vehículo y que no están relacionadas ni con la conducción ni con la seguridad vial. El mayor peligro que tienen estas conductas interferentes son las distracciones, ya que hacen que el conductor elimine o desvíe la atención de la tarea de conducir hacia otros elementos, escenarios o pensamientos no relacionados con la tarea, lo cual hace que el conductor se sitúe en una situación de riesgo y tarde más tiempo en reaccionar, en caso de que las circunstancias se lo exijan, hacia un evento del tránsito. Las conductas interferentes más comunes son hablar por el teléfono móvil o manos libres, utilizar el móvil u otro soporte electrónico para wasapear o realizar otro tipo de consultas, comer o beber agua, leer el periódico, documento o libro, peinarse o maquillarse, etc.

En el ámbito legislativo, las conductas interferentes o distracciones llevan aparejado algún tipo de sanción. De hecho, en la mayoría de los países europeos está prohibido utilizar el teléfono móvil mientras se conduce. En España, según el artículo 11, apartado 2 de la Ley de Seguridad Vial, “el conductor debe mantener su propia libertad de movimientos, el campo necesario de visión y la atención permanente a la conducción, que garanticen su propia seguridad, la del resto de ocupantes del vehículo y la de los demás usuarios de la vía”. De acuerdo con esta ley, las distracciones se castigan con una multa de hasta 100 euros, exceptuando las relacio-

nadas con la tecnología, utilizar cascos, auriculares o hablar o manipular el móvil, que lleva aparejada una sanción de 200 euros y la retirada de tres puntos del permiso de conducir.

Se puede considerar el trastorno psicofísico transitorio como aquellos efectos o perturbaciones psicológicos y fisiológicos que tienen un efecto determinado, derivados de una conducta en particular y que tienen consecuencias peligrosas para la conducción. Entre los más importantes podemos destacar los siguientes (figura 6):

- Los efectos y estados generados en el organismo por el consumo de sustancias/drogas, ya sean legales, como el alcohol y los fármacos o no, como las drogas ilegales.
- Los efectos ocasionados por trastornos emocionales y del sistema nervioso central, como la depresión o estados deprimidos, la ansiedad y el estrés.
- Los efectos causados por la mala calidad del sueño, falta o trastorno de éste y por el cansancio acumulado, lo que deriva en fatiga.
- Los efectos derivados de la velocidad en el organismo.
- Los efectos derivados de largos periodos de conducción, como la inatención o distracción derivada de la monotonía.
- Los efectos derivados de la vida: tensión, agobio, agresividad, nerviosismo y rutina.

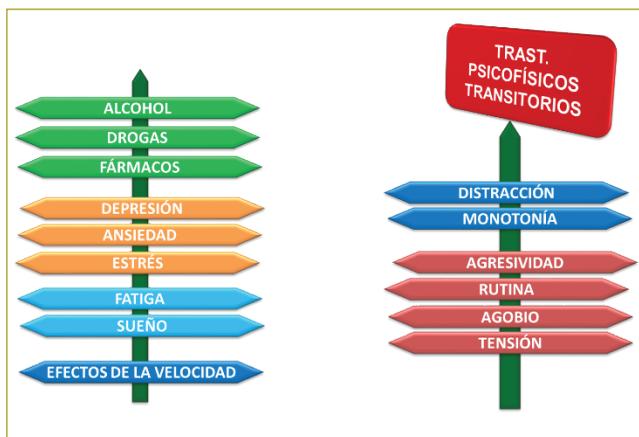
Vale la pena destacar que los conductores, cuando se ponen al mando de un vehículo, viajan o conducen

con sus problemas y vivencias diarias y con lo que tanto emocional como físico conlleve cada una de ellas. Cuando subimos a un vehículo, no dejamos nuestros problemas fuera para conducir con toda serenidad, atención y seguridad; vienen con nosotros.

No se debe dejar de señalar que, al igual que el caso de las distracciones, para muchos de estos trastornos psicofísicos transitorios que afectan a la seguridad de nuestra conducción, sí existe una legislación que castiga las conductas que los originaron, ya que son verdaderamente observables, medibles y tangibles. Podemos medir la presencia de sustancias en el organismo, como alcohol, drogas, fármacos. También podemos medir y sancionar los excesos de velocidad, derivados quizá de una conducta agresiva; de la misma manera, aunque no sean trastornos psicofísicos transitorios, podemos sancionar conductas peligrosas, como el no uso de casco, cinturón y sistema de retención, puesto que se pueden observar por la autoridad de tránsito. Pero ¿podemos sancionar por conducir bajo los efectos de fatiga, falta de sueño, depresión, estrés, ansiedad, agobio, tensiones, etc.? La respuesta sería negativa, aunque supiéramos que muchos de estos efectos también se encuentran detrás de un accidente, pero no es fácil atribuir su casuística, ya que no disponemos de herramientas de rápida medición, como un alcoholímetro, que nos da la tasa o niveles de peligrosidad a través de la alcoholemia. Si no podemos demostrar su prevalencia en la conducta viaria, tampoco se puede legislar sobre ellos de una manera directa.

CONCLUSIONES

El accidente de tránsito es un problema global que afecta a la salud mundial. Existen diferentes aproximaciones para trabajar en su prevención: intervenciones en la vía desde el punto de vista de la ingeniería, mejoras en los componentes de seguridad del vehículo, legislaciones más restrictivas, mayor supervisión policial e intervenciones en el factor humano, pero esto último es un conjunto de circunstancias que van mucho más allá de las legislaciones de cualquier país, por lo que debemos continuar incidiendo sobre él, desde la óptica de la prevención, si queremos continuar reduciendo la siniestralidad.



Fuente: Elaboración de Facthum.lab (UVEG).

Figura 6. Principales trastornos psicofísicos transitorios.

REFERENCIAS

- Hyden, C. (1987). The development of a method for traffic safety evaluation: The Swedish Traffic Conflicts Technique. *Bulletin Lund Institute of Technology, Department, (70)*.
- Montoro, L., Toledo, F., Lijarcio, J.I., Roca, J., Lloret, M.C., Martí-Belda, A. & Puchades, R. (2012). Programa de Intervención, Sensibilización y Reeducación Vial. *Manual del Formador (5.ª ed. rev.)*. Madrid: Dirección General de Tránsito.
- Organización Mundial de la Salud (2016). *Lesiones causadas por el tránsito*. Nota descriptiva. Mayo de 2016. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs358/es/>.
- Organización Mundial de la Salud (2016). Global status report on road safety 2015 (http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/es/).
- Organización Mundial de la Salud (2011a). Decenio de Acción para la Seguridad Vial, 2011–2020. Salvemos millones de vidas. Ginebra.
- Revista de Salud Pública, 16 (5): 673-682, 2014*. Costos directos de atención médica de accidentes de tránsito en Bogotá, D.C.
- Treat, J. R., Tumbas, N. S., McDonald, S. T., Shinar, D., Hume, R. D., Mayer, R. E., ... & Castellan, N. J. (1979). Tri-level study of the causes of traffic accidents: final report. Executive summary.

Infraestructura segura

Safe infrastructure

MARITZA CECILIA VILLAMIZAR ROPERO

Ingeniera civil. Profesora asistente del programa de Ingeniería Civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

maritza.villamizar@escuelaing.edu.co

Recibido: 31/03/2016 Aceptado: 10/04/2016

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

Resumen

Tanto la seguridad vial como el diseño geométrico en las vías terrestres, en las etapas de diseño, construcción y operación, están directamente relacionados en favor de los usuarios. Por eso en el presente artículo se trata el tema de la infraestructura segura, comenzando por el concepto de las carreteras seguras; luego se miran los elementos que hay que tener en cuenta en la infraestructura, las medidas para el diseño y el equipamiento de carreteras seguras, y por último se evalúa la relación de las posibles medidas de seguridad vial para solucionar los tipos de accidentes más frecuentes.

Palabras claves: seguridad vial, infraestructura, diseño.

Abstract

Road traffic safety and geometrical designs of land roads, at the planning, building, and operation stages, are both directly related to users' welfare. That is why this paper discusses the topic of safe infrastructure, starting with the concept of safe roads. Afterwards, all the needed elements for infrastructure, design measures, and equipment are addressed. Finally, an assessment of the relation of possible road traffic safety measures to avoid the most frequent kinds of accidents is shown.

Keywords: road traffic safety, infrastructure, design.

INTRODUCCIÓN

Las redes viales forman parte de la economía de un lugar, ya que a través de sus conexiones se facilitan los movimientos comerciales e industriales de una o de muchas naciones. Esta red vial deberá facilitar los desplazamientos de un punto a otro, en busca de una muy buena movilización de vehículos desde y hacia cualquier zona habitada.

Por tanto, una red de carreteras debe cumplir dos funciones principales:

- **Accesibilidad.** Facilitar el acceso de los vehículos a la red vial desde cualquier zona habitada perteneciente al área cubierta por ésta.
- **Movilidad.** Permitir que la circulación de los vehículos por la red vial sea segura, confortable y lo más rápida posible.

Lograr conjugar las funciones de accesibilidad y movilidad en condiciones de seguridad es una ardua tarea, pero necesaria para establecer una jerarquía vial que permita diferenciar entre tráficos de muy distinto tipo, reduciendo al máximo los posibles conflictos que puedan producirse.

LAS CARRETERAS Y LA SEGURIDAD VIAL

El concepto de seguridad vial supone la prevención de los accidentes de tránsito o la minimización de sus efectos, especialmente para la vida y salud de las personas, por ello se debe mejorar la seguridad vial de las infraestructuras de transporte.

Los técnicos y diseñadores de infraestructuras viales están obligados a conocer las normas de diseño imperantes en el país, de tal manera que este conocimiento permita la conjugación del factor infraestructural con el humano.

Algunos de estos conceptos son la consistencia, la legibilidad y la información.

Consistencia

La consistencia de una carretera se puede definir como la capacidad geométrica de la vía para satisfacer las expectativas del conductor, dando a éste los componentes necesarios para circular por dicha vía.

Por tanto, una carretera con un bajo grado de consistencia implica que sus características son muy diferentes de las expectativas de los conductores, elevándose el riesgo potencial de sufrir un accidente; caso contrario, se evitarían maniobras bruscas durante la conducción y, por ende, el riesgo de accidentalidad sería menor. La homogeneidad de las características geométricas de una carretera y su consistencia están íntimamente ligadas: si las características geométricas se mantienen dentro de cierto rango a lo largo de un tramo, las maniobras que debe realizar el conductor para recorrerlo serán constantes y a una velocidad uniforme, lo que incrementará las condiciones de seguridad. Por tanto, la consistencia del trazado de una vía forma parte e influye en el nivel de seguridad de la circulación, el cual involucra otros aspectos, como el tráfico y el entorno.

Legibilidad

Las carreteras con una buena legibilidad muestran al conductor el trazado con claridad durante todo el recorrido. Generalmente, las carreteras muy curvadas, en las que los tramos sucesivos se esconden detrás de un cambio de rasante o una curva muy cerrada, son las más beneficiadas por la legibilidad, sobre todo en aquellas que se diseñan para velocidades elevadas.

Información de la vía

La información de una vía se puede entender como el esfuerzo de asimilación y decisión que requiere cada tramo de carretera en función de su trazado y cantidad de información ofrecida. El diseño de un tramo de carretera supone una determinada información, mayor o menor, para cada conductor; la condición óptima es que la información transmitida sea media, ya que si es demasiado baja puede dar lugar a la distracción del conductor, mientras que si es excesivamente alta puede ocasionar que el conductor no sea capaz de procesar toda la información recibida, aumentando el riesgo de sufrir un accidente.

Teniendo como base lo descrito anteriormente, es posible decir que las acciones sobre las infraestructuras que permiten la mejora de la seguridad vial en las carreteras, se pueden clasificar atendiendo a diferentes criterios:

Según los costos y rapidez de implantación de las medidas

- *Medidas de bajo costo.* Todas aquellas medidas físicas adoptadas con el objetivo de aumentar la seguridad del sistema vial, que cumplen las siguientes tres propiedades: tener un bajo costo económico, poder implantarlas rápidamente y contar con una alta tasa de rentabilidad
- *Medidas de costo medio o alto.* Este grupo engloba todas aquellas medidas físicas que suponen soluciones sistemáticas o masivas en el conjunto de la red, tales como la sustitución de todas las intersecciones de un itinerario por rotondas o la construcción de carreteras de alta capacidad. La implantación de estas medidas supone un alto costo económico y requiere una planificación temporal mayor que en el caso de las medidas de bajo costo.

Según los efectos sobre los accidentes

- *Preventivas.* Medidas destinadas a evitar que se produzca un accidente. En este grupo se engloban, entre otras, la utilización de pavimentos antideslizantes, la utilización de equipamientos para mejorar la percepción del trazado de la vía, circunvalaciones, iluminación de la vía, etc.
- *Paliativas.* Medidas adoptadas para reducir la gravedad de los accidentes en caso de que éstos no hayan podido evitarse. Por ejemplo, establecer una zona despejada en el margen de la vía, de manera que los vehículos que abandonen la calzada en forma descontrolada puedan recuperar el control sin sufrir impactos contra objetos próximos a ésta.

En algunos casos, la implantación de una medida conlleva el desplazamiento de los accidentes desde la localización donde se han implantado las medidas hacia otros lugares próximos, efecto conocido como “migración de accidentes”.

ELEMENTOS DE LA VÍA Y SU INFLUENCIA EN LA SEGURIDAD VIAL

Se estima que la infraestructura, como factor único, solamente es responsable del 2-3 % del total de los siniestros. Sin embargo, si se tiene en cuenta la inte-

racción del factor infraestructura con el humano, este porcentaje puede alcanzar el 25-30 %.

La normativa sobre el diseño y equipamiento de carreteras es imprescindible para un correcto diseño de la vía. No obstante, es necesario conocer ciertos aspectos relacionados con el factor humano, ya que son determinantes en la explicación de numerosos siniestros.

Se incluyen a continuación algunos de los elementos de la vía cuya influencia es más relevante desde el punto de vista de la seguridad vial:

Velocidad de operación

La velocidad de operación de los vehículos es una característica propia de la vía una vez construida, ya que indica la velocidad a la que circulan la mayoría de los vehículos en la etapa de explotación de la vía. Tradicionalmente, esta velocidad viene representada por el percentil 85 de la distribución de velocidades a la que operan los vehículos ligeros en un régimen de circulación libre, es decir, en un momento en el que son los propios conductores los que eligen su velocidad de circulación, sin estar condicionados por la presencia de otros vehículos en la vía, y sin restricciones ambientales.

Márgenes

La configuración de los márgenes de la vía influye tanto en el número de accidentes como en las consecuencias de éstos. La presencia de obstáculos fijos próximos a la calzada aumenta la posibilidad de impacto de los vehículos que la abandonan, en especial si el obstáculo está situado en el exterior de una curva o sobre una isleta de tráfico. Los peligros que pueden encontrarse en los márgenes de las carreteras se pueden clasificar en dos categorías: peligros continuos y peligros discontinuos (tabla 1).

Sistemas de contención

Los accidentes por salida de calzada constituyen uno de los principales problemas en la infraestructura vial de la mayoría de los países. La conducción es una actividad compleja, en la que el conductor debe prestar atención a múltiples estímulos y procedimientos.

Tabla 1
Elementos peligrosos en las márgenes de las carreteras

CUNETAS	Las cunetas pueden provocar el vuelco de los vehículos que abandonan, erráticos, la calzada.
DESMONTES Y TERRAPLENES	Los desmontes y terraplenes resultan peligrosos en la medida en que pueden provocar el vuelco de los vehículos que salgan incontroladamente de la calzada.
PUNTES, VIADUCTOS Y CORONACIONES DE MUROS DE SOSTENIMIENTO	El desnivel existente entre la plataforma y el terreno en puentes, viaductos y coronaciones de muros de sostenimiento constituye un peligro en todos los casos, independientemente de la velocidad, que deberá protegerse mediante barandas. El riesgo de despeñamiento puede resultar muy grave, tanto para los ocupantes del vehículo como para terceros.
PANTALLAS ANTIRRUIDO, MUROS Y SIMILARES	Las pantallas antirruido y muros continuos en las proximidades de la calzada constituyen un peligro tanto para los ocupantes de los vehículos que circulan por la carretera, como para otros usuarios, ya que se puede producir la caída de objetos de masa considerable.
BORDILLOS	Los bordillos son especialmente peligrosos para los motociclistas, ya que en caso de choque pueden desestabilizar el vehículo, causando la pérdida de control y el posterior accidente. En carreteras en las que se alcancen velocidades elevadas no es conveniente la instalación de bordillos delante de los sistemas de contención, ya que en caso de que un vehículo impacte contra ellos, su trayectoria y el posterior comportamiento de la barrera son impredecibles.
SEPARADORES	La invasión de la otra calzada constituye uno de los accidentes más graves que se pueden producir en una carretera.
ÁRBOLES	En las márgenes y medianas de carreteras, los árboles se consideran peligrosos cuando su diámetro es superior a 15 cm.
ROCAS	Las rocas situadas cerca de la calzada representan un peligro en caso de accidente por salida de la calzada debido a su gran rigidez. Pueden provocar enganchamientos, rebotes o vuelcos en los vehículos que impacten contra ellas.
LUMINARIAS	Las luminarias son objetos muy frecuentes en las márgenes de las carreteras. Su rigidez las convierte en elementos muy peligrosos en caso de salida de calzada de un vehículo debido al fenómeno de enganchamiento.
POSTES DE SEÑALIZACIÓN Y LÍNEAS AÉREAS (TELÉFONO, ELECTRICIDAD)	Se trata de obstáculos rígidos, cuya dimensión en altura es muy superior a su sección, lo cual los convierte en objetos que pueden causar daño en caso de impacto debido al fenómeno de enganchamiento. Se consideran peligrosos cuando su diámetro es superior a 15 cm (soportes de pórticos, pedestales de señalización).
PILARES Y ESTRIBOS DE PUENTES	El impacto contra estos elementos a velocidades iguales o superiores a 60 km/h puede resultar crítico tanto para autos de turismo como para vehículos pesados, debido al efecto de enganchamiento.
EXTREMOS DE BARRERA AGRESIVOS	Una ejecución deficiente de los extremos de barrera puede traer consigo empotramientos o vuelcos por el efecto rampa.
TRANSICIONES ENTRE BARRERAS	El paso de una barrera más deformable (barrera metálica) a otra más rígida (barrera de hormigón), puede producir el enganchamiento de un vehículo en el punto de transición.
DISCONTINUIDADES ENTRE BARRERAS DE SEGURIDAD PRÓXIMAS	Las discontinuidades no justificadas entre dos tramos consecutivos de barrera se considerarán como peligro potencial si la distancia entre los extremos de barrera es inferior a 50 m.
ALTURA DE BARRERA INSUFICIENTE	Una altura de barrera insuficiente puede constituir un grave peligro para los ocupantes de un vehículo en caso de choque contra el sistema de contención, ya que existe la posibilidad de que se produzca un vuelco.
EDIFICACIONES	Las edificaciones próximas a la calzada pueden considerarse zonas peligrosas, dependiendo de las intensidades de tráfico y de que la velocidad de proyecto de la carretera sea superior a 60 km/h.

Fuente: Elaboración propia.

Barreras de seguridad

Son sistemas de contención de vehículos empleados en las márgenes y medianas de las carreteras. Siempre que se estudie la posibilidad de instalar una barrera de seguridad se deberá tener en cuenta que el choque contra uno de estos dispositivos constituye un accidente, aunque de consecuencias más predecibles y menos graves que si no estuviese instalado el dispositivo. Por ello, antes de analizar la necesidad de instalar barreras de seguridad se valorarán otras opciones, como el desplazamiento o la eliminación del obstáculo, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- El costo de instalación y mantenimiento del dispositivo.
- El costo de las soluciones alternativas.
- La probabilidad de un choque con él, relacionada con la intensidad de la circulación.
- La gravedad del accidente resultante de ese choque.
- La gravedad del accidente que se ha evitado.
- La normativa propia para la instalación de barreras de seguridad.

Las barreras de seguridad pueden clasificarse atendiendo a distintos criterios:

- Rígidas o deformables.
- Definitivas o provisionales.
- Simples (aptas únicamente para el choque por uno de sus lados) o dobles (aptas para el choque por ambos lados).

Según el material empleado:

- Metálicas.
- De hormigón.
- Mixtas.
- De otros materiales.

Atenuadores (o amortiguadores) de impacto

Dispositivos diseñados para que en los choques frontales se absorba la energía cinética mediante su deformación, soportando así el choque.

Pueden ser:

- No redirectivos: No poseen la capacidad de contener impactos laterales.
- Redirectivos: Diseñados para recibir impactos laterales, comportándose ante este tipo de impactos como una barrera de seguridad.

Los atenuadores de impacto deben cumplir dos requisitos funcionales específicos:

- Detener al vehículo dentro de la longitud del amortiguador y sin que aquel sea devuelto a la calzada.
- Funcionar igual que una barrera de seguridad en caso de choque lateral (algunos dispositivos no poseen esta característica).

Superficie de rodadura

Existen numerosos deterioros de distinta naturaleza en la superficie de rodadura que pueden afectar la comodidad e incluso la seguridad de los usuarios.

La presencia de un bache o un hundimiento en la carretera, cuando se circula a una elevada velocidad, puede hacer perder el control del vehículo. En cambio, una superficie en buen estado garantiza la adherencia y disminuye la posibilidad de que se produzca un accidente. A renglón seguido se recogen algunos de los deterioros más representativos.

Tabla 2
Deterioros de la superficie y estructura del pavimento

Deterioros de la superficie	
Desprendimientos. Pérdida de agregados	
Desprendimientos. Pérdida de capa rodadura	
Desprendimiento. Pérdida de base	
Exudación	
Deterioro de la estructura	
Deformación plástica	
Baches	
Grietas longitudinales	
Grietas transversales	
Piel de cocodrilo	

Fuente: *Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles*. Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica, 2002.

Señalización vertical

La señalización vertical de las carreteras debe aumentar la seguridad, eficacia y comodidad de la circulación. Para ello debe cumplir cuatro requisitos básicos:

- Visibilidad.
- Legibilidad.
- Comprensibilidad.
- Credibilidad.

Los dos primeros requisitos, visibilidad y legibilidad, pueden verse muy afectados por el entorno y los condicionantes externos: noche, alineación inadecuada, edad del conductor y composición del tráfico.

La comprensibilidad y la credibilidad son atributos referidos al propio mensaje de la señal. Unos y otros habrán de considerarse en el diseño y la fabricación de las señales para garantizar su eficacia como instrumento de seguridad vial.

Marcas viales

Las marcas viales deben satisfacer, como misión, las siguientes funciones:

- Delimitar carriles de circulación.
- Separar sentidos de circulación.
- Indicar el borde de la calzada.
- Delimitar zonas excluidas a la circulación regular de vehículos.
- Reglamentar la circulación, especialmente el adelantamiento, la parada y el estacionamiento.
- Completar o precisar el significado de señales verticales y semáforos.
- Repetir o recordar una señal vertical.
- Permitir los movimientos indicados.
- Anunciar, guiar y orientar a los usuarios.

El fin inmediato de las marcas viales es aumentar la seguridad, eficacia y comodidad de la circulación, por lo que es necesario que se tengan en cuenta en cualquier actuación vial como parte integrante del diseño y no como mero añadido posterior a su concepción.

Unas marcas viales en buen estado de conservación delimitan el carril, lo cual es importante de día pero especialmente de noche y en condiciones climáticas adversas.

Balizamiento

En el *Diccionario técnico vial* (Piarc) se define el balizamiento como el conjunto de dispositivos (balizas, líneas reflectantes, pero no señales ni iluminación) instalados a lo largo de las vías o carreteras para guiar la circulación y mejorar la seguridad.

Gracias a estos dispositivos los conductores pueden distinguir los márgenes de una vía no iluminada o en condiciones climatológicas adversas, al igual que percibir con anticipación la presencia de una curva que se debe transitar a una velocidad reducida.

MEDIDAS PARA EL DISEÑO Y EL EQUIPAMIENTO DE CARRETERAS SEGURAS

El efecto de una misma medida, por motivos diversos, varía sustancialmente según su diseño concreto y las condiciones locales de implantación, de acuerdo con algunas de las siguientes medidas:

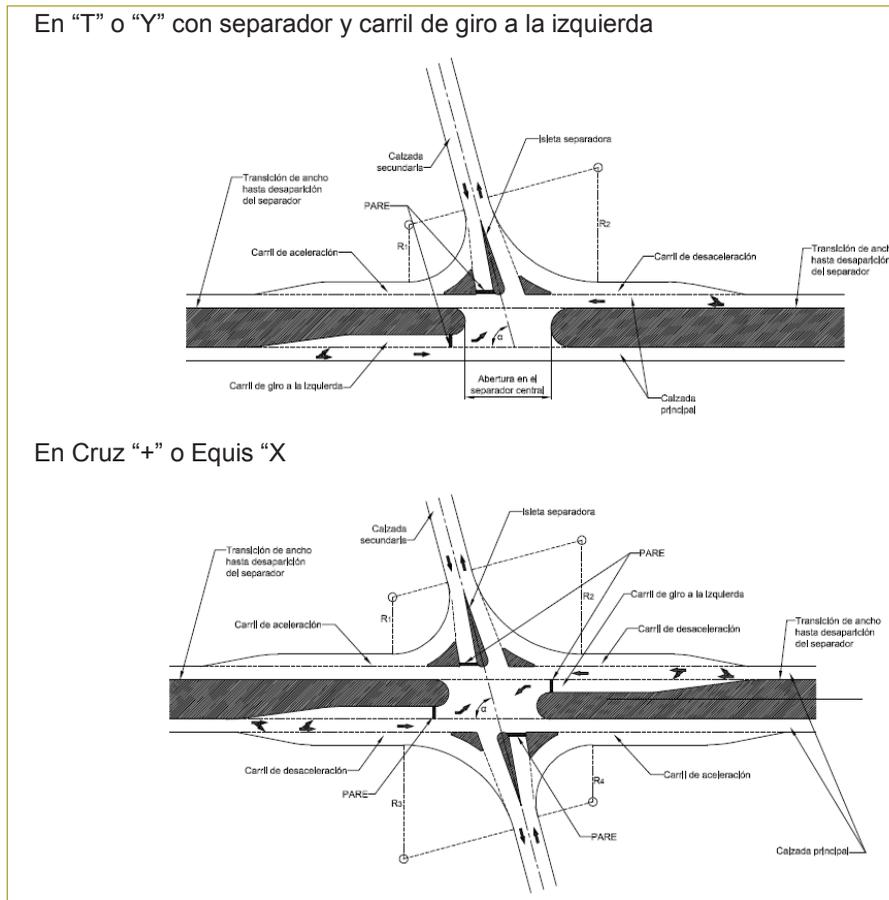
Canalización de intersecciones

Las intersecciones constituyen áreas difíciles y peligrosas para todos los usuarios de las vías, siendo el nivel de peligro mayor a medida que va aumentando el número de vías que confluyen. El tipo de accidente más común son las colisiones frente-laterales y los atropellos de peatones cuando los vehículos giran hacia o desde otra carretera.

La canalización de intersecciones busca:

- Segregar los flujos de tránsito entre sí y reducir el área de conflicto entre las corrientes de tránsito.
- Mejorar la visibilidad de las intersecciones (mediante un diseño adecuado de los ángulos de aproximación de los vehículos)
- Señalización clara de la vía preferente y definición de patrones de conducción.

Se pueden diferenciar las siguientes formas de canalización:



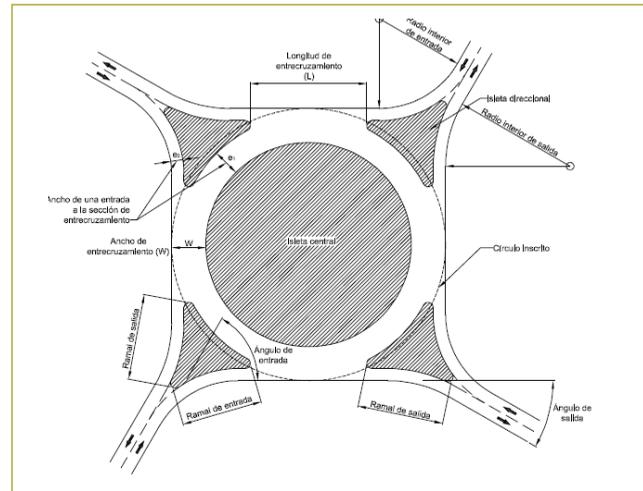
Fuente: *Manual de diseño geométrico*. Ministerio de Transporte de Colombia, 2008.

Figura 1. Esquema base intersección a nivel.

Glorietas

En intersecciones con elevados volúmenes de tránsito el tiempo de espera de los vehículos para cruzarlas puede ser considerable, lo que hace que algunos conductores terminen atravesando la intersección y creando situaciones peligrosas. La conversión de las intersecciones en rotondas puede mejorar el flujo de tránsito y la seguridad vial, pues:

- Se disminuye el número de puntos de conflicto entre las corrientes de circulación.
- Los usuarios que llegan a una glorieta deben ceder el paso a los vehículos que circulan por ella, por lo que aumenta la seguridad.
- Al proceder todo el tráfico de una misma dirección, resulta más sencillo incorporarse a la circulación de la glorieta.
- Se reduce la velocidad, puesto que los vehículos deben rodear la isleta central.



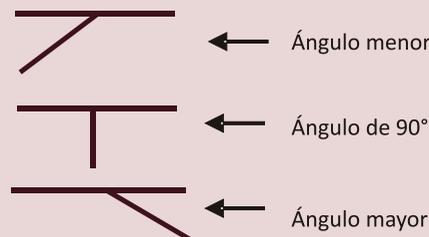
Fuente: *Manual de diseño geométrico*. Ministerio de Transporte de Colombia, 2008.

Figura 3. Esquema básico de una intersección tipo glorieta.

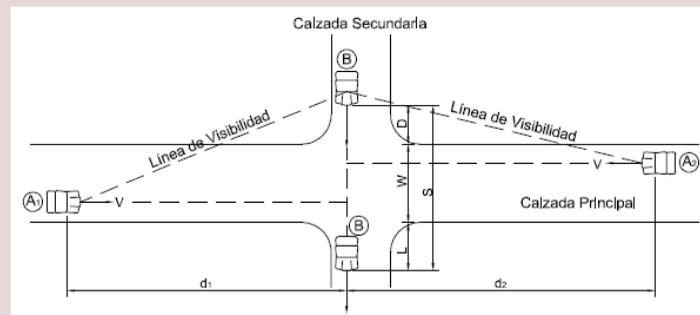
Rediseño de intersecciones

Con esto se busca mejorar las condiciones de visibilidad en las intersecciones, simplificando los giros y aumentando la visibilidad de todos los usuarios que se aproximan a la intersección. El rediseño incluye:

Cambios en los ángulos de cruce entre las carreteras o las calles. En general, los ángulos menores de 90° parecen dar como resultado un menor número de accidentes con lesiones.



Medidas para mejorar la distancia de visibilidad en las intersecciones – aumento del “triángulo de visibilidad”



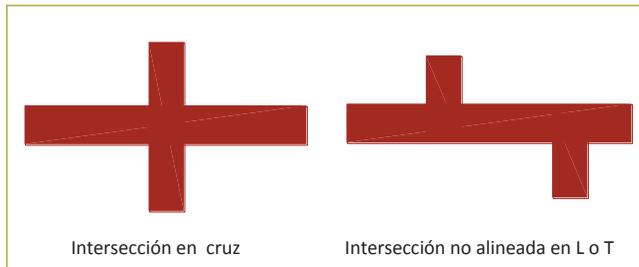
Fuente: *Manual de diseño geométrico*. Ministerio de Transporte de Colombia, 2008.

Figura 2. Cambios en los ángulos de cruce y aumento del “triángulo de visibilidad”.

Intersecciones no alineadas (conversión de un cruce en X en dos intersecciones en T)

Las intersecciones de 4 ramales tienen 32 puntos posibles de conflictos entre las corrientes de tráfico que acceden a la intersección, lo que las hace considerablemente más peligrosas en lo que al riesgo de accidente se refiere que las intersecciones de 3 ramales, en las que únicamente hay 9 puntos posibles de conflicto.

Las intersecciones desalineadas, es decir, aquellas intersecciones de 4 ramales en cruz o en X que han sido sustituidas por dos intersecciones consecutivas en T, reducen el número de punto de conflicto y, por tanto, el riesgo de accidente. Las intersecciones desalineadas pueden realizarse a la izquierda o a la derecha:



Fuente. Elaboración propia.

Figura 4. Intersecciones no alineadas.

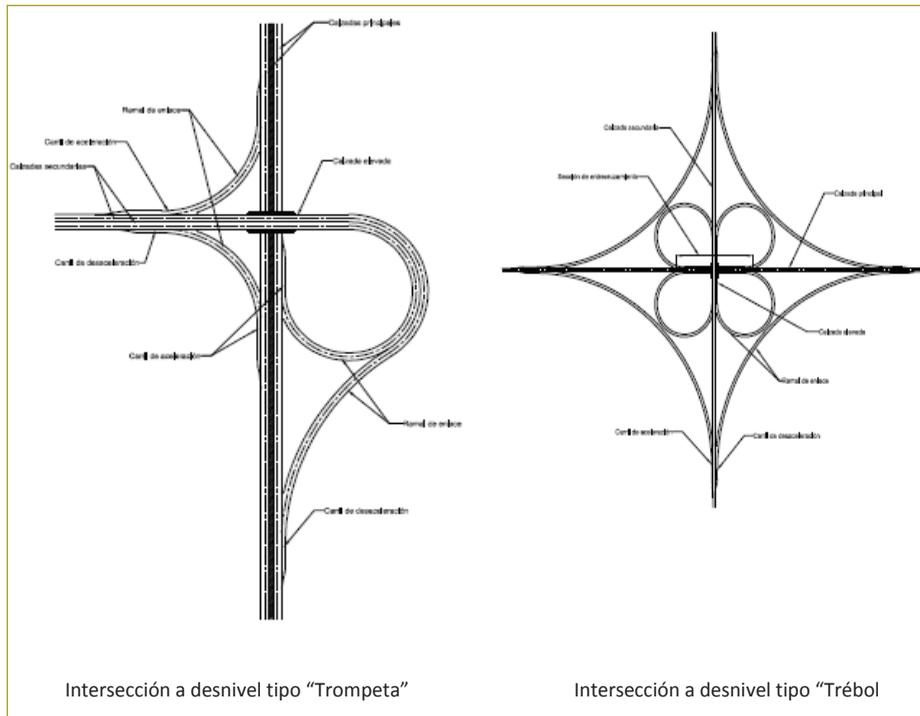
Enlaces o cruces a diferente nivel

Los enlaces o cruces al mismo nivel con elevados volúmenes de tráfico no ofrecen una calidad de movilidad satisfactoria, lo que incrementa el riesgo de sufrir un accidente; son frecuentes las esperas y colas de vehículos, atascos y maniobras imprudentes que crean situaciones peligrosas. Sustituir estos enlaces por cruces a distinto nivel permite mejorar el tránsito y reducir la probabilidad de conflicto, puesto que:

- Son sencillos y fáciles de entender, lo que disminuye la posibilidad de circular por los ramales en sentido contrario.
- Los ramales son fundamentalmente rectos. Los ramales con curvas tienen tasas de accidentes superiores a los ramales rectos.
- Las carreteras secundarias generalmente circulan por encima de la vía principal.

Carriles para peatones y ciclistas

En la cadena de circulación los peatones y los ciclistas son los usuarios más vulnerables, debido especialmente a su escasa protección en caso de accidente de tránsito. Son considerados grupos de alto riesgo, dada la difi-



Fuente: *Manual de diseño geométrico*. Ministerio de Transporte de Colombia, 2008.

Figura 5. Tipos de enlaces a diferente nivel.

cultad para percibir su presencia, así como al hecho de compartir espacios con otros vehículos que circulan a una mayor velocidad.

Los carriles para peatones y ciclistas permiten:

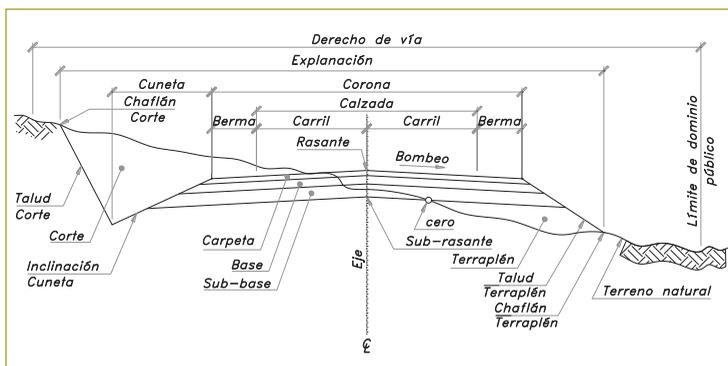
- Separar físicamente a los ciclistas y peatones del resto del tráfico motorizado.
- Mejorar la movilidad y la sensación de seguridad de estos usuarios vulnerables, sobre todo en áreas con elevado tránsito de vehículos de motor.

Mejoras de la sección transversal

La mejora de la sección transversal de la vía puede tener como objetivo incrementar la seguridad de los usuarios de una carretera mediante el aumento de la anchura de la calzada, la pavimentación de las bermas, el aumento del número de carriles, la construcción de los separadores centrales entre ambos sentidos de circulación y el incremento de la movilidad mediante el aumento de la capacidad de la vía.

Entre las medidas para la mejora de la sección transversal, están:

- Incrementar el número de carriles.
- Aumentar la anchura de la plataforma.
- Incrementar la anchura de las bermas.
- Construir carriles de adelantamiento.
- Crear bermas pavimentadas.
- Aumentar la anchura de las bermas pavimentadas.
- Hacer cambios simultáneos en la anchura de las bermas y los carriles.
- Instalar barreras de contención.

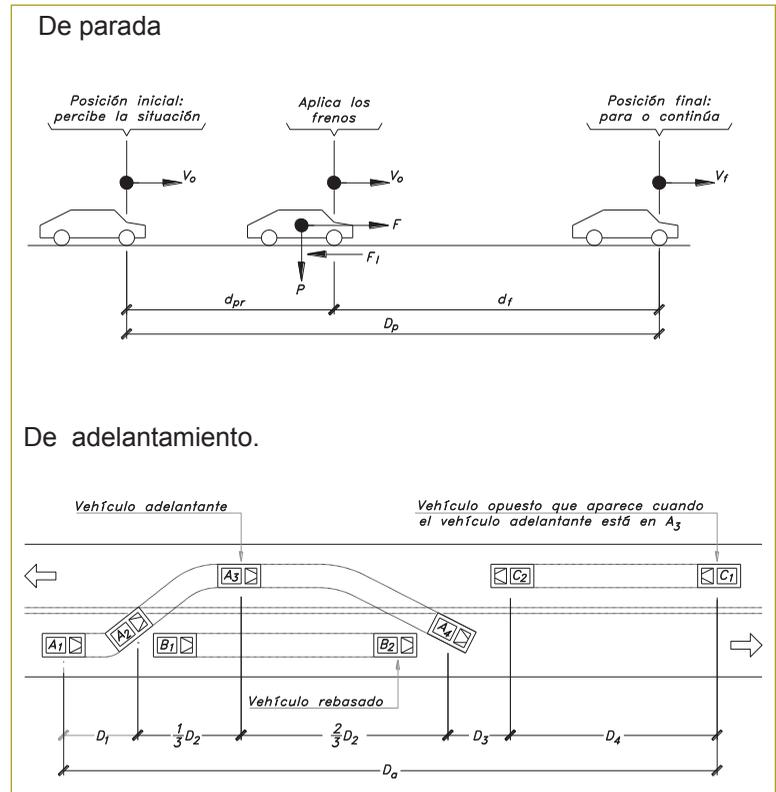


Fuente: Manual de diseño geométrico. Ministerio de Transporte de Colombia, 2008.

Figura 6. Sección transversal de una carretera.

Mejora de la distancia de visibilidad y del trazado longitudinal

En determinados tramos de carretera la visibilidad se puede ver reducida por las curvas, los cambios de rasante, la vegetación o la presencia de edificios próximos a la calzada. Una distancia de visibilidad pequeña dificulta la conducción y reduce el tiempo de reacción disponible en caso de incidentes, lo que aumenta el riesgo de accidente.



Fuente: Manual de diseño geométrico. Ministerio de Transporte de Colombia, 2008.

Figura 7. Distancia de visibilidad.

Entre las medidas que se pueden aplicar, están:

- **Aumento del radio de las curvas horizontales.** Son más seguras las carreteras compuestas por curvas suaves, pero con condiciones de visibilidad suficientes que permitan hacer maniobras de adelantamiento con seguridad.
- **Construcción de curvas de transición** Las curvas de transición permiten el enlace entre las trayectorias rectas y las curvas circulares, variando su curvatura con la distancia recorrida. La curva de transición más frecuentemente utilizada es la clotoide, que corresponde a la trayectoria de un

vehículo que circula a velocidad constante y cuyo conductor gira el volante a velocidad angular o de giro constante.

- **Reducción del número de curvas con pequeños radios en un determinado recorrido**

La tasa de accidentalidad de las curvas aumenta a medida que disminuyen los radios de dichas curvas.

- **Disminución del grado de deflexión de la carretera**

Aumento de la distancia entre alineaciones curvas.

- **Reducción de las pendientes de los desmontes y terraplenes**

Una reducción de las pendientes conlleva la disminución del número de accidentes y de sus consecuencias en caso de que éstos se produzcan.

- **Disminución de la proporción de longitud de carretera situada en cambios de rasante**

Los cambios de rasante reducen la visibilidad de la carretera, aumentando la probabilidad de sufrir un accidente.

- **Mejoras generales del trazado**

Corrección general del trazado de tramos de carreteras con déficits estructurales (velocidad o anchura menores que unos determinados valores tolerables en función del tipo de red a que pertenece la carretera, la intensidad de tráfico y el tipo de terreno que atraviesa), con el objetivo de mejorar la seguridad vial del recorrido.

- **Aumento de las distancias de visibilidad**

Esto se puede lograr mediante la eliminación de obstáculos situados en los laterales, por ejemplo.

Actuaciones en curvas

A medida que un conductor avanza por una determinada vía, se crea una serie de expectativas en relación con la trayectoria de la carretera. Entre las medidas que se pueden aplicar cabe destacar las siguientes:

- Instalar señales de peligro curva peligrosa antes de la curva.
- Poner velocidades recomendadas antes de las curvas.
- Instalar sistemas de balizamiento, como paneles direccionales o chevrón.
- Pintar marcas viales.
- Ampliar la anchura de la calzada.
- Hacer cambios o ajustes en el trazado, como por ejemplo cambiar la longitud de la curva de transición.

En general, el rediseño de una curva se llevará a cabo cuando se cumplan las siguientes condiciones:

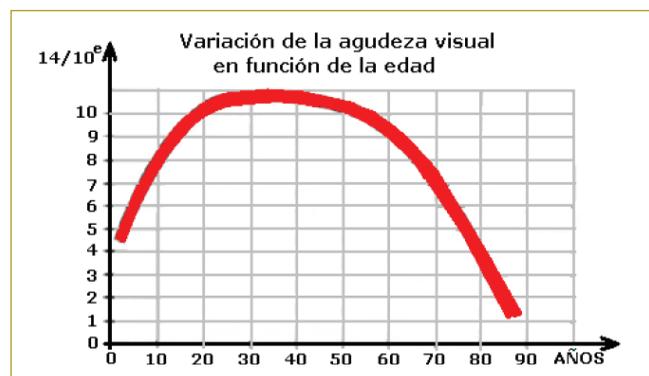
- Índices de siniestralidad superiores a la media de la carretera.
- Ineficiencia de otras medidas de bajo costo, como señalización y balizamientos.
- Presencia de obstáculos que no se puedan proteger ni eliminar.

Iluminación de la vía

El conductor recibe el 90 % de la información necesaria para conducir por medio de la vista, siendo la oscuridad la principal causa de los accidentes nocturnos, ya que:

- Influye en la distancia de visibilidad, al:
 - Modificar el campo visual, reduciéndolo a la zona iluminada por los focos del vehículo. El campo visual de los conductores disminuye con la velocidad, así a

40 km/h	_____	110°
100 km/h	_____	40°
 - Disminuir la agudeza visual de los conductores hasta en un 70 %.
- Afecta la percepción de los colores, así como a la visión de contraste, por lo que el conductor percibe peor los obstáculos.
- Los conductores pueden ser deslumbrados por otros vehículos que circulen en sentido contrario.
- El conductor requiere un periodo de adaptación entre 5 y 7 segundos para lograr el 95 de la capacidad visual.



Fuente: "Accidentes de circulación e iluminación". José Ignacio Urraca Piñeiro.

Figura 8. Variación de la agudeza visual en función de la edad.

La capacidad visual de una persona empieza a reducirse a los 40-45 años y su pérdida se agudiza a partir de los 65 años. Este envejecimiento comprende la disminución de la agudeza visual, la visión en profundidad y una mayor sensibilidad al deslumbramiento, por lo que se requiere una mayor intensidad de luz para ver adecuadamente.

RELACIÓN DE POSIBLES MEDIDAS DE SEGURIDAD VIAL PARA SOLUCIONAR LOS TIPOS DE ACCIDENTES MÁS FRECUENTES

A renglón seguido se muestran medidas que se pueden aplicar con el objeto de disminuir el número de accidentes, según su tipo.

Acciones encaminadas a evitar salidas de los vehículos de la calzada o reducir sus consecuencias en caso de no poder evitarse

Delimitación de las márgenes de la calzada	Marcas viales
	Hitos de arista
	Paneles direccionales
	Captafaros
	Marcas viales con resaltos
Instalación de sistemas de contención	Barreras de seguridad
	Terminales absorbentes de energía (TAE)
	Atenuadores de impacto o amortiguadores de impacto
	Lechos de frenado
Actuaciones en la superficie del pavimento	Pavimentos antideslizantes
Modificaciones de trazado	Mejora de la geometría de las curvas horizontales
	Reducción del número de accesos e intersecciones

Fuente: Asociación Española de la Carretera.

Acciones encaminadas a evitar colisiones entre vehículos

Delimitación de los carriles de circulación	Marcas viales
	Marcas viales con resaltos
	Captafaros
Actuaciones para garantizar una distancia de seguridad adecuada entre vehículos	Galones (marcadores de distancia en autopista)
Modificaciones de trazado	Mejora de la geometría de las curvas horizontales
	Reducción del número de accesos e intersecciones

Fuente: Asociación Española de la Carretera.

Acciones encaminadas a evitar atropellos de peatones

Delimitación del espacio	Creación de carriles para peatones y ciclistas separados físicamente de los carriles destinados a la circulación de vehículos de motor.
	Construcción de pasos de peatones.
	Cruces a distinto nivel: pasarelas peatonales
	Barreras de seguridad
	Marcas viales
Otras medidas	Señales de aviso de presencia de peatones.
	Iluminación de la vía
	Actuaciones encaminadas a mejorar la distancia de visibilidad

Fuente: Asociación Española de la Carretera.

CONCLUSIONES

Detectados los peligros existentes en un determinado tramo de carretera, se deberá hacer un análisis de viabilidad de las posibles soluciones con el fin de determinar la rentabilidad de las medidas por aplicar. En dicho análisis se deberá tener en cuenta al menos:

- Número estimado de víctimas mortales y heridos evitados gracias a la aplicación de la(s) medida(s).
- Costo económico y social ahorrado por la reducción de víctimas mortales y heridos.
- Costo de ejecución, instalación y mantenimiento de las soluciones adoptadas.

REFERENCIAS

- Asociación Española de la Carretera (2015). *El factor infraestructura. Aspectos generales* de la Asociación Española de Carretera: <http://www.aecarretera.com/>.
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID): <http://www.iadb.org/>. Cal y Mayor Reyes, R. & Cárdenas Grisales, J. (enero de 2007). *Ingeniería de tránsito. Fundamentos y aplicaciones*, 8.ª ed. México: Alfaomega, 597 pp.
- Cárdenas Grisales, J. (octubre de 2008). *Diseño geométrico de carreteras*, 1.ª ed. Bogotá: Ecoe Ediciones, 409 pp.
- Invías (2008). *Manual de diseño geométrico para carreteras*. Bogotá: Invías.
- M5.1 (2002). *Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles*, 11. Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica.
- Universidad de Valencia (2015). *Las infraestructuras y la seguridad vial*.

Cuantificación de la probabilidad o chance de evitabilidad en un accidente de tránsito cuando se supera la velocidad límite en un tramo vial

Quantification of avoidance chance or likelihood in a traffic accident when top speed is broken on a road strip

ALEJANDRO RICO LEÓN¹ - DIEGO LÓPEZ M.²

1. (Autor) Físico - Especialista IRAT. IRSVIAL, Colombia

2. (asesor-revisor) Físico y magíster en Ciencias Físico Matemáticas. IRSVIAL, Colombia

arico@irsvial.com - dlopez@irsvial.com

Recibido: 31/03/2016 Aceptado: 10/04/2016

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

Resumen

El presente artículo se construye con el fin de concretar y parametrizar técnicamente la situación específica del análisis de evitabilidad de un accidente de tránsito en el que la velocidad de circulación del vehículo se constituya como la hipótesis del evento y pueda llegar a ser la causa de éste.

Basados en el análisis técnico de la información recopilada del evento, su calidad y el análisis cinemático de éste se construye un modelo mediante el cual se calcula el chance o probabilidad en términos de la frecuencia de ocurrencia de la fase de conflicto mediante el uso de Montecarlo para cada una de las operaciones, distancia total de parada, distancia de reacción e intersección de puntos en el análisis operacional.

Palabras claves: evitabilidad, frenado de emergencia, Montecarlo, chance, área de impacto, distancia de reacción.

Abstract

The present article is made in order to parameterize technically the specific situation of the analysis of accident avoidance where the speed of a vehicle is taken as the hypothesis of the event and could become the cause of it.

Based on the analysis of the evidence extracted from the event, the quality of it and the kinematical analysis of the event, a model is built to calculate the chance or the likelihood in terms of frequency of occurrence of the impact phase, using the Montecarlo method for each one of the mathematical operations, total stopping distance, reaction distance, and the interjection of points in the operational analysis.

Keywords: avoidance, emergency brake, Montecarlo, chance, impact area, reaction distance.

La idea de plantear y utilizar este método surge de la identificación del problema cuando se quiere establecer con mayor puntualidad –dentro del marco probable, claro está– si se logra o no evitar la ocurrencia de un accidente de tránsito, esto trabajado en correlación con el método científico utilizado dentro del proceso de reconstrucción, es decir, todo lo relacionado con el modelo físico, la propagación de errores, los rangos de las variables, el rango de los resultados y la probabilidad de éstos.

Inicialmente, oímos hablar o leemos en textos acerca de accidentología sobre el punto de percepción real y punto de impacto, los cuales teóricamente funcionan como descripción de momentos en el desarrollo del accidente y sirven para ahondar en el análisis e interpretación de un suceso, pero desde el punto de vista científico y el consecuente desarrollo numérico-operacional en una reconstrucción, estos términos han trascendido, por ejemplo, a “zona o área de percepción y área o zona de impacto”, a los que puede agregárseles el término “probable” (zona de percepción probable, área de impacto probable), basados en la definición de esta palabra en el marco del análisis técnico-científico que se está realizando.

Básicamente, se parte en este análisis de la identificación de un área/zona de impacto, ya sea por el análisis de evidencias identificadas y registradas por los

investigadores de campo, por métodos iterativos o por correlación teórica de datos, etc., donde se establece que el impacto o contacto ocurre en algún punto dentro de esa área, lo que nos enlaza con la definición teórica planteada en la accidentología.

Ahora bien, estableciendo el inicio de la maniobra evasiva efectiva utilizada por el conductor (generalmente un frenado de emergencia, con huellas de frenado asociadas), se calcula el área o zona de percepción real para el evento que se analiza, la cual es un conjunto de puntos dentro de un rango determinado por los resultados del análisis de evidencias, modelo físico y consecuente combinación de valores en los cálculos numéricos.

De esta manera, al identificar que nos estamos moviendo en un conjunto de puntos, tanto en el área de impacto como en la de percepción, queremos analizar cuál es la chance de partir, transitando a la velocidad reglamentaria para la zona de un punto en el área de percepción establecida para el accidente analizado, reaccionar bajo el rango promedio (tiempo psicométrico, día/noche) y realizando un proceso de frenado de emergencia, hasta donde vamos a llegar y determinar la relación entre el punto de parada y los puntos del área de impacto. Esto es, que partiendo de un punto del conjunto en el área de percepción, el punto total de parada estará o no en el conjunto de puntos del área de impacto.



Fuente: Elaboración del autor.

Imagen 1. Representación gráfica del modelo de áreas con puntos accidentológicos, origen e intersección de conjuntos.

Con estos parámetros y en términos de conjuntos se identificará, mediante el método de Montecarlo¹, el conjunto de puntos de resultados posibles, partiendo desde puntos del área de percepción y su intersección con los puntos del área de impacto.

El anterior diagrama representa visualmente lo que en materia de conjuntos se está analizando en cuanto al chance de evitabilidad del contacto entre los objetos involucrados en el accidente, permitiendo al final hacer una comparación cuantitativa que nos da como resultado un valor numérico sobre el chance o el porcentaje de evitabilidad u ocurrencia.

Básicamente, el modelo es el que se describe a continuación:

- Identificación del área/zona de impacto, ancho y largo (denominado conjunto C, con sus respectivos puntos c_j).
- Cálculos del área de percepción e inicio de reacción –o distancia de reacción– basados en la velocidad calculada del vehículo y el inicio de la maniobra evasiva (llamado conjunto B, con sus respectivos puntos b_j).
- Cálculo de la distancia total de parada a la velocidad límite establecida para la vía (v) donde ocurren los hechos, con el mayor valor de desaceleración (μ_j comprendido entre el rango $\mu_{min} - \mu_{max}$) y tiempo de reacción adecuado para el momento y características del conductor (t_j comprendido entre el rango $t_{min} - t_{max}$) (denominado conjunto D, con sus respectivos puntos d_j).

$$d_j = v \cdot t_j + \frac{v^2}{2\mu_j g}$$

- Establecer el origen o cero de referencia al inicio del área/zona de percepción (para el planteamiento del modelo y de la interacción entre conjuntos se realiza un planteamiento en una dimensión, es decir, se valora solamente la componente x de los puntos en las respectivas áreas).

- Partiendo del cero de referencia, se hace la siguiente operación:

$$k_j = b_j + d_j$$

- Los múltiples resultados k_j obtenidos del cálculo mediante un Montecarlo se tabulan, y por medio de un algoritmo de una hoja de cálculo se hace el análisis condicional:

$$\text{Si } k_j - c_j < 0 \xrightarrow{\text{yields}} 1$$

$$\text{Si } k_j - c_j \geq 0 \xrightarrow{\text{yields}} 0$$

- Se suman todos los resultados iguales a uno y se dividen por el número de operaciones realizadas, lo que permite calcular el porcentaje de resultados positivos, los cuales podemos catalogar como aquellos resultados donde el contacto no ocurre, es decir, el evento es evitable. Se considera repetir el proceso en varias ocasiones, con la intención de establecer una media y su respectivo margen de error.

De este modo se logra la cuantificación en términos prácticos para la evitabilidad, ya que como hemos expuesto desde el punto de vista científico, los valores específicos son poco probables y fiables en una reconstrucción.

El siguiente es un ejemplo donde se aplica el análisis de evitabilidad para un caso concreto:

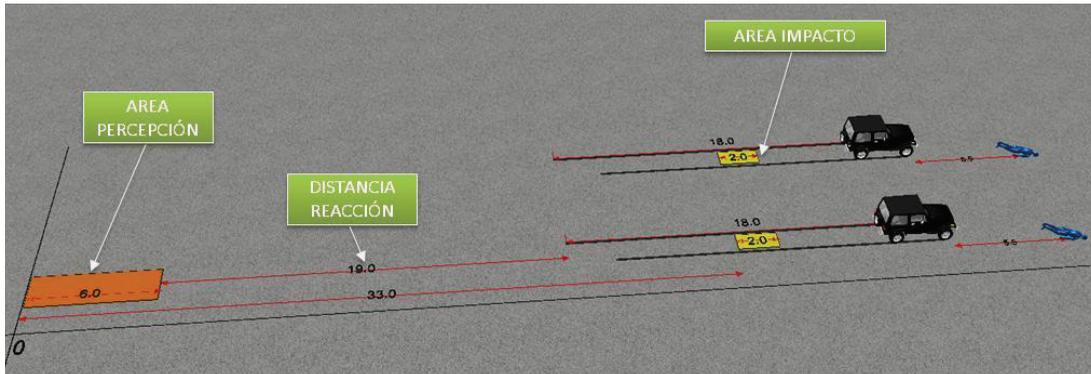
- Camperero que realiza un frenado de emergencia en un tramo de vía urbano residencial, marcando unas huellas cuya longitud máxima es de 18 m, y durante el proceso de frenado entra en contacto con el cuerpo del peatón (se identifican fragmentos y vestigios en un área de 2 x 1 m).

Se calculan la velocidad al inicio de la huella (57-60 km/h) y su respectiva distancia de reacción (19-25 m, con un tr: 1,2 – 1,5 s) (imagen 2).

Se analiza, mediante una hoja de cálculo, lo que ocurriría transitando a 30 km/h y el chance de evitabilidad del contacto con el peatón (imagen 3).

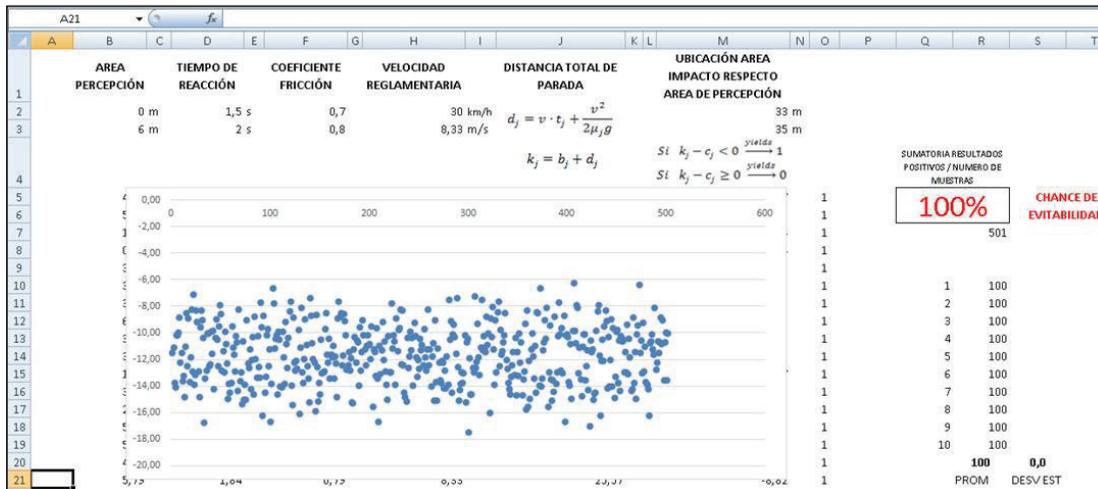
Se obtiene un 100 % de probabilidad o chance de evitar el contacto si el vehículo hubiese transitado a 30

1. Se utiliza este método con el fin de correlacionar de manera aleatoria mediante el uso de plantillas de cálculo, con una confiable generación de números aleatorios.



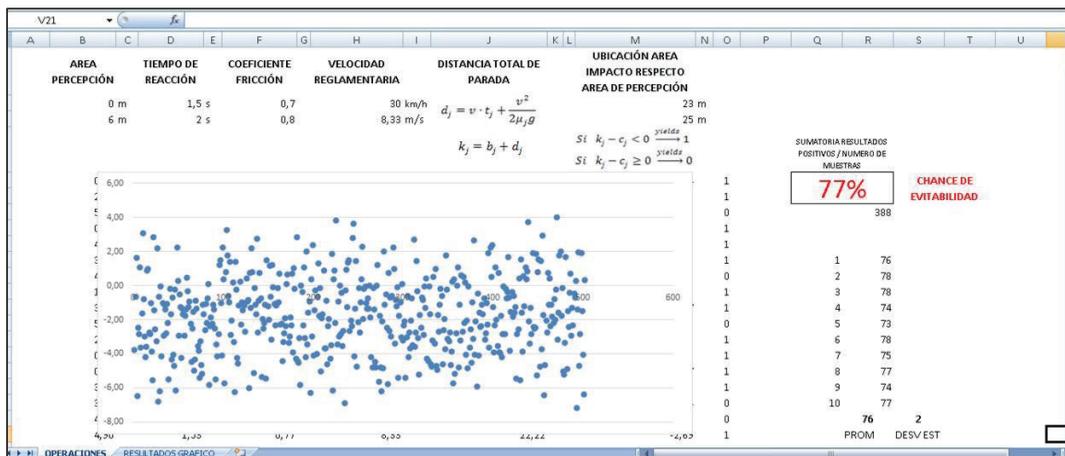
Fuente: Elaboración del autor.

Imagen 2. Representación gráfica del ejemplo planteado, en el que se ilustra la relación entre el área de impacto y percepción (distancia de reacción) y el origen para el inicio del proceso.



Fuente: Elaboración del autor.

Imagen 3. Imagen de la plantilla de cálculo donde se observan las variables utilizadas, los rangos y los puntos obtenidos en el proceso de frecuencia relativa en una operación de Montecarlo.



Fuente: Elaboración del autor.

Imagen 4. Imagen de la plantilla de cálculo donde se observan las variables utilizadas, los rangos y los puntos obtenidos en el proceso de frecuencia relativa en una operación de Montecarlo.

km/h (nótese en el registro gráfico de la hoja de cálculo que todos los puntos k_j son menores de cero).

Podemos simular que el área de impacto no se encuentra a 33-35 m respecto del área de percepción, sino que está entre 23 y 25 m (imagen 4).

Se obtendría entre un 74 y 78 % de chance de evitabilidad de ocurrencia del evento, valor que permite identificar que para el porcentaje restante, el contacto cuando se produzca será a una velocidad inferior a la del contacto en el accidente, reduciendo la severidad del impacto y la posibilidad de lesiones.

Con los resultados obtenidos en el proceso y con los parámetros de aplicabilidad, se puede dar en términos

cuantitativos una respuesta sobre la evitabilidad del evento, lo cual en un proceso judicial puede llegar a atener una significativa injerencia y utilidad; y paralelamente permite, en la reconstrucción del evento establecer una causa probable de éste y así ratificar o desvirtuar las hipótesis planteadas sobre el evento.

REFERENCIAS

- Blake I.F. (1979). *An introduction to applied probability*. John Wiley & Sons.
- Limpert, R. (1999). *Motor vehicle investigation and reconstruction and cause analysis*. Lexis Publishing.

Seguridad activa y seguridad pasiva, sistemas fundamentales en un vehículo de hoy

Active and passive security, key systems in today's vehicles

FRANCISCO PULIDO VARÓN

Ingeniero mecánico de la Universidad de América. Experto universitario en Investigación de Accidentes de Tránsito de Northwestern University (Illinois, Estados Unidos) y de Madrid (España).

fpulido@irsvial.com

Recibido: 31/03/2016 Aceptado: 10/04/2016

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

Resumen

Indiscutiblemente, para llegar a lo que se conoce en la actualidad como la seguridad activa y la seguridad pasiva de los vehículos, hay que recordar la historia para poder entender la evolución de este instrumento tan importante en la vida en los ámbitos personal e industrial de hoy en día, como es el vehículo. En el presente artículo primero se mira la evaluación de los vehículos a lo largo de la historia y sus elementos, para luego encadenarlos con la seguridad activa y la seguridad pasiva de los vehículos y de las motos.

Palabras claves: seguridad vial, seguridad activa, seguridad pasiva y vehículo.

Abstract

Without a doubt, to achieve what is now known as active and passive vehicle security, history must be remembered in order to understand the evolution of vehicles as important assets for both personal and industrial aspects of life. This paper first shows the assessment of vehicles along history and their elements, then it links them to active and passive security systems of cars and motorbikes.

Keywords: road safety, active security, passive security, vehicles.

INTRODUCCIÓN

Desde los tiempos del siglo XVIII, cuando el escritor e inventor francés Nicolas-Joseph Cugnot dio un gran paso al construir el primer automóvil de vapor en 1769, diseñado inicialmente para arrastrar piezas de artillería, el cual para su momento era un vehículo demasiado pesado, ruidoso y temible, que comenzó a circular por las calles de París. Se trataba de un triciclo que montaba sobre la rueda delantera una caldera y un motor de dos cilindros verticales y 50 litros de desplazamiento; la rueda delantera resultaba tractora y directriz a la vez, trabajando los dos cilindros directamente sobre ella. Ello dio pie a ese maravilloso invento que revolucionaría la industria a escala mundial.



Fuente: <http://mx.tuhistory.com/content/la-historia-del-automovil>.

Figura 1. Automóvil de vapor de Cugnot, versión de 1771.

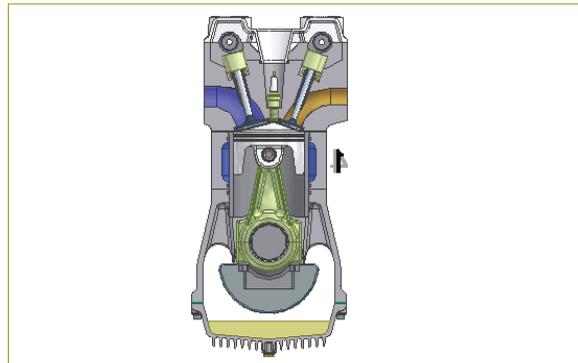
En 1770 construyó un segundo modelo, mayor que el primero, y que podía arrastrar 4,5 toneladas a una velocidad de 4 km/h. Con esta versión se produjo el que podría considerarse el primer accidente automovilístico de la historia, al resultar imposible el correcto manejo del monumental vehículo, que acabó chocando contra una pared que se derrumbó por el percance.



Fuente: <http://www.wissen.de/lexikon/cugnot-nicolas-joseph>.

Figura 2. Tranvía de vapor de Nicolas-Joseph Cugnot.

En 1876, Nicolaus August Otto construyó el primer motor de cuatro tiempos, un invento trascendental en el vehículo que hoy en día circula por nuestras vías. El francés Alphonse Beau de Rochas ya lo había inventado en 1862, pero no lo llegó a construir. Otto, que desconocía este invento, realizó después su propio motor; sin embargo, en 1886 perdió los derechos de la patente por decisión judicial.



Fuente: http://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/motores4t_etapas.htm.

Figura 3. Motor de combustión interna de Nicolaus August Otto, 1861.

A raíz de ese primer paso dado por Cugnot, saltamos a los primeros automóviles con motor de gasolina, desarrollados casi en forma simultánea por ingenieros alemanes, los cuales trabajando independientemente dieron origen a lo que hoy en día sigue vigente en cuanto a su esencia de invención. Karl Benz construyó su primer modelo (el Benz Patent-Motorwagen) en 1885, lo patentó el 29 de enero de 1886 y empezó a producirlo en 1888. Poco después, Gottlieb Daimler y Wilhelm Maybach, de Stuttgart, diseñaron su propio automóvil en 1889.



Fuente: <http://www.mundoautosymotos.com/tag/shelby-super-cars/>.

Figura 4. Vehículo Benz Patent-Motorwagen, 1886.

Desde esa época hasta nuestros días, el vehículo ha tenido paulatinamente incorporaciones de inventos que forman parte fundamental de su funcionamiento, entre los cuales están los más relevantes:

- 1895. Los hermanos Michelin crean el primer neumático para automóvil, en tanto que Continental Caoutchuk y Guttapercha Companie AG, de Hannover, comienzan la producción de neumáticos con cámara de aire para automóviles.



Fuente: <http://www.michelin.com.pe/sobre-nosotros/historia.html>.

Figura 5. Primer neumático.

- Septiembre de 1891. Henry Ford se incorpora a la Edison Illuminating Company. En 1903 funda la Ford Motor Company, se convierte en el fabricante de automóviles con más éxito de Estados Unidos (1908) y se vuelve famoso por su planta de producción en serie.



Fuente: <http://www.mundoautomotor.com.ar/web/2008/09/14/ford-modelo-t-100-anos-de-historia/>.

Figura 6. Producción en serie de vehículos Ford.

- 1898. Louis Renault construye su primer vehículo y funda una de las empresas más prestigiosas y antiguas de la industria del automóvil.



Fuente: <http://www.cicalrenault.com.br/institucional/historia-da-marca>.

Figura 7. Primera fábrica de Renault.

- 1901. En la empresa Benz se monta el motor en la parte delantera de un camión. Este principio conviene y se aplicará también en la fabricación de los vehículos de turismo. En estos vehículos, la tracción se efectúa a través de las ruedas traseras.



Fuente: <http://www.bari-mercedesbenz.com.ar/historiaMB.aspx>.

Figura 8. Camión con motor Mercedes-Benz.

- 1901. El empresario berlinés Franz Sauerbier desarrolla y construye un radiador de tubos con aletas.
- 1909. Por primera vez en la historia, un vehículo alcanza una velocidad máxima de 200 km/h. El artífice de la hazaña es Victor Hémary, pilotando un vehículo Benz en el circuito de Brooklands.
- 1908. El príncipe Enrique de Prusia registra la patente del limpiaparabrisas y en 1916 Willys-Knight ofrece limpiaparabrisas mecánicos.
- 1920 Aparece el primer auto sedán.



Fuente: <https://corporate.ford.com/company/history.html>.

Figura 9. Sedán, 1920.

- 1921. Duesenberg presenta los frenos hidráulicos en las cuatro ruedas.
- 1949. Después de la Segunda Guerra Mundial, Chrysler irrumpió en el mercado con nuevas innovaciones. Amortiguadores tipo *oriflow*, encendido del motor con las actuales llaves, zapatas de frenos unidas con remaches, freno de disco en las cuatro ruedas.

COMIENZOS DE LA SEGURIDAD ACTIVA Y LA SEGURIDAD PASIVA EN EL MUNDO

En el año 1959 se comienza a hablar en el mundo de seguridad activa y seguridad pasiva con el invento del cinturón de seguridad, creado con el fin de proteger al máximo la vida de los ocupantes.

Seguridad activa

Son todos los elementos, conjuntos y sistemas que forman parte del vehículo y que le confieren un correcto comportamiento en marcha o en movimiento. A continuación se enmarcan algunos de los elementos relacionados con la seguridad activa, de acuerdo con su función y su objetivo, lo cual de lo contrario puede conducir a un accidente de tránsito.



Fuente: <http://www.feuvertenmarcha.org/conozcamos-nuestro-coche-elementos-de-seguridad-activa/>.

Figura 10. Elementos de la seguridad activa.

Tabla 1
Elementos de la seguridad activa

Función	Elementos de Seguridad activa	Objetivo
Visibilidad	Luces Farolas Limpiaparabrisas Espejos	Ver y ser vistos
Estabilidad	Llantas Sistema de dirección Sistema de frenos (ABS) Sistema de suspensión Tracción y control de estabilidad	Dominio del vehículo en cualquier terreno y circunstancia
Aceleración y desaceleración	Motor Transmisión	Manejo y rapidez del vehículo
Confort	Sillas Climatización Vidrios Dirección asistida Parqueo inteligente	Evitar la fatiga y el cansancio

Fuente: Elaboración propia.

Hoy en día ya se habla de conducción autónoma, para que la autonomía del vehículo compense —en lo posible— el error humano. En Europa, de acuerdo con la clasificación SAE, los vehículos ya han alcanzado el nivel 2 en cuanto a transporte autónomo (autonomía parcial), pero es posible que los vehículos con el nivel 3 (autonomía condicional) lleguen a las carreteras europeas en dos o tres años, antes de 2020 como máximo. Algunos de estos sistemas también son de uso obligatorio en cumplimiento de la normativa de seguridad para los vehículos de la comunidad europea. La finalidad de la mayoría de estas tecnologías activas es intervenir y, de ese modo, evitar que se produzca una colisión. Los sistemas de seguridad activos, como el ABS (sistema de frenado antibloqueo), ESC (sistema de control electrónico de estabilidad) y AEB (sistema de frenado de emergencia automático), permiten mayores niveles de automatización y facilitarán su aplicación. Las futuras versiones de estos sistemas incluirán evitabilidad en accidentes y paradas de emergencia.



Seguridad pasiva

Son todos los elementos conjuntos y sistemas que ante un eventual accidente disminuyen las consecuencias de éste hacia la reducción de lesiones a los ocupantes o terceros en el vehículo. La particularidad es que, en su gran mayoría, no necesitan un mantenimiento periódico para su estado óptimo al momento de su activación.

De igual manera que la seguridad activa, se enumeran a continuación algunos de los elementos que están presentes en este grupo:

Tabla 2
Elementos de seguridad pasiva

Elementos de seguridad pasiva	Objetivo
Carrocería	Proteger a los ocupantes en caso de un accidente con otros vehículos o con partes de la vía.
Cinturón de seguridad	Retener a los ocupantes para evitar que se afecten con partes internas del vehículo o que afecten a otros pasajeros.
Bolsa de aire	Proteger a los ocupantes de golpes con los vidrios, el timón u otras partes del vehículo.
Apoyacabezas	Evitar lesiones cervicales (efecto látigo).
Columna de la dirección	Evitar lesiones al conductor en tórax y piernas.
Vidrios laminados y templados	Evitar lesiones en ocupantes por rotura, además de permitir la extracción de heridos dentro del vehículo.

Fuente: Elaboración propia.

Próximamente se cumplen 57 años del invento del cinturón de seguridad, el elemento bandera de la seguridad pasiva más extendido en el mundo, cuyo uso es obligatorio en la actualidad. Exactamente el 13 de agosto de 1959 Nils Bohlin, un ingeniero del fabricante de autos Volvo, lo inventó y luego saldría a la venta en el Volvo PV544, que lo incorporaba por primera vez con un sistema de tres puntos de anclaje. Desde entonces, miles de personas han salvado la vida en accidentes de tránsito.

El cinturón de seguridad empezó a utilizarse en los años cincuenta y desde entonces no ha variado mucho su forma y su tecnología. Por el propio diseño de los automóviles es difícil crear otro tipo de cinturones de seguridad con un cuarto punto de anclaje, como ocurre en los vehículos de competición. La mejoría sería notable, pues el cuerpo, durante una colisión, se movería mucho menos, reduciendo las probabilidades de que el conductor o sus pasajeros sufrieran lesiones.

La bolsa de aire es otro de los elementos fundamentales en la seguridad pasiva al volante. Estas bolsas, escondidas bajo los embellecedores del coche (salpicadero, timón, puertas, sillas, etc.), han salvado la vida a muchas personas. Cuando se produce un accidente, en cuestión de milisegundos se inflan para amortiguar los golpes que pueden sufrir los ocupantes del habitáculo. Se utilizó por primera vez en 1981, y desde entonces la tendencia en la industria automovilística ha aumentado el número de bolsas por vehículo, añadiendo la bolsa del pasajero, de tipo cortina, entre otros.



Fuente: Manual de reconstrucción de accidentes de tráfico. Centro de Experimentación y Seguridad Vial Mapfre (Cesvimap, S.A.), 2012.

Figura 11. Elementos de seguridad pasiva.

CLASIFICACIÓN DE LOS VEHÍCULOS EN COLOMBIA

En Colombia, los vehículos se clasifican en la siguiente forma de acuerdo con su tamaño:

Dependiendo de su tamaño, incluyendo las motocicletas, en cada uno de ellos la seguridad activa y pasiva está presente.

TIPO DE VEHICULO		ESQUEMA	TIPO DE VEHICULO	ESQUEMA	
AUTOS			CAMION C3		
BUSES	BUSETA		CAMION C4		
	BUS		TRACTO-CAMION C2-S1		
	BUS METROPOLITANO		TRACTO-CAMION C2-S2		
C2-P	CAMION DE DOS EJES PEQUENO		TRACTO-CAMION C3-S1		
C2-G	CAMION DE DOS EJES GRANDE		C5	TRACTO-CAMION C3-S2	
			> C5	TRACTO-CAMION C3-S3	

Fuente: Manual de diseño geométrico del Inviás, 2008.



Fuente: Manual de reconstrucción de accidentes de tráfico. Centro de Experimentación y Seguridad Vial Mapfre (Cesvimap, S.A.), 2012.

Figura 12. Lesiones vs. protección.

SEGURIDAD ACTIVA Y PASIVA EN MOTOCICLETAS

En las motocicletas son muy pocos los elementos con los cuales se cuenta en lo referente a seguridad pasiva. Por ello, todos los elementos se dirigen hacia el motociclista y su pasajero en su indumentaria.

El elemento bandera del motociclista en seguridad pasiva es el casco. Hoy en día, entre otros elementos de que se dispone está la bolsa de aire para el motociclista, la cual amortigua y disminuye su severidad ante un impacto.

CONCLUSIONES

La seguridad, tanto activa como pasiva, no para; por todo lo anteriormente descrito estamos seguros de que al momento de publicar este artículo en alguna parte del mundo estarán implementando un nuevo elemento de seguridad en los vehículos, buscando con ello disminuir la severidad de éstos hacia los ocupantes y las personas que los rodean.

REFERENCIAS

Manual de reconstrucción de accidentes de tráfico. Centro de Experimentación y Seguridad Vial Mapfre Cesvimap, S.A., 2012. Motoracer.wwwmotoracer.com.
Decreto 1079 de 2015. Mintransporte, Colombia.
Ley 769 de 2012. Mintransporte, Colombia.

Investigación de los accidentes de tránsito: la tentación de la infalibilidad o la crisis de la evidencia

Research on traffic accidents: Temptation of infallibility or crisis in evidence

JUAN MARTÍN HERNÁNDEZ MOTA

Maestro en Criminalística, perito en Tránsito Terrestre, México.

mixe_mota@hotmail.com

Recibido: 31/03/2016 Aceptado: 10/04/2016

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

Resumen

Ya nadie discute hoy en día la importancia de los dictámenes periciales en la impartición de justicia. Las contribuciones de los expertos en diferentes áreas forenses se suceden a un ritmo apremiante; sus aplicaciones técnicas logran éxitos cada vez más sorprendentes, de profunda repercusión en el desarrollo social de los pueblos. De ahí la trascendencia creciente que tiene no sólo entre sus pares –es decir, otros peritos–, sino también entre las personas sensibles a la problemática social que quieren entender qué es lo característico en el planteo científico de los problemas forenses.

Dos son los caminos que permiten analizar en este artículo la importancia de la adecuada formación científica en la materia forense de los accidentes de tránsito: el primero consiste en seguir de cerca el egreso de nuevos expertos y su rápida inserción en el ámbito forense para la resolución de un hecho accidentalógico; el otro es teórico, lo que implica hacer referencia a los métodos de investigación que dichos expertos utilizan.

Palabras claves: seguridad vial, accidentes, análisis forense, dictamen pericial.

Abstract

No one argues against the importance of expert rulings in the justice system. Expert opinions' contributions in different forensics fields occur at a sped up rate; their technical applications achieve more successful results every time, which deeply affects social development of towns. Therefore, the increasing transcendence that they have not only among peers -that is, other experts-, but also among people sensitive to this social issue who want to understand what is distinctive in the scientific procedure of forensics problems.

Two are the ways that allow this article to analyze the importance of scientific education behind forensics in traffic accidents: the first one implicates a close follow-up of newly graduated experts and their fast insertion in the forensics field of the resolution of an accident related occurrence; the other one is theoretical, which implicates making reference to research methods that the aforementioned experts use.

Keywords: road safety, accidents, forensics analysis, expert ruling.

INTRODUCCIÓN

Ya nadie discute hoy en día la importancia de los dictámenes periciales en la impartición de justicia. Las contribuciones de los expertos en diferentes áreas forenses se suceden a un ritmo apremiante; sus aplicaciones técnicas logran éxitos cada vez más sorprendentes, de profunda repercusión en el desarrollo social de los pueblos. De ahí la trascendencia que tiene no sólo entre sus pares —es decir, otros peritos—, sino también entre las personas sensibles a la problemática social que quieren entender qué es lo característico en el planteo científico de los problemas forenses.

Dos son los caminos que permiten analizar en este artículo la importancia de la adecuada formación científica en la materia forense de los accidentes de tránsito: el primero consiste en seguir de cerca el egreso de nuevos expertos y su rápida inserción en el ámbito forense para la resolución de un hecho accidentológico; el otro es teórico, lo que implica hacer referencia a los métodos de investigación que dichos expertos utilizan.

En la experiencia pericial, y a lo largo de mi formación académica, he tratado de ser expositor y defensor del pensamiento científico; sin embargo, no trataré de ocultar las dificultades a las que se enfrenta el experto forense al comunicar en forma verbal o escrita su opinión especializada; mi propósito, ante todo, es que el lector advierta el interés del problema y se sienta atraído a estudiarlo por su cuenta, con toda la extensión e importancia que exige.

El progresivo aumento en el número de nuevos expertos de las pericias ha resultado ser un arma de doble filo para los órganos de justicia que los requieren, y por ende para la sociedad, debido principalmente a la deficiente preparación académica de los nuevos investigadores que egresan con una rapidez impresionante de las diferentes academias e institutos de formación; algunos, dependientes de las propias entidades policíacas y de procuración de justicia, y otros, de instituciones educativas, sin que tengan conocimientos a veces elementales sobre los métodos de investigación que exige el análisis forense.

DESARROLLO

En un mundo abarrotado de expertos forenses, la implantación de modelos propios del conocimiento técnico del investigador abriría nuevos horizontes para

estos investigadores noveles que pretenden enfrentar con éxito cualquier tipo de caso. Infortunadamente, esto no es así. Las aparentes ventajas de graduar de las academias e institutos de formación nuevas generaciones de peritos en diversas áreas forenses, bajo las premisas no siempre tan claras de depurar los cuerpos periciales, evitando la corrupción y desalentando malos hábitos adquiridos por éstos, cubriendo a la vez esas plazas faltantes que tanto urgen en diferentes zonas geográficas, implica graves riesgos, como la inexperiencia patente de muchos de ellos.

Lo dice claramente Ruy Pérez Tamayo: “El infeliz estudiante se ve inevitablemente forzado a echar mano de sus propios recursos para recoger al azar y por casualidad, de aquí o de allá, fragmentos desorganizados del método científico, así como fragmentos de métodos no científicos. Y cuando el estudiante se convierta en un investigador profesional, como no posee la educación y la instrucción necesarias, caminará torpemente en la oscuridad, siguiendo caminos costosos y cerrados y echando mano de cosas tan desconfiables como adivinanzas al azar, conjeturas arbitrarias, corazonadas subjetivas, intuición accidental, suerte pura, accidentes afortunados, pruebas no planeadas e invariablemente erróneas”.

Sirva como ejemplo el caso del empleo de modelos inadecuados para la reconstrucción forense, con los cuales los nuevos expertos formulan sus opiniones “científicas”, en razón solamente de su estricta “percepción de los hechos” y cuya génesis parte de las experiencias previas de otros expertos más “viejos”. Otra falla más, es el uso forense de hipótesis estadísticas que reflejan la información recogida sobre un indicador que en la gran mayoría de los casos es difícil ajustarlo al caso nuevo estudiado aún con sus adecuadas muestras de control, o la extracción de datos de expedientes de forma burocrática, sin el cuidado suficiente para elegir lo importante de lo recabado previamente por otras autoridades, o divagar pidiendo demasiados datos que terminaran por hundirnos en un mar de papel que ocultara el objetivo real a alcanzar, dificultando la crítica científica de las diferentes facetas de la realidad a la que se enfrentará el experto.

INTERROGANTES

Las preguntas claves que hay que contestar son: ¿se podrá destruir la fiabilidad de un dictamen pericial por



Imagen desarrollada con software aras 360, licencia adquirida por el autor.

fallas metodológicas? ¿La evidencia deja de serlo sólo por una cuestión de procedimiento?

Para dar respuesta al primero de los interrogantes formularé otras preguntas más:

1. ¿Por qué los métodos científicos empleados por el experto son generalmente aceptados como fiables dentro de la comunidad judicial que conoce del caso?

Admitir en un principio una jerarquía académica del experto es común entre la comunidad judicial, la sociedad y otros especialistas. El juez, considerado perito de peritos, otorga un valor incuestionable a la opinión pericial del experto elegido mejor calificado. Pocas personas seguramente se opondrán si el investigador forense menciona en el cuerpo de su estudio que utilizó la ciencia y la técnica como herramienta y soporte de su opinión, aunque en algunos casos no sea así.

Se comprende, en consecuencia, como dicha actitud haya sido acogida con gran entusiasmo por la sociedad en general, pues para ella es casi un acto de fe creer en la sabiduría del investigador forense. No tiene de otra, ya que la confesional dejó de ser la prueba reina y definitiva para la impartición de justicia, por sus más que justificadas razones. Se trata de la consolidación victoriosa y decidida de la riqueza de la investigación directamente vinculada con el intelecto y, por tanto, del surgimiento de grupos numerosos de científicos sensibles al problema delictivo, mismos que a partir de una serie de interrogantes que no pueden responderse empíricamente exigen un planteo teórico.

A principios del siglo XVII, los científicos todavía desdeñaban el uso de las lentes diseñadas por los arte-

sanos porque deformaban los objetos o les cambiaban el color, y a su parecer deformaban la realidad de lo que observaban. Fue necesario que Galileo Galilei sacudiera violentamente ese raciocinio del supuesto engaño de las lentes al decir: “Puede ocurrir que, a través de las figuras vistas en el antejo, se logre conocer la realidad mejor que a simple vista”.

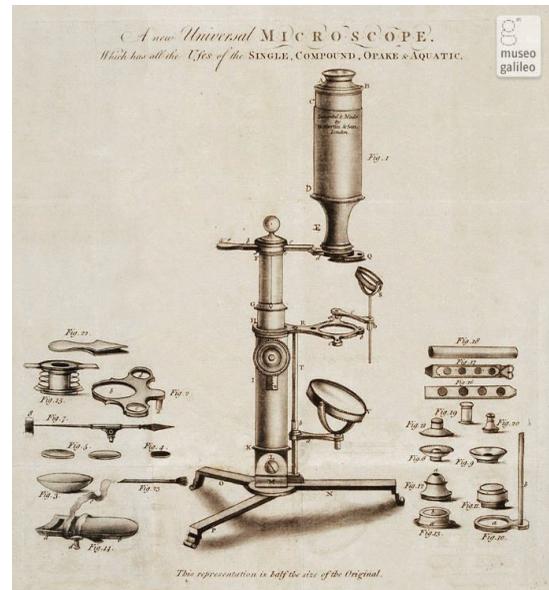


Imagen de uso libre. Fuente: <http://storia3c.wikispaces.com/+galileo+galilei>.

Como resultado de situaciones como las anteriores, en las que la evolución de la ciencia ha justificado sobradamente sus métodos, la sociedad tiende a creer en los expertos que dicen recurrir a ella.

2. ¿El experto está adecuadamente preparado para opinar sobre el tema?

El título universitario es un reconocimiento del Estado y de la sociedad que se otorga al individuo como prueba documental de que posee una larga trayectoria académica, cargada de obstáculos intelectuales superados exitosamente. Se les da a las personas formadas en un área específica del conocimiento humano. Sin embargo, para ser experto en alguna materia se requiere constante preparación y actualización en su especialidad. Por ejemplo, un ingeniero no sólo por su título universitario puede llegar a ser experto en la investigación de los accidentes de tránsito, aun cuando aborde con suficiente facilidad el aspecto físico-matemático. El ingeniero debe prepararse ahora para ser investigador forense. Ya tiene una ventaja sobre los que carecen del título universitario, pero es insuficiente.

Es sabido que grandes personalidades son requeridas para peritar, buscando que la opinión pericial sea incuestionable, pero esto no garantiza el éxito en la investigación. El título, el renombre y la aceptación social de un individuo son una gran ayuda, pero no son determinantes para el esclarecimiento de los hechos.

3. ¿Los procedimientos científicos que se emplearon son en realidad los correctos para intentar establecer la producción de los hechos?

En cuanto la ciencia demostró que podía insertarse con éxito dentro de los estudios forenses y que durante muchos años se había reservado a las artes secretas y misteriosas de “así es, porque yo lo digo”, inmediatamente surgió la necesidad de volverse “científicos” sobre la marcha, heredando las ambiciones y limitaciones propias del que fue improvisado para desempeñar un cargo de tal relevancia.

Pero este cambio exigía ante todo que la ciencia se concibiera como una construcción esencialmente humana, es decir, como un instrumento valioso creado por nosotros para nuestro uso y provecho, y en el ámbito pericial para un mejor soporte de sus estudios y, por tanto, para beneficio de la sociedad. Sin embargo, resultó ser un obsequio más o menos gratuito para investigadores que se aferran a viejas prácticas, originando que la conquista de la ciencia de unos se vuelva botín de otros. Situación humillante para la ciencia, ya que en su nombre se cometen innumerables fechorías.

Para eliminar este jaque a la razón, se diseñaron nuevos procesos que exigían que los dictámenes estuvieran apegados al método de la ciencia, algo que pocos peritos han logrado; aun cuando sus formatos incluyen los pasos que contempla el método científico, la opinión pericial al final dista de su propio método elegido, porque sus conclusiones en algunos casos son sesgadas, lo que indica que no importa el procedimiento o método elegido porque lo relevante es el resultado, “Si sólo lo que se puede probar públicamente se puede copiar fraudulentamente, entonces bajo el mecanismo de la verdad se esconde siempre la voluntad de la mentira”, y como existen pocos mecanismos de verificación o revisión del documento emitido, el producto final no es congruente con lo analizado o puede tomar un camino que se aleje de la ciencia a la cual dice acudir.

En resumen, en el mundo pericial existen investigadores forenses que son respetuosos del método científico y sus conclusiones se acercan a la realidad de cómo fueron los hechos. Otros ocupan o dicen ocupar a la ciencia y sus métodos como herramienta en el estudio de sus casos, pero en la práctica dominan el arte de las inferencias personales, utilizando a la ciencia como una herramienta provocadora que beneficia a sus estudios de manera tendenciosa, y que ante la crítica certera poco tienen que decir. A algo de esto hacía referencia el ingeniero Víctor Irureta, investigador de los accidentes de tránsito de la Argentina, al hablar de la accidentología mágica. Palabras más, palabras menos, Irureta sostiene que algunos investigadores ocupan modelos matemáticos deliberadamente sesgados para obtener un resultado a modo. Es decir, ocupan la ciencia físico-matemática para justificar sus tropelías.

RESPUESTAS

Demos respuesta al segundo interrogante: ¿La evidencia deja de serlo sólo por una cuestión de procedimiento?

La triste realidad de un trabajo rutinario y susceptible de ser realizado continuamente implica que se pasen por alto procedimientos importantes para el desahogo de una diligencia judicial, lo que produciría que elementos relevantes en la investigación quedaran fuera de contexto al ser presentados, por ejemplo, extemporáneamente, o que se presuma que fueron contaminados por el mismo investigador al carecer de las

técnicas apropiadas para preservar la evidencia y sin una comprensión adecuada de los pasos del procedimiento científico que supuestamente gobernaban sus acciones. Cuando el investigador poco preparado permite que la emoción predomine sobre sus conocimientos, deja de lado datos y manejos adecuados de la evidencia que su inexperiencia le cobrará posteriormente.

En algunos momentos fuertes de los interrogatorios, los abogados defensores lograron poner al testigo experto en la “incómoda tesitura” de tener que oír o ver “que no conocían (o peor aún, que no podían conocer) lo que realmente estaban haciendo en ese momento”. Más aún, en casos en los que el interrogado apelaba a su “buen juicio profesional” para justificar la adecuación práctica de la laxitud mostrada en la realización de sus cometidos, el interrogatorio podía ser reconducido por el abogado hacia el extremo de hacer reconocer al testigo experto la posibilidad de que sus prácticas podrían contener detalles invisibles no registrados e incluso imposibles de registrar cuando uno está inmerso en la escena de su propia práctica.

Aun en estas fechas y en algunos corolarios de los dictámenes periciales emitidos por expertos, la cita que no falta es la siguiente: “El presente documento fue realizado a mi leal saber y entender y atendiendo a la experiencia que poseo en la investigación de este tipo de casos”. Vamos por partes. Como el grado de sabiduría del experto es difícil de medir, aunado a que la manera de entender cada problema tiene por naturaleza diferentes enfoques, además de que la experiencia del investigador pudo ser buena o mala y no se sabe a cuál recurrió, entonces la cita sobra. Lo correcto sería entonces mencionar que el dictamen se apegó a la metodología de las ciencias y que el resultado es la opinión particular a la que llegó luego de manejar una serie de hipótesis, y elegida una, la comprobó con sus experimentaciones, por lo que el resultado fue el mencionado.

CONCLUSIÓN

Al advertir que en el lenguaje ordinario judicial la contundencia de la opinión del experto es pocas veces cuestionada debido fundamentalmente al desconocimiento de la metodología de la ciencia, por parte del personal que se encuentra procurando o administrando

la justicia, es necesario que los procesos y formulaciones empleados en la reconstrucción del hecho sean supervisados por institutos o universidades independientes o auxiliares de los propios órganos de procuración y administración de justicia.

Con la opinión del experto se activan las leyes y reglamentos que pueden llegar a poner en riesgo la libertad de los implicados en un hecho delictuoso, su economía familiar, personal, y las consecuencias o secuelas psicológicas inherentes a la gravedad del caso.

La deficiente investigación criminalística y la ausencia de una clara metodología de investigación conllevan graves riesgos de inequidad, prejuicio, arbitrariedad y desprecio de la ciencia. Nadie tiene la verdad como propiedad exclusiva.

El propio experto debe considerar su dictamen pericial como un instrumento imperfecto, pero perfectible, y tratar entonces de corregirlo, de extraer de él otros lenguajes menos defectuosos y de construir –sin apartarse de la relatividad y provisionalidad de todo conocimiento humano– un camino que, elevándose por encima de sus propias limitaciones, permita captar mejores aproximaciones a la realidad de cómo sucedieron los hechos.

Los nuevos investigadores deben buscar afanosamente adquirir conocimientos especializados lo más pronto posible antes de peritar en su materia elegida, y dejar de lado la soberbia cinematográfica de la infalibilidad, y ante la inexperiencia natural del que emprende algo nuevo, la voluntad férrea del investigador que indaga hasta el último detalle.

Y en lo concerniente a los institutos y academias que forman investigadores forenses, responsabilidad real de asumir la tutoría de un experto egresado de sus aulas, confiabilidad a toda prueba de la calidad de sus académicos y actualidad de sus planes de estudio. Lo ideal es no desligarse de ellos aun cuando ya hayan salido de sus aulas, reconociendo a la vez la capacidad y experiencia de los expertos que han considerado ya desechables.

REFERENCIAS

- Geymonat, L. (s.f.). *Pensamiento científico*. Buenos Aires: Ed. Universitaria de Buenos Aires.
- Hernández Mota, J. La manipulación del conocimiento. <http://www.causadirecta.com/blog/investigacion-y-reconstruccion/item/278-la-manipulacion-del-conocimiento>.

Irureta, V. (2002). Validez del cálculo de velocidad por deformaciones. Seguridad Vial, www.seguridad-vial.com.

Izquierdo, j. (2009). *Lo falso auténtico: cosas en personas. Tecnología, cultura experta e identidad en la sociedad del conocimiento*. Gabriel Gatti Casal de Rey, Iñaki Martínez de Albeniz Ezpeleta, Benjamín Tejerina Montaña (coords.). Dialnet, pp. 249-275.

Pérez Tamayo, R. (1990). *¿Existe el método científico?* México: Fondo de Cultura Económica.

Rojas, R. (s.f.). *El proceso de la investigación científica*. México: Edit. Trillas.

Programa de educación en seguridad vial apoyado en la herramienta didáctica Sistema Simulador Universal de Accidentes de Tránsito (SSUAT)

Education program in road safety supported by the didactic tool Universal Simulator of Traffic Accidents (SSUAT)

SANTIAGO HENAO PÉREZ¹ - MARITZA CECILIA VILLAMIZAR ROPERO²

1. Decano del programa de Ingeniería Civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
2. Profesora asistente del programa de Ingeniería Civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

santiago.henao@escuelaing.edu.co - maritza.villamizar@escuelaing.edu.co

Recibido: 31/03/2016 Aceptado: 10/04/2016

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

Resumen

La educación en seguridad vial se ha abordado generalmente desde la casuística y las consecuencias del accidente de tránsito, buscando impresionar al individuo en las consecuencias de sus actos. En este artículo, rompiendo con el anterior paradigma, se presenta una propuesta de enseñanza de la seguridad vial, vista como una enfermedad de interés en salud pública como bien lo plantea la Organización Mundial de la Salud (OMS) y afrontada desde los ejes de Promoción de la Seguridad Vial y Prevención del Accidente de Tránsito en ambientes controlados y utilizando herramientas didácticas y pedagógicas pertinentes al tema que permiten representar, analizar, evaluar y comunicar los hechos del tránsito, enfatizando en los comportamientos seguros y la apropiación de la normativa desde la práctica, como es el Sistema Simulador Universal de Accidentes de Tránsito (SSUAT).

Palabras claves: seguridad vial, accidente de tránsito, educación, talleres, comportamientos seguros, SSUAT, autocuidado.

Abstract

Education in road safety has generally been approached from case studies and consequences of traffic accidents, trying to shock individuals with the results of their actions. This article, breaking the previous paradigm, presents a proposal for education in road safety, seen as a public health interest the way the World Health Organization (WHO) does and faced from the principles of Road Safety Promotion and Traffic Accident Prevention in controlled environments and using didactic and pedagogical tools. The Universal Simulator of Traffic Accidents (SSUAT in Spanish) is a tool that is pertinent to the topic at hand and allows for representation, analysis, assessment, and communication of traffic occurrences, focusing on safe behaviors and the understanding regulations in practice.

Keywords: road safety, traffic accident, education, workshops, safe behaviors, SSUAT, self-care.

INTRODUCCIÓN

El Plan Nacional de Seguridad Vial comprende una serie de acciones cuya base son los cinco pilares del Plan Mundial para el Decenio de Acción para la Seguridad Vial 2011-2020, proclamado el 1.º de marzo de 2010 por la Asamblea General de las Naciones Unidas, con el objetivo general de estabilizar y, posteriormente, reducir las cifras previstas de víctimas mortales en accidentes de tránsito en todo el planeta, aumentando las actividades en los planos nacional, regional y mundial.

Para la implementación y ejecución del Plan Nacional de Seguridad Vial, se definen como líneas de acción estratégicas las siguientes:

- Fortalecimiento de la gestión institucional.
- Comportamiento humano.
- Vehículos seguros.
- Infraestructura segura.
- Atención a víctimas.

Dado este contexto, se han generado acciones laborales, manejo de normas, procesos y procedimientos que llevan a un mismo fin (la seguridad vial), las cuales hoy son importantes para poder cumplir las metas planteadas por los gobiernos a escala internacional.

Una de ellas es la educación vial, que nace de la necesidad del conocimiento que todo ser humano debe tener sobre la responsabilidad de él mismo cuando se enfrenta a la tarea diaria de movilizarse a través de cualquier medio de transporte; viéndolo así, se requiere desarrollar un componente pedagógico ajustado a las necesidades del entorno en el que vivimos, razón por la que se ha desarrollado y analizado una herramienta didáctica que permite representar, analizar, valorar, evaluar, confrontar y comunicar hechos sucedidos en el tránsito de una manera básica, integral, efectiva, sencilla, amigable, pertinente, y minimiza el riesgo de exposición en la vía, llamada Sistema Simulador Universal de Accidentes de Tránsito (SSUAT).

Al formular la pregunta ¿Cuál es el aporte del SSUAT en la seguridad vial?, ésta se aborda desde el apoyo que brinda a los programas de educación en prevención contra la accidentalidad y seguridad vial, de conformidad con las leyes 769 de 2002, 1383 de 2010 y 1503 de 2011, mediante la adopción de herramientas tecnológicas e instrumentos pedagógicos de comunicación y representación de hechos sucedidos en el tránsito, tanto al

Ministerio de Educación —por intermedio del SENA—, a la Policía Nacional de Colombia, y a la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, entre otras.

EDUCACIÓN EN SEGURIDAD VIAL

La educación vial consiste en acciones educativas, iniciales y permanentes, cuyo objetivo es favorecer y garantizar el desarrollo integral de los actores de la vía, tanto a nivel de conocimientos sobre la normativa, reglamentación y señalización vial, como a nivel de hábitos, comportamientos, conductas, y valores individuales y colectivos, de tal manera que permita desenvolverse en el ámbito de la movilización y el tránsito en perfecta armonía entre las personas y su relación con el medio ambiente, mediante actuaciones legales y pedagógicas, implementadas de forma global y sistémica, sobre todos los ámbitos implicados y utilizando los recursos tecnológicos más apropiados.

El fin último de la educación vial es el logro de una óptima seguridad vial. Por ello, la educación vial debe:

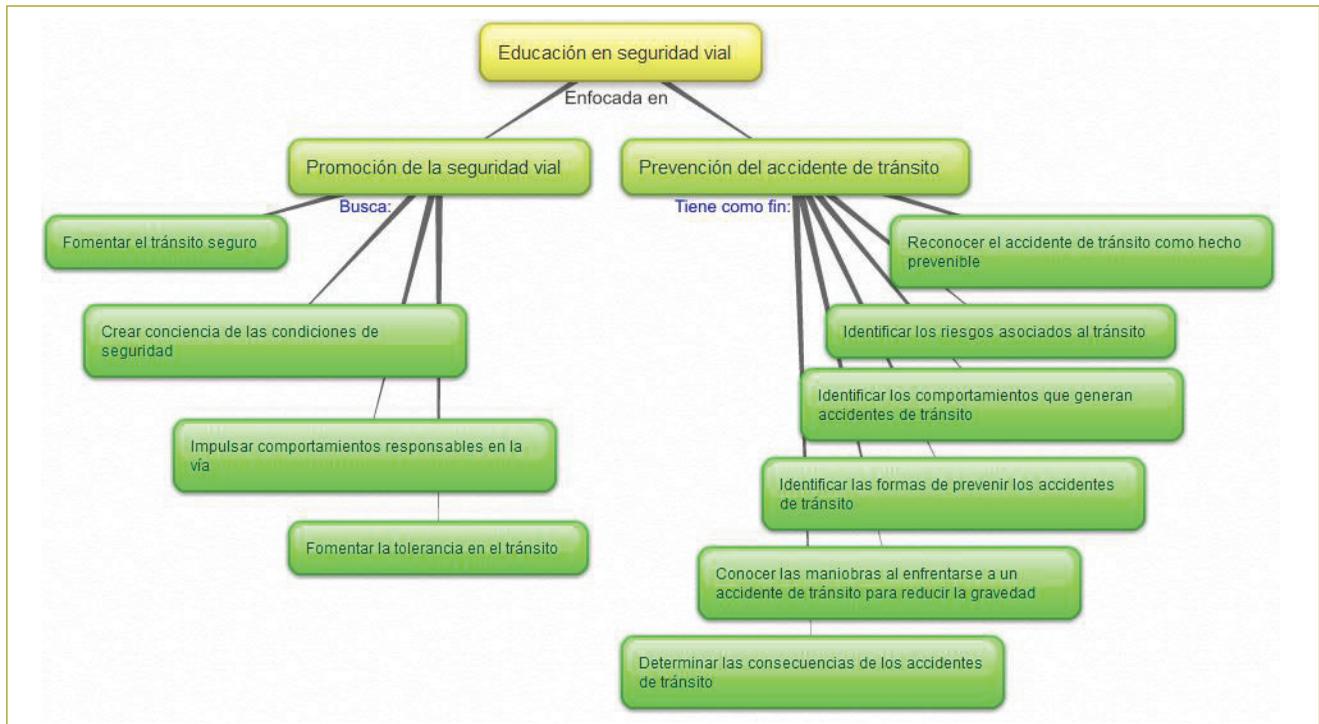
1. Ser permanente, acompañando el desarrollo de la persona en todas sus etapas de crecimiento.
2. Ser integral, transmitiendo conocimientos, habilidades y comportamientos positivos.
3. Estar basada en valores fundamentales, como lo son la solidaridad, el respeto mutuo, la tolerancia, la justicia, etc.
4. Lograr la convivencia en paz entre todos los actores de la vía¹.

De acuerdo con la anterior definición y ajustado al manejo que se brinda a las principales enfermedades de interés en salud pública, se propone abordar la educación vial desde la perspectiva de *promover* y *prevenir* como se presenta en el siguiente mapa mental:

Promover la seguridad vial

Son aquellas actividades de promoción de la seguridad vial que buscan la difusión e interiorización de conocimientos referentes a la seguridad vial y, a través de ellos, fomentar el tránsito seguro, crear conciencia de las condiciones de seguridad, así como impulsar comportamientos responsables y tolerantes en la vía.

1. Ley 1503 de 2011, artículo 3.º. Educación vial. Reglamentado por el artículo 1, Decreto Nacional 2851 de 2013.



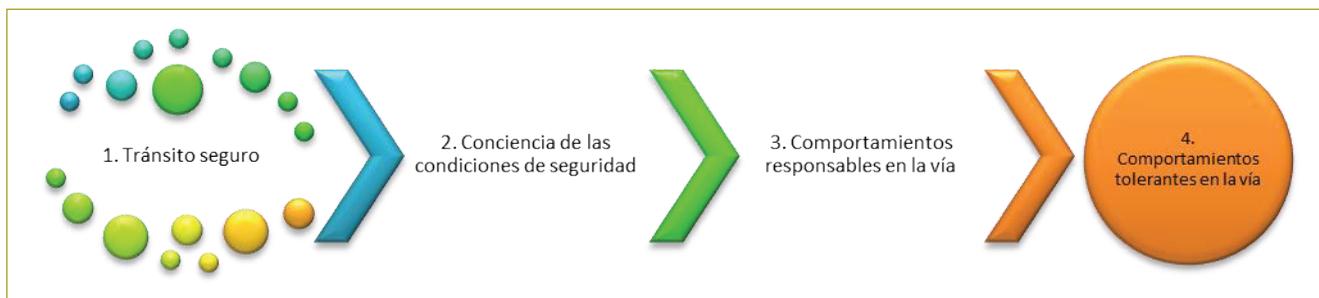
Fuente: Metodología para el diseño de talleres educativos en seguridad vial (SSUAT), tomo I, 2012.

Figura 1. Mapa mental para abordar la educación en seguridad vial.

OBJETIVOS DE LA PROMOCIÓN DE LA SEGURIDAD VIAL

En la promoción de la seguridad vial se busca la adquisición de conocimientos del tránsito, así como que los asistentes a las actividades educativas:

1. Se identifiquen como actores viales, con derechos, deberes y compromisos en la convivencia vial.
2. Conozcan e identifiquen el entorno e infraestructura vial próximo, así como los roles que cada actor desempeña en los espacios urbanos
3. Reconozcan su entorno y los riesgos asociados al transitar por las vías.
4. Identifiquen, conozcan y reconozcan la necesidad de respetar las normas de tránsito.
5. Conozcan los mecanismos de seguridad activos y pasivos desarrollados para garantizar la seguridad de los peatones, pasajeros y ciclistas.
6. Adquieran conciencia de la convivencia vial y sepan cómo contribuir a ella.
7. Identifiquen los comportamientos facilitadores para promover la seguridad vial y apaciguar el tránsito.



Fuente: Metodología para el diseño de talleres educativos en seguridad vial (SSUAT), tomo I, 2012.

Figura 2. Promoción de la seguridad vial.

Dentro de esta área podemos fomentar el tránsito seguro, crear conciencia de las condiciones de seguridad vial, impulsar comportamientos responsables en la vía y fomentar la tolerancia en el tránsito.

Prevenir los accidentes de tránsito

Con la prevención de los accidentes de tránsito se busca, en primera instancia, transformar el pensamiento del accidente como hecho al azar y percibirlo como algo evitable, hacer reflexionar a los asistentes en los comportamientos que llevan a que se produzcan, identificar los riesgos para controlarlos, conocer las maniobras que deben hacerse al ser inminente un accidente, cuáles son las consecuencias y cómo pueden evitarse.

OBJETIVOS DE LA PREVENCIÓN DE LOS ACCIDENTES DE TRÁNSITO

En la prevención de los accidentes de tránsito se busca básicamente generar comportamientos de autocuidado en los asistentes, y que:

1. Se identifiquen los accidentes de tránsito como hechos prevenibles.
2. Se diferencien los hechos al azar y aquellos que se pueden evitar.
3. Se identifiquen naturalmente los riesgos a los que son sometidos cuando ejercen algún rol como actores de tránsito.

4. Se puedan planear y prever acciones de control a los diferentes riesgos.
5. Se identifiquen las principales conductas que llevan a la generación de accidentes de tránsito.
6. Se identifique la vulnerabilidad de los actores de tránsito.
7. Se concientice a la gente de que el respeto de las normas de tránsito previene este tipo de accidentes.
8. Se conozcan e interioricen las maniobras que pueden realizar cuando es inminente un accidente de tránsito
9. Se identifiquen, conozcan y se sensibilicen con las consecuencias que generan los accidentes en los ámbitos humano, social y económico.

Los temas que se pueden tratar en esta área son reconocer el accidente de tránsito como hecho prevenible, identificar los riesgos asociados al tránsito, identificar los comportamientos que generan accidentes de tránsito, identificar las maniobras y comportamientos para prevenir los accidentes de tránsito, conocer las maniobras al enfrentarse a un accidente de tránsito para reducir la gravedad y determinar las consecuencias de los accidentes de tránsito.

Al definir los ejes para abordar la educación vial y metodología por aplicar, fue necesario buscar elementos y herramientas que cumplieran con los objetivos pedagógicos planteados; así, en la exploración se encontraron a las herramientas didácticas SSUAT altamente pertinentes y cuya finalidad es, precisamente, apoyar los procesos de enseñanza de la seguridad vial en ambientes controlados.



Fuente: Metodología para el diseño de talleres educativos en seguridad vial (SSUAT), tomo I, 2012.

Figura 3. Prevención del accidente de tránsito.

HERRAMIENTAS DIDÁCTICAS

Las herramientas SSUAT se concibieron para uso y aplicabilidad didáctica con un alto grado de pertinencia para la enseñanza de normas de tránsito, comportamiento en el tránsito, seguridad vial y prevención de accidentes.

Se crearon para que, desde el estudiante de preescolar, básica primaria, secundaria o técnica vocacional, hasta abogados, médicos forenses, ingenieros, arquitectos, profesores, instructores, peritos, expertos, entre otros, puedan hacer uso de las herramientas SSUAT, según sus destrezas y sus necesidades.

El sistema involucra tres de los cinco sentidos:



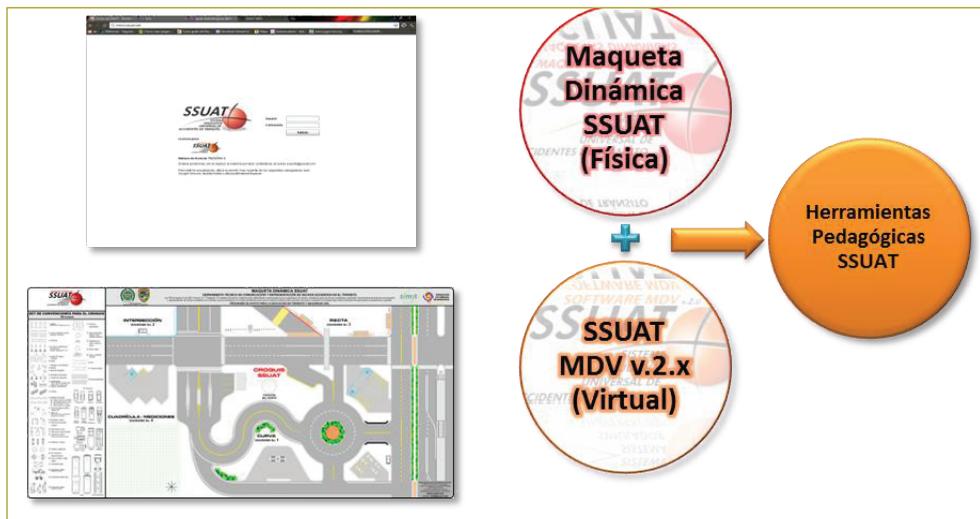
Fuente: Metodología para el diseño de talleres educativos en seguridad vial (SSUAT), tomo I, 2012.

El uso de varios sentidos genera mayor participación y equilibrio entre los principios básicos del conocimiento, como la abstracción, la visualización, el raciocinio, la inducción y la deducción, aumentando así el proceso cognoscitivo, y posibilita formas de aprendizaje basadas en la participación activa de los estudiantes que ven, oyen, hacen y dramatizan las cosas que aprenden, técnica probada del *aprender haciendo*.

Estas herramientas didácticas son instrumentos que materializan el lenguaje técnico, para representar,

analizar, valorar, evaluar, confrontar y comunicar hechos sucedidos en el tránsito de una manera básica, integral, efectiva, sencilla y pertinente, lo cuales están compuestos por elementos complementarios, entre ellos; éstos son:

- *Forma virtual.* SSUAT MDV v.2.5 con conexión a internet o SSUAT MDV v.2.0 sin conexión a internet.
- *Forma analógica o física.* Maquetas dinámicas SSUAT y plantillas F1 SSUAT.



Fuente: Metodología para el diseño de talleres educativos en seguridad vial (SSUAT), tomo I, 2012.

Figura 4. Herramientas didácticas / pedagógicas SSUAT.

Software SSUAT MDV v.2.5

El aplicativo tiene las siguientes funciones básicas:

- **Diagramar los hechos del tránsito**, mediante la técnica de arrastrar y colocar las convenciones en el croquis a fin de crear escenarios diagramados, que permita representar situaciones típicas de tránsito (cruzar la calle, por donde transitar, maniobras de manejo, quien tiene la prelación de la vía, entre otros), crear retos de movilidad o encontrar malas conductas de situaciones preestablecidas
- Almacenar los archivos de representación para su posterior consulta.

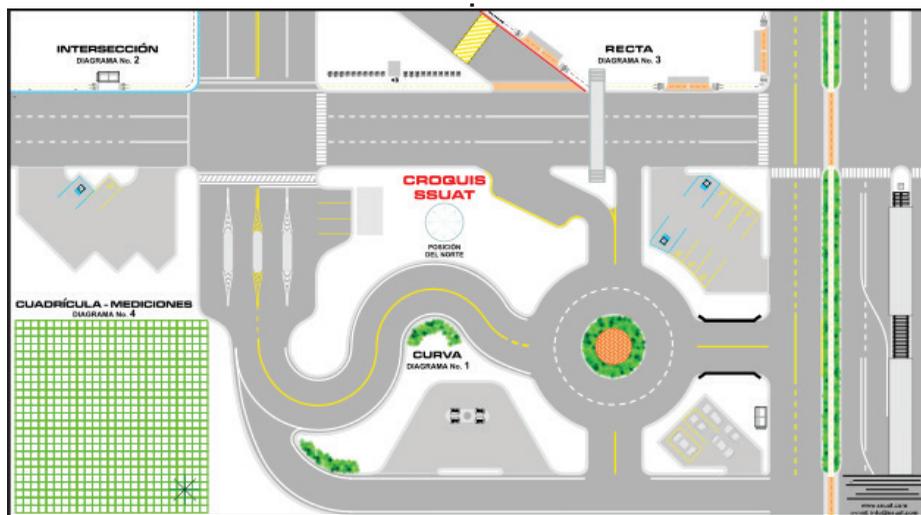
Maquetas dinámicas SSUAT

Accesorio del *software* SSUAT MDV v.2.x, que reproduce la iconografía y área de trabajo, diseñado para diferentes tipos de usuarios, de acuerdo con los tres componentes básicos del tránsito, entendido como la circulación dentro de un sistema de estructura vial (SEV) que son los seres humanos, la infraestructura y los medios de transporte.

INFRAESTRUCTURA O SISTEMA DE ESTRUCTURA VIAL (SEV)

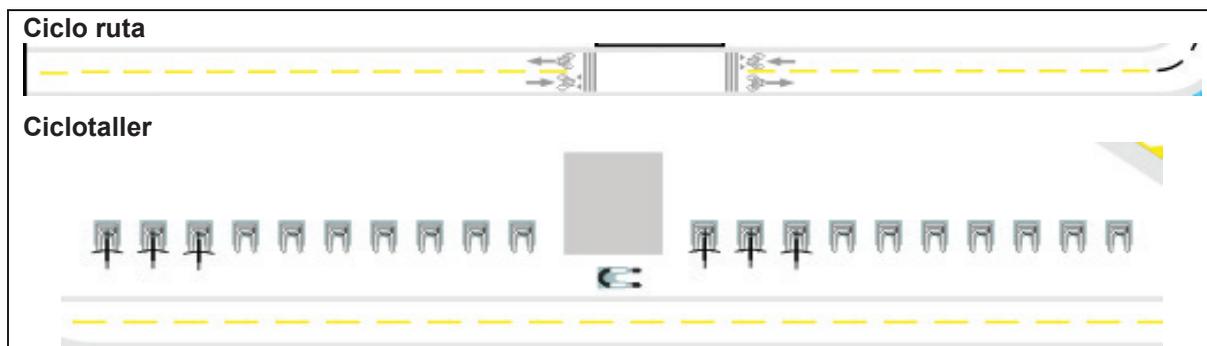
El SEV está compuesto por:

- El subsistema de vías urbanas y rurales (interconectados).



Fuente: Manual de usuario SSUAT.

Figura 5. Sistema de estructura vial en la maqueta dinámica SSUAT.



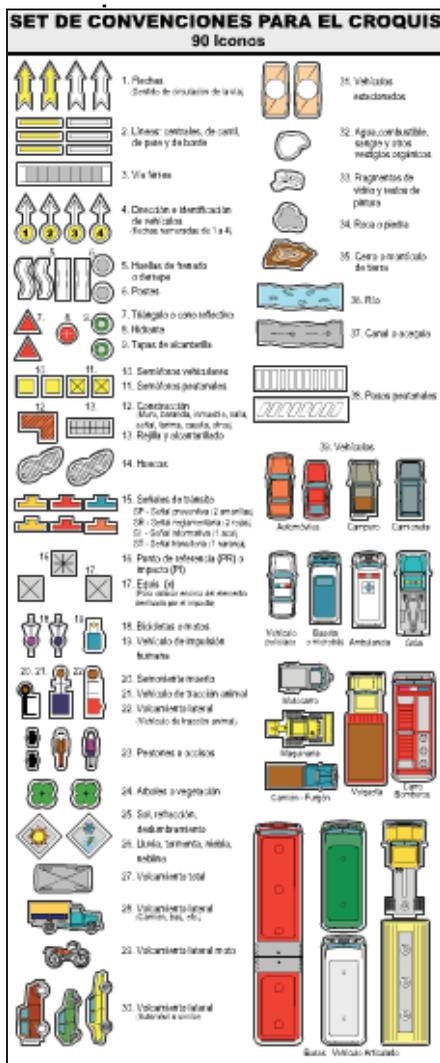
Fuente: Manual de usuario SSUAT.

Figura 6. Elementos de la ciclorruta y del ciclotaller.

- El subsistema de transporte.
- El subsistema de espacios públicos.
- El subsistema de regulación, vigilancia y control del tránsito, y estacionamientos.

El SEV del croquis SSUAT tiene los tres diagramas básicos de las vías: curva, intersección y recta. Y un diagrama adicional para dibujar todo aquello que no pueda representarse en los tres anteriores llamado cuadrícula - mediciones.

Fuera de las curvas, intersecciones y rectas, se han representado otra serie de elementos que son parte de las vías, denominados espacios secundarios, los cuales se mencionan por la relevancia para la educación en tránsito, como la ciclorruta, ciclotaler y transporte masivo.



Fuente: Manual de usuario SSUAT.

Figura 7. Convenciones para el croquis SSUAT.

Los medios de transporte se han diseñado desde tres posibles ubicaciones del vehículo en la vía: posición normal desde la vista superior, volcamiento lateral y volcamiento total.

Se han contemplado vehículos de impulsión humana, vehículos de impulsión animal, bicicletas, motos, vehículos particulares, vehículos de carga, vehículos de transporte humano y vehículos oficiales.

El área de aplicación básicamente es el uso como herramienta de diligenciamiento, investigación y medio probatorio, y como herramienta didáctica y pedagógica.

METODOLOGÍA DE INTERACCIÓN CON LAS HERRAMIENTAS DIDÁCTICAS

La forma de trabajar con las herramientas SSUAT en cada sesión o actividad se denominará “interacción”. Se han identificado tres tipos de interacción con las herramientas didácticas/pedagógicas SSUAT (figura 9).

Interacción dirigida

La maqueta dinámica SSUAT es manejada por el instructor, y éste induce al auditorio para que proponga casos para que el instructor los recree. Se puede solicitar la intervención del público directamente sobre la maqueta dinámica SSUAT con casos concretos o para reafirmar conceptos.

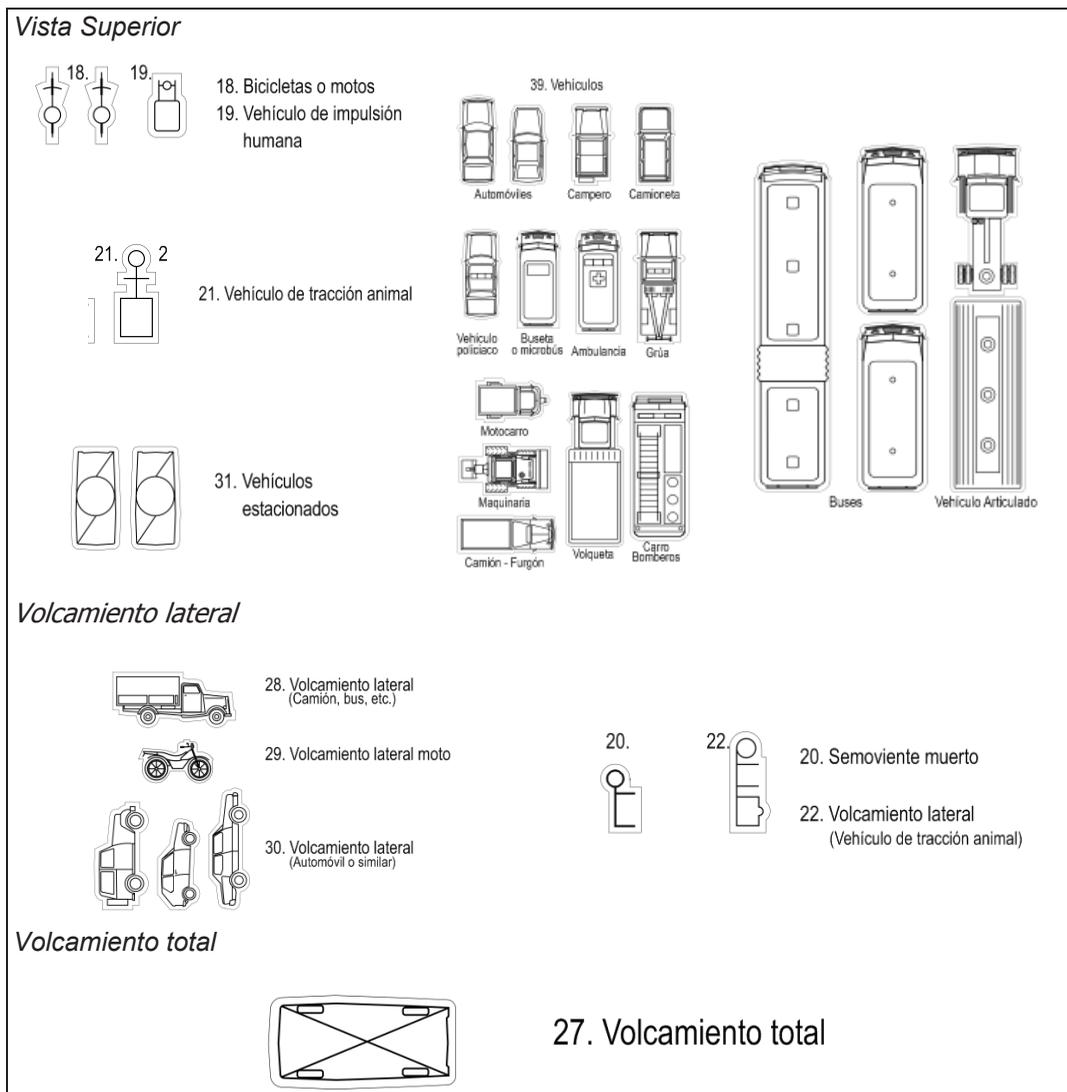
Interacción asistida

El instructor da explicaciones o casos en la maqueta dinámica SSUAT y los estudiantes ubicados en cada computador y utilizando el *software* ssuat mdv v.2.x, reproducen las mismas maniobras que son expuestas; posteriormente se proponen actividades para afianzar los conocimientos. Las tareas o el resultado de los ejercicios pueden ser almacenados en formato PDF.

Interacción libre

Esta interacción empieza con el planteamiento de conflictos de tránsito, los cuales son resueltos en conjunto por el auditorio con la dirección del policía instructor.

Es posible utilizar de manera independiente estos tipos de interacción o mezclarlos para que cada taller cumpla con los objetivos buscados.



Fuente: Manual de usuario SSUAT.

Figura 8. Convenciones por vistas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 9. Interacciones previstas para trabajar con las herramientas didácticas SSUAT.

Lo que se propone para cada tipo es que alguno de los policías instructores sea quien lidere el taller y un segundo o tercer policía instructor apoye directamente al estudiante o asistente en el desarrollo de sus actividades.

REFERENCIAS

Congreso de la República de Colombia, Ley 1503 de 2011 (diciembre 29), Por la cual se promueve la formación de hábitos, comportamientos y conductas seguros en la vía y se dictan otras disposiciones.
 SSUAT. Manual instructivo línea maquetas dinámicas. www.ssuat.com
 SSUAT (2012). Metodología para el diseño de talleres educativos en seguridad vial, tomo I. Bogotá.
 SSUAT (2012). Metodología para el diseño de talleres educativos en seguridad vial, tomo II. Bogotá.
 SSUAT (2012). Manual del usuario, Bogotá.

Sistema aeropónico automatizado para la producción de hortalizas

Aeroponic automated system for vegetables production

NICOLÁS RUBIO FORERO¹ - DANIEL ANDRÉS VEGA CASTRO²

1. Estudiante de Ingeniería Electrónica, décimo semestre. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Grupo de Investigación Agroeco y Gestión Ambiental Colciencias, Línea Agricultura Urbana y Periurbana.

2. Ingeniero en Agroecología, M.Sc. en Educación. Docente de cátedra de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Docente e investigador de la Corporación Universitaria Minuto de Dios, Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Agroecológica. Grupo de Investigación Agroeco y Gestión Ambiental Colciencias, Línea Agricultura Urbana y Periurbana.

nicolas911120@hotmail.com - daniel.vega@escuelaing.edu.co

Recibido: 12/03/2016 Aceptado: 22/03/2016

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

Resumen

Con el fin de evaluar la producción de lechuga verde cresspa (*Lactuca sativa* L.) en un modelo de producción aeropónico y de forma simultánea contribuir con la mitigación del cambio climático a través de procesos relacionados con intercambio gaseoso, se desarrolló una investigación pionera de tipo descriptivo, en la cual se evaluó la variable referente al peso en fresco como indicador de productividad y se realizó cálculo de asimilación de CO₂ de la estructura como estrategia para la mitigación de aspectos asociados al cambio climático. Para tal finalidad se diseñó y desarrolló un modelo aeropónico automatizado de producción de alimentos vinculando áreas disciplinares del conocimiento, como la agricultura y la electrónica.

Entre los resultados alcanzados se destaca que la producción de esta hortaliza es viable en términos de calidad referente a la variable peso fresco, si se compara con los parámetros de calidad para *Lactuca sativa* L. estipulados por la NTC 1064 de 1994. Frutas y hortalizas frescas. Aunado a lo anterior, se obtuvo una A (asimilación neta de CO₂) de 1029 gramos de CO₂ planta⁻¹/cosecha.

A manera de conclusión cabe anotar que la agricultura urbana con mecanismos de automatización es de suma importancia desde diferentes puntos de vista; por un lado, la producción de alimentos dentro de las ciudades que aporta de forma directa a la soberanía, suficiencia y seguridad alimentaria. Por otra parte, los beneficios asociados a la asimilación neta de CO₂ y el paisajismo, que deben valorarse como mecanismos de mitigación de problemas relacionados con la contaminación ambiental y el urbanismo como mecanismo de contribución como parte del ordenamiento territorial.

Palabras claves: cambio climático, automatización, agricultura urbana, electrónica, *Lactuca sativa* L.

Abstract

In order to evaluate the production of green crisp lettuce (*Lactuca sativa* L.) under a model of aeroponic production and simultaneously contributing to the mitigation of climate change through processes related to gas exchange, a pioneering descriptive research was developed in which the reference variable to fresh weight as an indicator of productivity was evaluated and calculations of CO₂ assimilation of the structure as a strategy for mitigating climate change related aspects were performed. To this end, an automated model aeroponic food production was designed and developed, articulating disciplinary knowledge areas fields as agriculture and electronics.

Among the results, it was found that the production of that vegetable is feasible in terms of quality regarding the variable fresh weight when compared with the quality parameters for *Lactuca sativa* L. described by the NTC 1064 1994. Fresh Fruits and Vegetables. In addition to the above, it was obtained an A (net CO₂ assimilation) of 1029 grams of CO₂ plant⁻¹ / harvest.

In conclusion it is noted that urban agriculture automation mechanisms are important from different points of view; on the one hand, food production within cities contributes directly to the sovereignty, sufficiency and food security. On the other hand, the benefits associated with net CO₂ assimilation and landscaping which must be assessed as mechanisms for mitigating problems related to environmental pollution and urban planning as a mechanism for contributions as part of land management.

Keywords: climate change, automation, urban agriculture, electronics, *Lactuca sativa* L.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población y la falta de oportunidades económicas han hecho que cada vez más personas se preocupen por el desarrollo de nuevas y mejores estrategias de adaptabilidad en las ciudades para su sustento. La agricultura urbana se ha ido fortaleciendo en las comunidades como respuesta a la crisis económica, social y ambiental de los últimos años (Jardín Botánico, 2007).

La agricultura urbana puede definirse como un conjunto de prácticas agrícolas realizadas en espacios urbanos dentro de una ciudad o en sus alrededores (periurbana), en zonas duras o blandas como antejardines, lotes, terrazas, patios o cocinas. Estos lugares físicos permiten la articulación de los recursos disponibles, el conocimiento técnico o empírico y la creatividad, que tiene como finalidad no sólo la seguridad y la soberanía alimentaria, sino que permite además el fortalecimiento del sistema social, la recuperación de terrenos baldíos, la participación ciudadana y la sostenibilidad ambiental, contribuyendo a minimizar el problema generado por el cambio climático.

Por otro lado, se estima que en la ausencia de medidas de reducción de emisiones, las concentraciones de CO₂ podrían aumentar entre 90-250 % por encima de los niveles preindustriales para el final del año 2100. Con base en estas proyecciones, el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por su sigla en inglés) estima para el 2100 un aumento en el promedio global de la temperatura de la superficie de la Tierra entre 1,4-5,8 °C (citado por el Ministerio del Medio Ambiente, Colombia, 2002).

Adicionalmente, Albert (1962) define la electrónica como “la parte de la ciencia y de la técnica que trata de los dispositivos electrónicos y de su utilización”. Se define el dispositivo electrónico como “un dispositivo en el cual se tiene conducción por electrones a través del vacío, de un gas o de un semiconductor” (p. 3).

Por otra parte, García (1999) define autómatas como “clase de máquinas en las que una fuente de energía acciona un mecanismo ingeniosamente combinado, permitiendo imitar los movimientos de los seres animados” (p. 5).

La automatización dentro de sus múltiples objetivos busca reducir los costos de producción y, de manera simultánea, obtener una calidad constante en su sistema de producción, así como disminuir en gran medida la mano de obra, representada en operarios.

Por lo anteriormente expresado, el objetivo de la presente investigación consiste en evaluar un sistema aeropónico de producción de alimentos automatizado, con la finalidad de contribuir significativamente a contrarrestar los problemas relacionados con la inseguridad alimentaria de población y, en forma sinérgica, ayudar directamente a mitigar el calentamiento global a través de la capacitación e implementación de modelos agroecológicos urbanos de alimentos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El estudio se realizó en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, localizada en Bogotá en las siguientes coordenadas: 4° 46' 57"N - 74° 02' 31.5"W. Este lugar posee una altitud sobre el nivel del mar de 2557 y una temperatura y humedad promedio de 14 °C y 62 %, respectivamente.

Material de propagación

Se usaron plántulas de lechuga verde crespa (*Lactuca sativa* L.), adquiridas en plantuladeros que cuentan con toda la documentación exigida por las autoridades competentes colombianas para la producción, propagación e importación de material vegetal.

Siembra

Esta actividad se hizo en un sistema aeropónico, el cual consiste en mantener las raíces en el aire y la solución nutritiva se aplica mediante pulverizaciones muy finas y frecuentes a través del agua. La palabra “aeroponía” proviene del griego *aero* y *ponos* que significan ‘aire’ y ‘trabajo’, en ese orden (figura 1).

Las plántulas de lechuga a raíz desnuda fueron sembradas en los orificios del tubo a tres bolillos, dejando un espacio de 20 cm entre cada una de ellas (figura 1). El total de lechugas sembradas fue de 56.

Sistema de riego

Esta actividad se realizó por medio de un tubo de cuatro pulgadas, el cual posee una manguera cristal de una pulgada y una longitud total de 2,5 m a lo largo de su eje.



Fuente: Los autores (2014).

Figura 1. Sistema aeropónico de producción de lechuga.

Esta manguera tiene cinco nebulizadores distribuidos en forma regular, los cuales están encargados de generar el respectivo fertirriego para las raíces de esta hortaliza. Los nebulizadores son accionados por medio de una bomba sumergible de 0,5 HP (*horse power*) (figura 2).



Fuente: Los autores (2014).

Figura 2. Sistema de riego.

Fertilización

Se utilizó fertilizante líquido marca Nutriponic® a una solución de 4 %. Esta mezcla de elementos menores y mayores (tabla 1) permite el óptimo desarrollo del sistema productivo.

Tabla 1
Composición nutritiva Nutriponic®

Nitrógeno nítrico (N-NO ₃)	40,3 g/L
Nitrógeno amoniacal (N-NH ₄)	4,0 g/L
Fósforo (P ₂ O ₅)	2,4 g/L
Potasio (K ₂ O)	50,6 g/L
Calcio (Ca)	28,8 g/L
Magnesio (Mg)	11,4 g/L
Azufre (S)	1,0 g/L
Hierro (Fe)	1120 mg/L
Manganeso (Mn)	112 mg/L
Cobre (Cu)	12 mg/L
Zinc (Zn)	26,4 mg/L
Boro (B)	106 mg/L
Molibdeno (Mo)	1,2 mg/L
Cobalto (Co)	0,36 mg/L

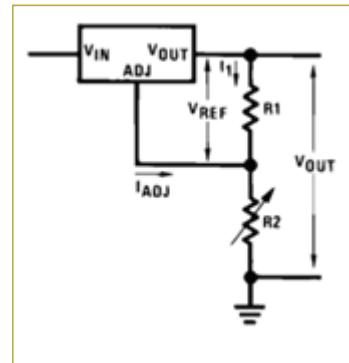
Fuente: Llanos (2001).

Automatización

El sistema electrónico está en la capacidad de controlar automáticamente el rocío del agua, teniendo en cuenta la humedad relativa interna del tubo, la cual no debe ser inferior al 75 %, en un plazo máximo de 1 hora; así, el sistema de rocío debe activarse por un tiempo igual a 20 segundos.

Etapas de regulación

Se usó un adaptador de 12 VDC y adicionalmente se diseñaron dos reguladores de voltaje: uno para 3,3 VDC y otro para 5 VDC (figura 3). Para dicha actividad se trabajó con reguladores LM317.



Fuente: Texas Instruments Incorporated (2014).

Figura 3. Circuito regulador de voltaje.

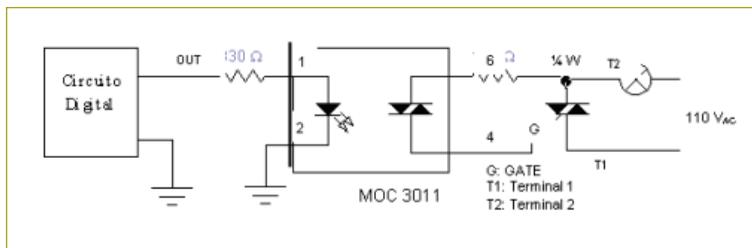
Temporizadores de nebulización

El primero tiene una duración de una hora, en la cual la bomba está desactivada; cuando culmina el temporizador, la bomba es activada por la etapa de potencia y al mismo tiempo comienza a funcionar el segundo temporizador, que tiene como función mantener encendida la bomba por 20 segundos. Al finalizar este tiempo, se reinicia el primer temporizador.

Para implementar estos temporizadores, se utilizó un microcontrolador dsPIC33FJ128MC802; haciendo uso de la interrupción del TMR1 configurado para trabajar a una frecuencia de 1 Hz, se construye la base de tiempo para los temporizadores.

Acoplamiento óptico entre un sistema digital y una etapa de potencia

Para conectar la etapa de control, que es la salida del microcontrolador, se implementó un circuito de acoplamiento óptico (figura 4), para lo cual se empleó un opto acoplador moc3011 y un triac.



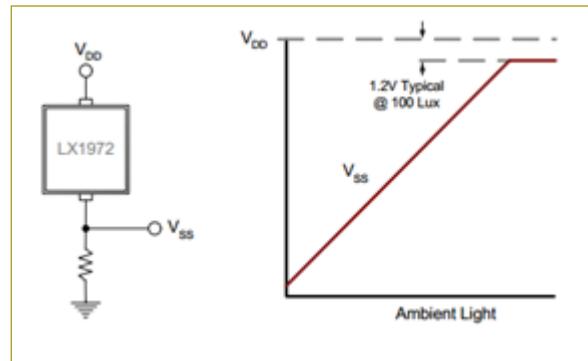
Fuente: A. González, C. Ibarra & L. Santana (2009).

Figura 4. Montaje de acoplamiento.

Control de fotoperiodo

Para esta etapa se implementó un sensor de luz ambiente LX1972IBC, con el que se incorporó en el circuito (figura 5).

La salida de este circuito entra al ADC (*analog to digital converter*) del microcontrolador, valor que se compara con un valor de referencia tomado anteriormente con la intensidad lumínica requerida para que se enciendan los reflectores; si el ADC está por debajo de este valor se activa el temporizador 3, que mantiene encendidos los reflectores por tres horas. La función de esto es incrementar las horas luz/día (fotoperiodo) que reciben las plantas y de esta forma acortar los tiempos de cosecha representados en tiempo.



Fuente: Microsemi (2005).

Figura 5. Circuito de control lumínico.

Con la finalidad de optimizar el consumo de energía se utilizaron reflectores LED, los cuales tienen un consumo energético bajo, es decir, tan sólo 10 W, manteniendo una buena calidad en términos de iluminación (figura 6).



Fuente: Los autores (2014).

Figura 6. Reflectores.

Cosecha

Esta actividad se realizó en forma manual tres meses después del trasplante del material vegetal en el sistema aeropónico automatizado, cuando esta hortaliza de hoja presentó índice fisiológico de cosecha.

Análisis estadístico

A las hortalizas cosechadas se les aplicó estadística descriptiva. Se realizaron cálculos respectivos de media, mediana, moda, desviación estándar, máximos y mínimos.

Variables evaluadas

- **Peso fresco de lechuga.** Se evaluó al momento de la cosecha, pesando cada una de las lechugas. Para esta actividad se utilizó gramera digital marca Hopex®, con una desviación estándar de 0,5 gramos. Posterior a esta actividad, se compararon los pesos obtenidos con la Norma Técnica Colombiana NTC 1064 de 1994. Frutas y hortalizas frescas, apartado específico de lechuga.
- **Consumo de CO₂.** Para culminar se calculó A (consumo neto de CO₂) expresado en gramos planta⁻¹/ cosecha/año a través de la extrapolación de los datos obtenidos por Mota, Alcaraz, Iglesias, Martínez & Carvajal (2011).

RESULTADOS Y DISCUSIONES

En este caso específico, para la variable peso fresco se obtuvo una media de 159 gramos/lechuga con una desviación estándar de 16 gramos (figura 7). Los datos arrojados entregan resultados muy similares a los obtenidos por Ceballos, Gutiérrez & Vega (2013) en su trabajo de evaluación morfológica y de calidad de variedades de lechuga. Lo anterior demuestra que el sistema aeropónico automatizado es una alternativa viable para la producción de esta hortaliza de hoja.

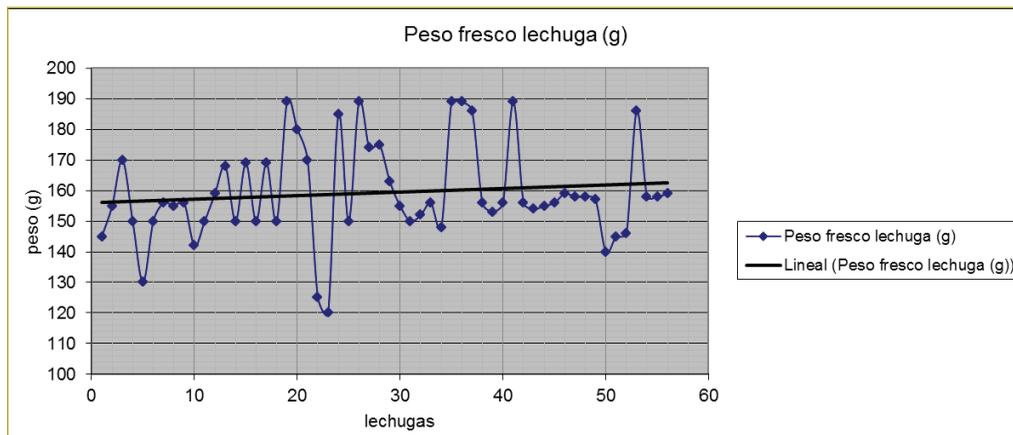
Al analizar los datos obtenidos de máximos y mínimos (189 gramos y 120 gramos, respectivamente), y al compararlos con la Norma Técnica Colombiana NTC 1064 de 1994 se evidencian rangos permisibles frente al peso fresco de este vegetal.

La asimilación de CO₂ de las plantas hortícolas tiene una relación directamente proporcional a la biomasa de la planta y la densidad de siembra de éstas. En el caso específico de lechuga y al extrapolar los datos obtenidos por Mota, Alcaraz, Iglesias, Martínez & Carvajal (2011), se obtiene que el sistema aeropónico automatizado logra una captación neta de 4116 g CO₂ planta⁻¹/año, partiendo de cuatro cosechas de esta hortaliza de hoja.

CONCLUSIONES

La agricultura urbana con mecanismos de automatización es de suma importancia desde diferentes puntos de vista; por un lado, la producción de alimentos dentro de las ciudades que aporta en forma directa a la soberanía, suficiencia y seguridad alimentaria. Por otra parte los beneficios asociados a la asimilación neta de CO₂ y el paisajismo, que deben valorarse como mecanismos de mitigación de problemas relacionados con la contaminación ambiental y el urbanismo como mecanismo de contribución y parte del ordenamiento territorial.

Entre los principales agentes asociados al cambio climático se desprende el efecto invernadero, el cual es causado por la acumulación de gases como el CO₂. Por tal motivo, se puede concluir que el ser humano posee una dependencia hacia las plantas como mecanismo para mitigar la acumulación de este gas por medio de procesos asociados al intercambio gaseoso, por lo que las políticas públicas encaminadas a contrarrestar este fenómeno ambiental deben estar estrechamente relacionadas con el mantenimiento e incremento de



Fuente: Los autores (2014).

Figura 7. Gráfico de los pesos de las lechugas (en gramos).

plantas que contribuyan de manera activa al manejo de dicho problema.

Al automatizar este sistema de producción de hortalizas se observó una disminución en los tiempos de producción, así como una calidad constante en cada una de las lechugas, con un bajo consumo energético y principalmente sin la necesidad de la supervisión continua de un usuario. Lo anterior se ajusta a modelos productivos que se pueden desarrollar en contextos urbanos en los que el tiempo es un factor determinante frente a la producción de alimentos de calidad.

REFERENCIAS

- Alcaldía Mayor de Bogotá-Planeación Distrital, UCCI & IICA (2007). *Memorias. Seminario Iberoamericano de Seguridad Alimentaria y Nutricional en la Ciudad*, tomo 1. Bogotá.
- Altieri, A. & Nicholls, C. (2000). *Agroecología. Teoría y práctica para una agricultura sustentable*, 1.ª ed. México: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Altieri, M. A. (1999). *Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable*. Montevideo: Nordan Comunidad.
- Arthur, L. (1962). *Electrónica y dispositivos electrónicos*. España: Editorial Reverté, S.A.
- Cabieses, F., Chauvin, L., Glave, L., Lumbreras, L., Millones, L., Ochoa, C. & Zandstra, H. (2006). *La papa, el tesoro de los Andes: de la agricultura a la cultura*. Lima: Biosfera.
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Catie) (1994). Programa de Agricultura Tropical Sostenible. Lecturas sobre Manejo Integrado de Plagas. Área de Fitoprotección. Turrialba, Costa Rica.
- CIP (Centro Internacional de la Papa). Entidad Coordinadora de Cosecha Urbana (2003). Memoria y declaración. La integración de la agricultura urbana en el desarrollo sostenible de las municipalidades. Lima.
- CIP-FAO (1995). La papa en la década de 1990. Situación y perspectivas de la economía de la papa a nivel mundial.
- Corpoica (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria) (2003). *Manual de papa para productores*. Bogotá.
- FAO (1999). Comité de Agricultura Urbana y Periurbana. Roma.
- FAO (2000). La seguridad alimentaria y nutricional: importancia de la producción de alimentos.
- FAO (2004). Manual de buenas prácticas agrícolas. Recuperado el 10 de noviembre de 2012, de <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1374s/a1374s02.pdf>.
- FAO (13-17 de noviembre de 1996). Cumbre Mundial sobre la Alimentación. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/003/w3613s/w3613s00.htm>.
- García, E. (1999). *Automatización de procesos industriales*. Valencia: Reptol, S.L.
- Gawronska, H. & Dwelle, B. (1989). Partitioning of photoassimilates by potato plants (*Solanum tuberosum* L.) as influenced by irradiance I. partitioning patterns in cultivar russelburbank grow under high and low irradiance. *American Potato*, vol. 66, N.º 4.
- Giacconi, M. & Escaff, G. (s.f.). *Cultivo de hortalizas*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria, S.A.
- Gilsan, J. (2007). *Hidroponía*. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria.
- González, A., Ibarra, C. & Santana, L. (2009). Control automático de temperatura interna de un automóvil con lógica difusa. Instituto Politécnico Nacional (s.f.). Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. México, D.F.
- Gutiérrez, A., Ceballos, M. & Vega, D. (2013). Evaluaciones morfológica y de calidad de dos variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en el municipio de Anolaima (Cundinamarca). *Inventum*, 8(2), 30-39.
- Hilje, L. (1994). Lecturas sobre manejo integrado de plagas. Colección de temas de fotoprotección para extensionistas. Catie: Turrialba, Costa Rica.
- Jardín Botánico, 2 (noviembre de 2007). Cartilla técnica de agricultura urbana-jardín-botánico. Recuperado de <http://es.scribd.com/doc/31695652/CARTILLA-TECNICA-AGRICULTURA-URBANA-JARDIN-BOTANICO>.
- Ligarreto, G. & Suárez, M. (2003). Evaluación del potencial de los recursos genéticos de papa criolla (*Solanum phureja*) por calidad industrial. *Agronomía Colombiana*, 21(1-2), 83-94, Bogotá: Universidad Nacional.
- Llanos, P. (2001). La solución nutritiva, nutrientes comerciales, fórmulas completas. Bogotá: Walcos. S.A. Recuperado de: <http://www.drcalderonlabs.com/Hidroponicos/Soluciones1.html>.
- Malangón, C. (2000). *Los suelos de Colombia*. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Marschner, H. (1986). Mineral Nutrition of Higher Plants. Institute of Plant Nutrition University of Hohenheim. Federal Republic of Germany Academic Press. Harcourt Brac Jovanovich. Publishers.
- Microsemi, Integrated Products Division (2005). Ambient Light Detector. California. Recuperado de <http://www.icquest.ru/pdf/lx1972.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2013). Estadísticas del sector agropecuario, producción nacional por producto y producción agrícola por departamento 2010. Bogotá.
- Ministerio del Medio Ambiente (2002). Lineamientos de política de cambio climático. Resumen ejecutivo. Bogotá.
- Moreno, O. (2007) DU&P (Diseño Urbano y Paisaje). Universidad Central. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Paisaje. Centro de Estudios Arquitectónicos, Urbanísticos y del Paisaje. *Diseño Urbano y Paisaje*, año 4, N.º 11. Santiago de Chile.
- Mota, C., Alcaraz, C., Iglesias, M., Martínez & Carvajal, M. (2011). Investigación sobre la absorción de CO₂ por los cultivos más representativos. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Departamento de Nutrición Vegetal. Murcia, España.
- Mougeot, L. (2006). Cultivando mejores ciudades. Agricultura Urbana para el Desarrollo Sostenible. Ottawa (Canadá). Publicado por el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo. Icontec (Instituto Colombiano de Normas Técnicas) (1994). Norma Técnica Colombiana 1064. Frutas y hortalizas frescas, apartado específico de lechuga.
- Otaquí, V. & Chuquillanqui, C. (2008). Producción de semilla de papa de calidad por aeroponía. Alternativas al uso de bromuro de metilo en la producción de semilla de papa de calidad. Lima: Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Piñeros, C. (2009). Recopilación de la investigación del sistema productivo de papa criolla. Convenio SADE 045/06. Departamento de Cundinamarca. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Económico. Fedepapa.
- Texas Instruments Incorporated (2014). LM117/LM317A/LM317-N Three-Terminal Adjustable Regulator. Production Data. Recuperado de: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm117.pdf>.
- Veiga, D. (2000). Notas para una agenda de investigación sobre procesos emergentes en la sociedad urbana. En Ana Clara Torres Ribeiro (comp.). *Repensando la experiencia urbana de América Latina: cuestiones, conceptos y valores*. Buenos Aires: Clacso.

Planteamiento y desarrollo metodológico de la macromedición en acueductos urbanos

Methodological planning and development of macrometering in urban water systems

HÉCTOR ALFONSO RODRÍGUEZ DÍAZ¹ - MAURICIO CRUZ GÓMEZ²

1. Profesor titular de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

2. M.sc. en Ingeniería Civil con énfasis en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

alfonso.rodriguez@escuelaing.edu.co - mauricio.cruz@mail.escuelaing.edu.co

Recibido: 25/02/2016 Aceptado: 10/03/2016

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

Resumen

En este artículo se presentan los procesos o desarrollos metodológicos de la macromedición en un sistema de acueducto urbano, desde los puntos de vista de implementación, mantenimiento y aseguramiento de la calidad, selección de equipos y procesamiento de la información de datos.

Palabras claves: implementación, mantenimiento, aseguramiento de la calidad de la información, equipos de macromedición, proceso de la información de datos.

Abstract

This article shows the methodological developments or processes of macrometering in urban water systems from the points of view of implementation, maintenance and quality assurance, equipment selection, and data information processing.

Keywords: implementation, maintenance, quality assurance information, macrometering equipment, data information process.

INTRODUCCIÓN

La macromedición es la actividad que se utiliza para medir a gran escala un componente. Para un sistema de acueducto que transporta agua potable en conductos cerrados y a presión, el resultado de la macromedición permite disponer de información sobre caudales, presiones y parámetros de calidad de agua.

Con la información dispuesta, los propósitos generales de la macromedición son: a) operar y controlar un sistema de acueducto de una manera eficiente y precisa; b) diagnosticar un sistema de acueducto existente con la implementación de un modelo hidráulico calibrado, para identificar, analizar y evaluar parámetros hidráulicos de calidad de agua y operacionales, y c) optimizar el sistema de acueducto existente mediante la ejecución de obras y diseños nuevos en función del cumplimiento de las normas y estándares de calidad vigentes.

En atención a la importancia de los propósitos generales que tiene la macromedición para un sistema de acueducto, es necesario dar claridad a procesos o desarrollos metodológicos de la macromedición desde los siguientes puntos de vista: a) implementación de la macromedición; b) mantenimiento y aseguramiento de la calidad de la información; c) selección de equipos, y d) procesamiento de la información de datos.

La implementación de la macromedición en un sistema de acueducto urbano comprende la ejecución de diseños, obras civiles y suministro e instalación de los equipos, que consecuentemente genera para el operador actividades de operación y control sobre el sistema implementado.

El mantenimiento y el aseguramiento de la calidad de la información transmitida por los equipos de macromedición aumentan la confiabilidad de las mediciones captadas en campo sobre un sistema de acueducto urbano.

El estado del arte y los avances tecnológicos en los equipos de macromedición evidencian un amplio mercado, lo cual permite observar la evolución de tecnologías y diseños aplicativos, que posibilitan la implementación de la macromedición para cualquier condición física, hidráulica y económica particular de un sistema de acueducto.

Por último, el procesamiento de la información de datos permite cumplir con los propósitos generales de la macromedición en un sistema de acueducto urbano.

En este artículo se propone una serie de desarrollos metodológicos para la implementación, el mantenimiento y el aseguramiento de la calidad, la selección de equipos y el procesamiento de información de datos para operar, diagnosticar y controlar eficientemente un sistema de acueducto urbano.

MACROMEDICIÓN

Ante la necesidad de abastecer de agua potable a una población concentrada nació la concepción de los sistemas de acueductos urbanos, que históricamente tuvo un predominio técnico en la planificación, el diseño y la construcción. Hoy se incluyen nuevos aspectos para estos sistemas, como los temas económicos, financieros y ambientales, que en su desarrollo implican generar herramientas en beneficio de la operación, el control y la optimización de los sistemas de producción y distribución de agua potable, siendo la macromedición un protagonista de primer nivel.

La macromedición en un sistema de acueducto urbano tiene como objetivo básico medir caudales, presiones y parámetros de calidad de agua para conseguir los siguientes propósitos generales: a) operar y controlar el sistema de acueducto de una manera eficiente y precisa; b) diagnosticar un sistema de acueducto existente con la implementación de un modelo hidráulico calibrado para identificar, analizar y evaluar parámetros hidráulicos de calidad de agua y operacionales, y c) optimizar el sistema de acueducto existente mediante la ejecución de obras y diseños nuevos en función del cumplimiento de las normas y estándares de calidad vigentes.

Para cada propósito, la macromedición tiene los siguientes objetivos particulares:

- En la operación y control
 - Monitorear la red.
 - Generar resultados de predicción y reacción rápida del sistema.
 - Establecer programas de mantenimiento o rehabilitación.
- En el diagnóstico
 - Verificar y calibrar el sistema de acueducto.
 - Evaluar el sistema de acueducto.
 - Simular eventos.
 - Definir actividades de búsqueda de fugas en el sistema.

- En la optimización
 - Plantear alternativas de mejora.
 - Definir el diseño de nuevas obras para optimizar el sistema.
 - Establecer proyectos para la reducción de pérdidas.

TECNOLOGÍAS EN EQUIPOS DE MEDICIÓN DE CAUDAL

Un equipo de medición de caudal es un contador que determina la cantidad de agua en peso o volumen y por unidad de tiempo que pasa por una sección transversal dada. También mide la magnitud de la velocidad con datos que se integran en un plano, tal como la sección transversal de una tubería que transporta agua, con el fin de establecer el flujo por una sección determinada.

Las tecnologías en equipos de medición de caudal y las potenciales que se pueden utilizar en las redes de un sistema de acueducto urbano para el control de agua circundante por las conducciones cerradas y a presión se clasifican con base en las técnicas de medición, de la más antigua a la más moderna (tabla 1).

Tabla 1
Clasificación de equipos de medición de caudal

Grupo	Descripción	Categoría por (energía)	Categoría por (método)
A	Equipos de presión diferencial (PD)	Extraen	Indirecto
B	Equipos de sección variable (rotámetros)	Extraen	Indirecto
C	Equipos volumétricos o de desplazamiento positivo (DP)	Extraen	Directo
D	Equipos de turbina	Extraen	Indirecto
E	Equipos de vórtex	Extraen	Indirecto
F	Equipos electromagnéticos	Añaden	Indirecto
G	Equipos por ultrasonido	Añaden	Indirecto

Fuente: Autor.

Entre los equipos básicos para la medición de caudal en tuberías cerradas, se establecen dos categorías relacionadas con la energía:

- *La que extrae energía del flujo.* Una extracción de energía lleva asociada una caída de presión. La mayoría de los equipos y las tecnologías más antiguas pertenecen a esta categoría. Este método consiste en colocar en

la corriente un estrangulamiento, un cuerpo sólido o un rotor, los cuales convierten la energía potencial del fluido en energía cinética, la cual se emplea para deducir la velocidad del fluido.

- *La que añade energía al flujo.* Los equipos que añaden energía corresponden a las tecnologías más modernas, donde introducen energía en forma de flujo magnético (equipos magnéticos), de ondas sonoras (equipos ultrasónicos) o de calor (equipos térmicos para caudal másico). El fluido reacciona ante este incremento de energía y dicho cambio permite deducir o medir el caudal.

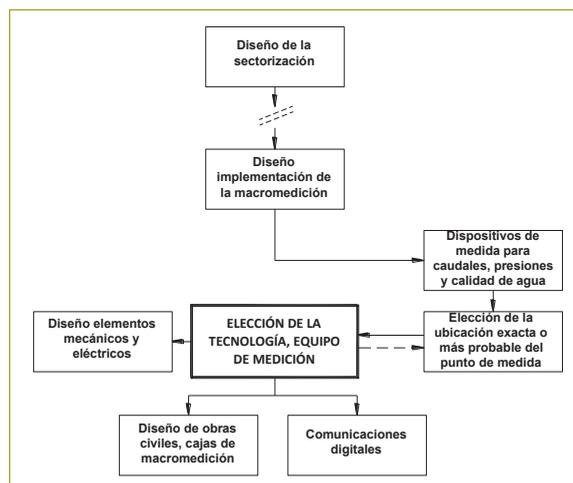
Así mismo, se clasifica en una categoría (directa o indirecta) a los equipos de medición de caudal, dependiendo del método de su medida (tabla 1).

IMPLEMENTACIÓN DE LA MACROMEDICIÓN

La implementación de la macromedición en un sistema de acueducto urbano comprende la ejecución de diseños, obras civiles y suministro e instalación de equipos, que consecuentemente genera para el operador actividades de operación y control sobre el sistema implementado.

Diseño de un sistema de macromedición

La secuencia lógica del diseño de un sistema de macromedición se resume a renglón seguido (flujograma 1).



Fuente: Autor.

Flujograma 1. Diseño de un sistema de macromedición.

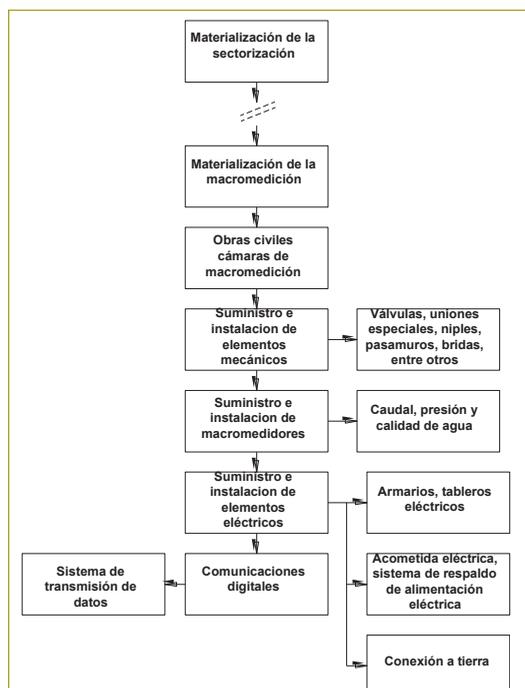
En el diseño de un sistema de macromedición es necesario identificar, en primera instancia, la ubicación exacta o más probable del punto de medición sobre la tubería delimitada por la sectorización, que puede sufrir modificaciones con la elección de la tecnología.

Escogida la ubicación del punto de medida se procede a seleccionar la tecnología del equipo de macromedición, evaluando aspectos como las propiedades del fluido que se va a medir, la localización del punto de medida, las especificaciones técnicas del dispositivo de medida y los criterios económicos, siguiendo la metodología que se describe en este artículo.

Definidas la ubicación exacta y la tecnología del equipo, se procede con el diseño de las obras civiles de la caja de macromedición y demás elementos eléctricos y mecánicos, incluyendo el sistema de comunicación o control para la emisión y recepción de datos, según aplique para cada caso en particular.

Obras civiles y suministro e instalación de elementos mecánicos y eléctricos

A continuación se resume el proceso de implementación de un sistema de macromedición para un sistema del acueducto urbano (flujograma 2).



Fuente: Autor.

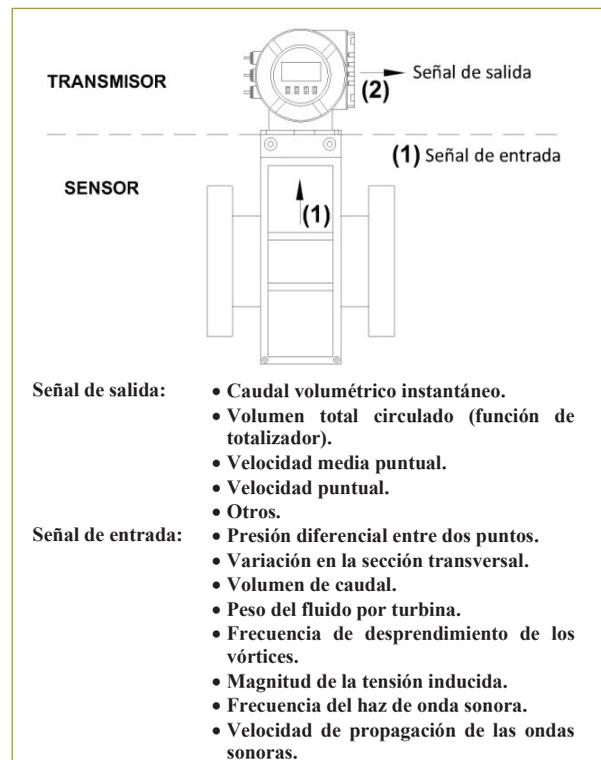
Flujograma 2. Construcción de un sistema de macromedición.

Comunicaciones digitales

El diseño y la implantación de las comunicaciones digitales en un sistema de macromedición (señaladas en los flujogramas 1 y 2) conciernen a un sistema de transmisión de datos, alarmas y salidas que se pueden manejar de manera remota y permiten contar con la información centralizada en un punto de control u operación por intermedio de una plataforma (*software*) o un sistema Scada, Supervisory Control and Data Acquisition (supervisión, control y adquisición de datos).

El desarrollo de un sistema de transmisión de datos o comunicaciones digitales en cualquier sistema de macromedición le permite al operador reducir costos y mejorar la calidad para controlar cualquier proceso.

Las comunicaciones digitales y, por consiguiente, el sistema de transmisión de datos es posible gracias a los transmisores de los equipos de macromedición, que convierten la señal de entrada que genera el sensor en una señal de salida equivalente a una corriente eléctrica transmisible (figura 1).



Fuente: Autor.

Figura 1. Tipos de señales de entrada y salida. Sensor y transmisor.

La comunicación de los transmisores de los equipos de macromedición al sistema de automatización o Scada, y de éste a los actuadores, se puede efectuar mediante señales analógicas 4-20 mA o digitales por medio de cables o red inalámbrica, en este último caso por *bluetooth* para distancias cortas (menores de 200 metros) o utilizando la red de telefonía celular de tecnología GPRS (*General Packet Radio Service*), enlaces de bandas del espectro electromagnético VHF (*Very High Frequency*) o UHF (*Ultra High Frequency*).

METODOLOGÍA PARA EL MANTENIMIENTO Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE LA INFORMACIÓN DE LA MACROMEDICIÓN

El plan de mantenimiento en un sistema de macromedición implica garantizar la seguridad permanente y el funcionamiento fiable de los instrumentos de medida, que varía en su diseño por la definición de la periodicidad de las tareas de mantenimiento, dependiendo del tipo de tecnología instalada en campo y de los planes detallados por cada operador en aspectos como seguridad, procesos en la operación, continuidad del servicio, planes de trabajo, disponibilidad de personal técnico, registros históricos, aspectos ambientales, entre otros, que cambian con el tiempo y afectan directamente las lecturas de los equipos de medición.

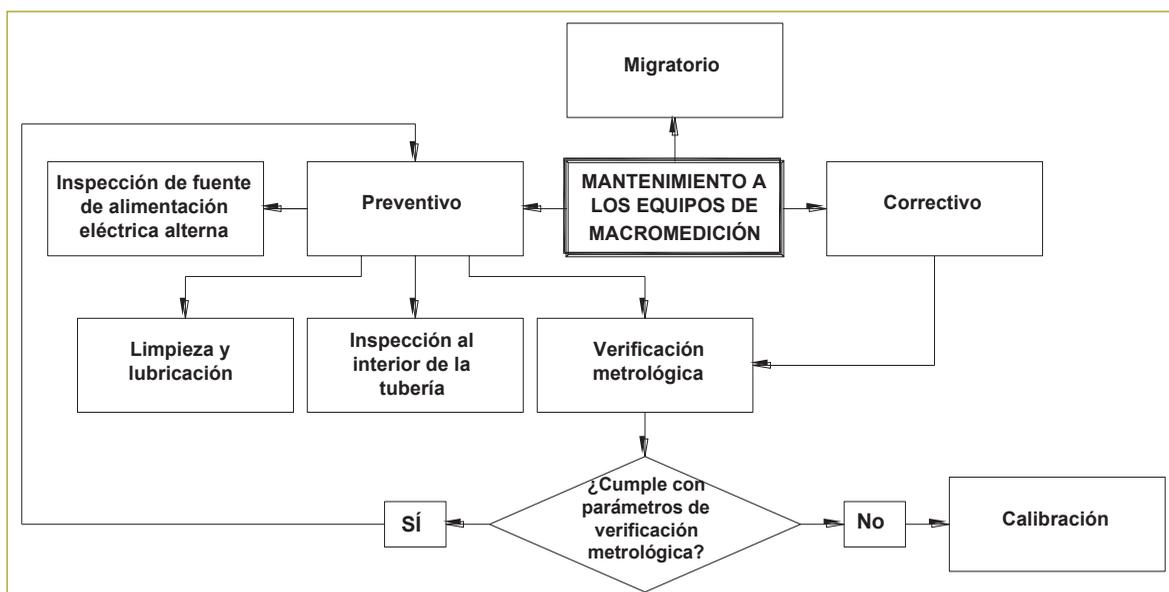
Todas las tareas de mantenimiento son esenciales para garantizar un funcionamiento óptimo y fiable de los instrumentos de medida. Esto se puede volver una práctica básica teniendo en cuenta las tareas esenciales que se relacionan posteriormente (flujograma 3).

Mantenimiento preventivo

Hace referencia a la inspección periódica de los dispositivos de medición para evitar tareas de mantenimientos correctivos e innecesarios, lo cual reduce costos en el proceso de operación y evita el riesgo de paralizar en el proceso de producción.

Mantenimiento correctivo

Este mantenimiento se presenta en los casos en los que se identifica discontinuidad en la medición o ausencia de datos, fallas técnicas, evidencia de una señal inestable o desviaciones en el desarrollo de una verificación metrológica, problemas de descargue de datos; incluso durante el desarrollo de mantenimientos preventivos, cuando el dispositivo no funciona correctamente y es necesario sustituirlo o retirarlo y reparar alguna de sus partes.



Fuente: Autor.

Flujograma 3. Metodología para el mantenimiento de los equipos de macromedición.

Mantenimiento migratorio

El mantenimiento migratorio hace referencia a la necesidad de renovar el equipo de medición existente por uno de nueva generación o la implementación de otra tecnología, por cumplimiento de su vida útil o para mejorar las condiciones operativas, tales como la precisión en las lecturas, reducción de costos en el mantenimiento al no disponer fácilmente de las piezas de repuesto, disminución de costos en el consumo eléctrico, que con

las nuevas tecnologías podría implicar reducción en el consumo eléctrico, o por innovación.

Plan de mantenimiento

A continuación se muestra una comparación de los tipos de tecnología y equipos de macromedición frente a los tiempos recomendados en periodos de mantenimientos preventivos, correctivos o migratorios, lo cual ayuda

Tabla 2
Plan de mantenimiento de equipos de macromedición

Tipo de mantenimiento		Grupos (caudal)								Grupos (presión)	
		A	B	C	D	E	F	G		H	I
								G1	G2		
Preventivo	Verificación metrológica	Cada año	Cada año	Cada año	Cada año	Cada año	Cada 2 años	Cada año	Cada año (*)	N/A	N/A
	Calibración	Cada 3 años o cuando amerite	Cada 3 años o cuando amerite	Cada 5 años o cuando amerite	Cada 5 años o cuando amerite	Cada 7 años o cuando amerite	Cada año	Cada 5 años			
	Inspección al interior de la tubería	Cada año	N/A	Cada año	Cada año	Cada año	Cada 2 años	Cada 2 años	Cada 2 años	N/A	N/A
	Limpieza o lubricación	Cada año	Cada año	Cada año	Cada año	Cada año	Cada 2 años	Cada año	Cada 2 años	N/A	Cada año
	Inspección de fuente de alimentación eléctrica alterna	Cada año	Cada año	Cada año	Cada año	Cada año	Cada año	Cada año	Cada 3 meses	N/A	Cada año
Correctivo	Mantenimiento por fallo completo del equipo o reparación de alguna de sus partes o piezas	Cuando amerite	Cuando amerite	Cuando amerite	Cuando amerite	Cuando amerite	Cuando amerite	Cuando amerite	Cuando amerite	Cuando amerite	Cuando amerite
	Verificación metrológica	Se debe efectuar cada vez que aplique el mantenimiento correctivo									
Migratorio	Renovación de equipo por nueva generación	Se debe evaluar la renovación del equipo entre los 5 y 10 años de funcionamiento									
	Implementación de otra tecnología	Se debe justificar después de los 10 años de uso o funcionamiento del equipo									
	Actualización de software	Cada 6 meses									

Convenciones

N/A	No Aplica
-----	-----------

Grupo A: equipos de presión diferencial (PD)	Grupo F: equipos electromagnéticos
Grupo B: equipos de sección variable (rotámetros)	Grupo G1: equipos ultrasónicos método Doppler
Grupo C: equipos volumétricos o de desplazamiento positivo (PD)	Grupo G2: equipos ultrasónicos método tiempo de tránsito
Grupo D: equipos de turbina	Grupo H: manómetros
Grupo E: equipos vórtex	Grupo H: data logger de presión

Fuente: Autor.

para el desarrollo de una primera versión del diseño de un plan de mantenimiento para los equipos de macromedición dispuestos en terreno (tabla 2).

Plan de aseguramiento de la calidad de la información

A renglón seguido se muestran los periodos recomendados para garantizar que las unidades de distribución macromedidas sean hidráulicamente estancas y de esta forma se aumente la confiabilidad de las lecturas transmitidas por el sistema de macromedición (tabla 3).

Tabla 3
Plan de aseguramiento de calidad de información macromedida

Actividad	Recomendación
Pruebas de aislamiento preliminar	Revisión bimestral de las válvulas de cierre permanente (VCP) de la unidad de distribución medida o cuando el análisis a las desviaciones presentadas en las macromediciones lo amerite.
Pruebas de aislamiento total	Ejecución bianual de pruebas de aislamiento total de la unidad de distribución medida o cuando el análisis a las desviaciones presentadas en las macromediciones lo amerite.

Fuente: Autor.

METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE EQUIPOS DE MACROMEDICIÓN

Selección de un equipo de medición de caudal

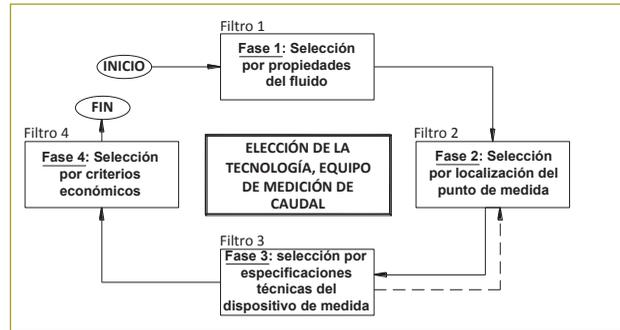
Los equipos de medición en tuberías cerradas y a presión de última generación permiten desarrollar un nuevo tema, encaminado a establecer una metodología para la selección de equipos o tecnologías de macromedición en un sistema de acueducto urbano.

La metodología propuesta está definida por las siguientes fases:

- Fase 1. Selección por propiedades del fluido.
- Fase 2. Selección por localización del punto de medida.
- Fase 3. Selección por especificaciones técnicas del dispositivo de medida.
- Fase 4. Selección por criterios económicos.

El proceso de selección está definido por las fases que se relacionan más adelante (flujograma 4), donde cada una representa un filtro en la selección de la tecnología de un equipo de medición de caudal.

La fase 1, “Selección por propiedades del fluido”, como primer filtro en la selección de un equipo de medición de caudal, depende de las siguientes variables:



Fuente: Autor.

Flujograma 4. Metodología para la selección de equipos de medición de caudal.

- Tipo de fluido que se va a medir.
- Porcentaje de aire o burbujas en volumen presente en el sistema.
- Porcentaje de partículas sólidas en suspensión en volumen presente en el sistema.
- Tipo de escenario de trabajo requerido.
- Temperatura y presión máxima de trabajo.
- Número de Reynolds mínimo de trabajo.
- Conductividad presente en el sistema.

La fase 2, “Selección por localización del punto de medida”, depende de los siguientes requerimientos y recomendaciones:

- Tramos de entrada y salida rectos y libres de accesorios.
- Orientación del equipo de caudal.
- Dirección de flujo (unidireccional/bidireccional).
- Diámetro nominal.

La fase 3, “Selección por especificaciones técnicas del dispositivo de medida”, depende de las siguientes características:

- Precisión.
- Repetibilidad.
- Rangeabilidad o rango dinámico.
- Pérdidas de carga.
- Señal de entrada.
- Normas estándares.

Finalmente, la fase 4, “Selección por criterios económicos”, cierra el ciclo de selección de un equipo de medición de caudal para el uso en un sistema de acueducto urbano, y depende de la evaluación de los siguientes parámetros:

- Costo de adquisición del equipo.
- Costos de instalación.
- Costos de funcionamiento.
- Costos de mantenimiento.
- Costos de calibración.
- Costos de incertidumbre en la medición.

METODOLOGÍA PARA EL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN DE DATOS

El procesamiento de la información de datos, producto de los resultados de los equipos de macromedición, comprende los siguientes aspectos:

- Registros de datos brutos.
- Consolidación de datos.
- Identificación de datos atípicos.
- Análisis y validación de datos atípicos, anómalos o extraños.
- Indicadores de gestión.

Las principales recomendaciones, que dependen de los anteriores aspectos, son las siguientes:

- Se recomienda llevar una estructura de almacenamiento sistemática de los datos brutos por cada mes de operación y para cualquier tipo de medida, caudal, presión o calidad de agua.
- Con los registros de la información captada en terreno es fácil que el operador o supervisor del sistema de macromedición en el área de control identifique la ausencia de datos o vacíos de información, producto de errores en el sistema de comunicación, interferencia en las mediciones causada por robos, fallas

en la alimentación eléctrica principal y alterna o por actividades de mantenimiento, entre otros, y proceda a la completitud de datos faltantes, de acuerdo con métodos estadísticos o con *softwares* especializados.

- Depurada la información de datos brutos con la completitud de datos faltantes, el procedimiento que se recomienda para la identificación de datos atípicos, anómalos o extraños en cualquier serie de medición de caudal, presión o calidad de agua es por medio de la utilización de la herramienta estadística denominada “Diagrama de cajas”. Este diagrama es una presentación visual que describe al mismo tiempo varias características importantes de un conjunto de datos, tales como el centro, la dispersión, la simetría o asimetría, y la identificación de observaciones atípicas.
- Identificada las lecturas de medición atípicas, anómalas o extrañas con este método estadístico, se sugiere un proceso de análisis para la validación o no de un dato atípico, con el análisis de cada uno de los puntos que se exponen a continuación:
 - Análisis operacional por compensación.
 - Análisis operacional por cambios en los límites de la sectorización.
 - Análisis operacional por ocurrencia de daños.
 - Análisis operacional por aumento en consumos técnicos.
 - Revisión de actividades sistemáticas.
- Para controlar la gestión de la producción de la información macromedida en un sistema de acueducto urbano es necesario que el operador establezca y cumpla ciertos indicadores de gestión, en los que pueda evaluar, por ejemplo, la variación de la medición por unidad de distribución y de unidades más grandes hasta toda la producción del sistema, la continuidad de la medición para cada punto de macromedición, el tiempo promedio de atención y reparación de daños a puntos de macromedición, el porcentaje de cumplimiento de las actividades de aseguramiento de la calidad de la información macromedida, entre otros.

CONCLUSIONES

La metodología desarrollada es una valiosa herramienta para implementar la macromedición en acueductos urbanos. Presenta procesos y procedimientos de man-

tenimiento y aseguramiento de la calidad de la información, plantea procedimientos de selección del tipo de equipo que se debería utilizar en el punto de medición particular de la red y propone una metodología para el procesamiento de la información de datos.

Esta metodología facilita la elección del equipo de macromedición, ya que analiza los avances tecnológicos en el diseño de estos aplicativos, lo cual permite observar la evolución que se presenta en el mercado para hacer menos compleja la elección del equipo adecuado.

La metodología desarrollada incluye recomendaciones para la implementación de la macromedición, teniendo en cuenta los procesos de diseño de la sectorización, la definición de características y particularidades de la infraestructura y la instrumentación que se requieren para la instalación *in situ* de un equipo, así como el diseño e implantación de las comunicaciones digitales.

El plan de mantenimiento recomendado para los equipos de macromedición es correctivo, preventivo y migratorio, que en conjunto garantiza la seguridad permanente y el funcionamiento fiable de los instrumentos de medida, el cual varía en la definición de la periodicidad de las tareas, dependiendo del tipo de tecnología instalada en campo y que, de acuerdo con los planes detallados por cada operador, se pueden modificar en aspectos como seguridad, procesos en la operación, continuidad del servicio, planes de trabajo y disponibilidad del personal técnico.

Para asegurar la calidad de la información de la macromedición, además del cumplimiento de las actividades de mantenimiento correctivo, preventivo y migratorio, es necesario garantizar que las unidades de

distribución macromedidas cumplan la condición de ser hidráulicamente estancas, razón por la cual el operador del sistema de acueducto debe realizar periódicamente pruebas de aislamiento preliminar y total.

El procesamiento de la información de datos desarrollado contempla el registro de datos brutos, la consolidación, identificación y validación de datos atípicos, anómalos o extraños, y recomendaciones para los indicadores de gestión. Con este último proceso el usuario puede evaluar comportamientos, tendencias y desviaciones de los registros históricos en la toma de acciones o correctivos en el sistema, lo cual repercute en su optimización.

REFERENCIAS

- Altendorf, M. et al. (2005). *Medición de caudal*. Barcelona, España: Endress + Hauser.
- Barreto, G. (2002). Diseño de sectorización para los sectores de La Grama, Triunfo, Centro y Barzal, e hidráulica para la ciudad de Villavicencio, y verificación de esquinas límites de los sectores Esperanza, Popular y Parque La Llanura. Villavicencio, Colombia: Aquadatos Ltda. - Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio, EAAV ESP.
- Biosciences Ltda. (2009). Medición ultrasónica de caudal y efectos de las distorsiones sobre la medida. Bogotá, Colombia.
- Cruz, M. (2009). Protocolo de informes de aprobación de la macromedición mensual de la sectorización. Bogotá, Colombia: Unión Temporal Aqua 2008 – Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, EAAB ESP.
- Exemys (2013). *Sistema de telemetría*. Buenos Aires, Argentina.
- Jiménez, M. (2003). *La sectorización hidráulica como estrategia de control de pérdidas en sistemas de acueducto*. Bogotá, Colombia: Grafiq Editores Ltda.
- Ministerio de Desarrollo Económico (2000). Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. RAS-2000. Título D. Bogotá, D.C.

Diseño geotécnico de cimentaciones aplicando factores de carga y resistencia (LRFD)

Geotechnical design of foundations applying load and resistance factors (LRFD)

CARLOS A. ARIAS V.¹ - JORGE E. DURÁN G.²

1. Ingeniero civil.
2. Ingeniero civil, magíster en Ingeniería.

carlos.arias-v@mail.escuelaing.edu.co - jorge.duran@escuelaing.edu.co

Recibido: 15/03/2016 Aceptado: 30/03/2016
Disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

Resumen

En este artículo se explora la aplicación en Colombia de métodos estadísticos en el diseño geotécnico de cimentaciones, específicamente el método de diseño por confiabilidad llamado *Load and Resistance Factors Design* (LRFD), el cual se ha incorporado en las normas de diseño de Estados Unidos y de Europa hace más de diez años en geotecnia y más de veinte años en diseños estructurales. Esta metodología la han desarrollado principalmente la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) en Estados Unidos y los Eurocódigos en la Unión Europea.

Palabras claves: LRFD, factor de seguridad, diseño por confiabilidad, NSR-10, esfuerzos admisibles, factores de carga, factores de resistencia.

Abstract

This paper explores the application in Colombia of statistical methods in geotechnical design of foundations and specifically the design method for reliability called *Load and Resistance Factors Design* (LRFD), which has been incorporated into the design standards of the US and Europe for more than 10 years in geotechnics and over 20 years in structural design. This methodology has been developed mainly by the American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) in the United States and the Eurocodes in the European Union.

Keywords: LRFD, safety factor, reliability design, NSR-10, allowed efforts, load factors, resistance factors.

INTRODUCCIÓN

El ingeniero geotecnista debe lidiar con una cantidad importante de interrogantes al momento de definir o establecer los parámetros de diseño que se utilizarán en los estudios geotécnicos, por lo que es necesario reflexionar sobre aspectos como:

- ¿Cuál es el objetivo de los factores de seguridad?
- ¿Cómo se establecieron los valores indicados en las normas?
- ¿El factor de seguridad cubre todas las incertidumbres que se generan en el modelo geológico - geotécnico, al ser éste realizado con pocas perforaciones?
- ¿El factor de seguridad analiza el tipo de ensayo de campo realizado y su aplicabilidad a los materiales encontrados?
- ¿El factor de seguridad valora la calidad y cantidad de las muestras recuperadas?
- ¿El factor de seguridad analiza la calidad, la cantidad y la variabilidad de los resultados del laboratorio?
- ¿El factor de seguridad discrimina cuándo los parámetros geotécnicos son obtenidos a partir de correlaciones y cuándo son establecidos con ensayos especiales de laboratorio?
- ¿El factor de seguridad estudia la incertidumbre en la determinación de las cargas permanentes, no permanentes, extremas y la combinación que pueda haber entre ellas?
- ¿El factor de seguridad analiza los resultados obtenidos en los cálculos al aplicar diferentes metodologías para el mismo tipo de problema considerado?
- ¿El factor de seguridad cubre la inexperiencia o el desconocimiento de los ingenieros diseñadores?
- ¿El factor de seguridad tiene en cuenta las deformaciones a corto y largo plazo, y desplazamientos resultantes?

Los anteriores cuestionamientos sustentan la siguiente pregunta frente al ejercicio geotécnico: ¿Los diseños geotécnicos están sobrediseñados, subdiseñados o correctamente diseñados? Tal vez la respuesta obvia es decir: “Pues están bien, porque las estructuras no se han caído”. Sin embargo, ¿las estructuras han funcionado correctamente?

Por lo anterior se considera adecuado abordar el tema del factor de seguridad geotécnico desde una perspectiva que permita analizar las cargas a las cuales está

expuesta una cimentación en estados límite de servicio, estados límite últimos y cargas extremas. Estas condiciones de diseño son recogidas por el método de diseño factores de carga y resistencia (LRFD, por su sigla en inglés), que se soporta en la teoría de la confiabilidad.

En Colombia, la aplicación del factor de seguridad geotécnico se ha basado en un enfoque empírico a partir de las recomendaciones internacionales sobre el tema. Las normas de diseño utilizan en la actualidad dos conceptos: el primero de ellos es un enfoque de factor de seguridad global aplicado a la capacidad de carga calculada mediante las expresiones ampliamente utilizadas en diseño. El segundo enfoque corresponde al uso de un factor básico directo aplicado al parámetro geotécnico.

Estos conceptos conducen a que los diseños hechos sobre materiales con un comportamiento granular estén controlados por el factor de seguridad básico directo y los diseños realizados sobre materiales cohesivos estén controlados por el factor de seguridad indirecto.

Particularmente, el Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes del año 1995, permite la aplicación de los procedimientos de diseño avalados por la AASHTO en Estados Unidos. Esta situación generó alguna confusión entre los ingenieros diseñadores, debido a que la norma no aclaró suficientemente la implementación de estos procedimientos y en algunos casos se consideró que sólo era aplicable al diseño estructural. Como se analizará más adelante, este concepto es errado y los diseños que se realicen aplicando metodologías basadas en la confiabilidad deben abarcar tanto los aspectos estructurales como los geotécnicos en un solo modelo de estudio.

En el desarrollo del presente artículo se abarcarán temas como:

- Métodos de diseño.
- Evolución del factor de seguridad.
- Estados límite de diseño.
- Normas de diseño para Colombia.
- Normas de referencia para Colombia.
- Métodos para la calibración de factores de resistencia.
- Factores de resistencia propuestos.
- Comparación de resultados (ejemplos de diseño).
- Aplicación de LRFD en Colombia. ¿Cómo empezar?
- Planteamiento de futuras líneas de investigación.
- Factores de resistencia propuestos.

DISEÑO GEOTÉCNICO DE CIMENTACIONES APLICANDO LRFD

Métodos de diseño

Para la aplicación del factor de seguridad existen tres enfoques de diseño que abordan el tema con dos enfoques: el primero de ellos consiste en un factor de seguridad global aplicado a la capacidad de carga de una cimentación y el segundo consiste en aplicar factores de seguridad o de reducción de resistencia parcialmente, es decir, separándolo de acuerdo con las condiciones de diseño. Este último enfoque se analiza desde dos perspectivas: determinística y estocástica.

Diseño por esfuerzos admisibles

El método de diseño por esfuerzos admisibles busca la estabilidad de las estructuras en condiciones de servicio, limitando la resistencia a valores especificados. En diseños geotécnicos corresponde a la aplicación de factores de seguridad globales a la resistencia calculada, comparándola con las cargas de trabajo de la estructura. La ecuación (1) presenta el método de diseño de los esfuerzos admisibles o esfuerzos de trabajo.

$$\Sigma DL + \Sigma LL \leq R_u / FS \quad (1)$$

Donde:

DL: carga muerta.

LL: carga viva.

Ru: resistencia última.

FS: factor de seguridad.

Diseño por factores de carga

Esta metodología utiliza factores de amplificación de carga y factores de reducción de resistencia. La aplicación de los factores de reducción de resistencia dependen del comportamiento esperado en el suelo (granular o cohesivo) y los factores de amplificación de la carga dependen del tipo de carga (muerta, viva, ambientales, agua), y tipo de obra (superficial, profunda, *offshore*).

$$\gamma(\Sigma \beta_{DL} DL + \Sigma \beta_{LL} LL) \leq \Phi R_u \quad (2)$$

Donde:

$\gamma, \beta_{DL}, \beta_{LL}$: factores de carga.

DL: carga muerta.

LL: carga viva.

Ru: resistencia última.

Φ : factor de resistencia.

Con la aplicación de este método se pueden utilizar diferentes factores de amplificación para cada combinación de carga existente en el diseño. Las desventajas de la aplicación de este método consisten en que es más complejo que el diseño por esfuerzos de trabajo y no existe ninguna evaluación del riesgo basada en la teoría de la confiabilidad.

• *Diseño por factores de carga y resistencia*

Desde hace más de 40 años, países como Estados Unidos, Canadá, México, Chile y los de la Unión Europea, entre otros, han introducido en sus códigos de diseño y construcción el método de factores de carga y resistencia (*Load and Resistance Factors Design*, LRFD), con un enfoque claro y concreto hacia la confiabilidad de las estructuras.

La teoría de la confiabilidad puede resumirse así: la palabra *confiabilidad* designa la probabilidad de un sistema para cumplir satisfactoriamente con la función para la que fue diseñado, durante determinado periodo y en condiciones específicas de operación. Si un evento interrumpe ese funcionamiento, se denomina falla.

Aplicar la teoría de la confiabilidad en el análisis más simple de diseño por LRFD consiste en utilizar factores de amplificación en la carga y factores de reducción en la resistencia, de tal forma que se logre un equilibrio entre la condición de análisis y la resistencia esperada en el suelo de fundación, logrando niveles uniformes de seguridad para las diferentes condiciones de funcionamiento de las obras.

En la ecuación (3) se presenta la expresión general del método LRFD.

$$\Sigma \eta_i \gamma_i Q_i \leq \Phi R_u \quad (3)$$

Donde:

η_i : modificadores de carga por efectos de ductilidad, redundancia e importancia operativa.

γ_i : factores de carga.

Q_i : cargas impuestas en el sistema.

Ru: resistencia última.
 Φ : factor de resistencia.

Evolución del factor de seguridad

El concepto de factor de seguridad se le atribuye a Belidor en 1729 (Meyerhof, 1994). Posteriormente, Coulomb en 1773 propuso valores para el factor de seguridad, indicando que para los problemas de capacidad se usara 1,25 y para diseños relacionados con volcamiento se utilizara 1,50.

Para 1925, Terzaghi unificó los conceptos sobre mecánica de suelos, dando origen a la mecánica de suelos moderna. En el año 1926, Krey propuso valores para el factor de seguridad dividiéndolos en problemas de estabilidad, con un FS=1,50, y problemas de capacidad última de fundaciones, con valores de FS entre 2 y 3. En algunos códigos de diseño utilizados en el mundo, incluido el de Colombia, los valores propuestos por Krey siguen siendo vigentes.

En 1943, Terzaghi dividió los análisis geotécnicos en dos clases. La primera clase estaba relacionada con las condiciones antes del fallo por flujo plástico, la cual ocurre en problemas de estabilidad, y la segunda clase estaba relacionada con las deformaciones en el suelo, es decir, problemas de elasticidad.

A partir de esta categorización, en 1948 Terzaghi y Peck propusieron factores de seguridad totales para el diseño de estabilidad y para el diseño de capacidad y deformación. Paralelamente Taylor indicó que los factores de seguridad se aplicaran a la cohesión y a la fricción de manera separada.

Brinch Hansen retomó las ideas de Taylor en 1953 y luego, en 1956, propuso coeficientes parciales de seguridad, de acuerdo con el tipo de carga y el parámetro de resistencia. Los estudios sobre factores parciales los complementaron Pugsley (1955), Freudenthal (1956), Borges y Castanheta (1968), quienes aplicaron métodos semiprobabilísticos.

En resumen, desde 1729 hasta 1968 evolucionaron dos conceptos del factor de seguridad. El primero de ellos es el factor de seguridad global, resumido por Terzaghi y Peck (1948), y el segundo corresponde a los coeficientes parciales de seguridad propuestos por Brinch Hansen (1953-1956).

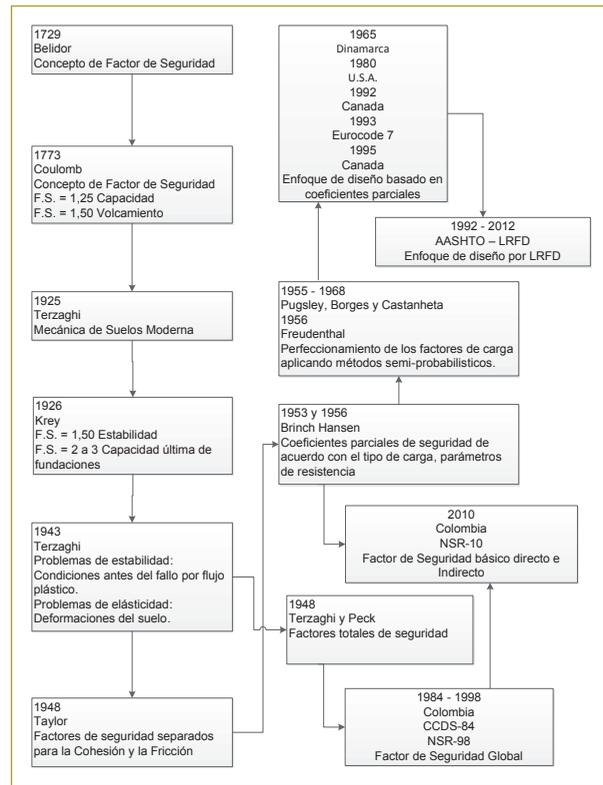


Figura 1. Evolución histórica del factor de seguridad.

Estados límite de diseño

Los estados límite de diseño son aquellas condiciones impuestas por el diseñador de una estructura para su funcionamiento normal o extremo, de tal manera que si las condiciones de operación superan las condiciones de diseño la estructura entra en condición de falla.

De acuerdo con la ASSTHO, se presentan cuatro estados límite de diseño: estado límite de servicio, estado límite de resistencia, estado límite para cargas extremas y estado límite para fatiga. Para cada estado límite se presentan combinaciones de carga que puedan conducir a la estructura a una condición de falla.

Estados límite de servicio

Los estados límite de servicio están asociados con el uso diario de las estructuras y la percepción o comodidad que tengan los usuarios de ésta. Para dicha condición de diseño se deben analizar aspectos como deformaciones, vibraciones, fisuras y durabilidad. En la tabla siguiente se presentan los principales estados límite de servicio que se deben analizar (tabla 1).

Tabla 1
Estados límite de servicio

Estado límite	Descripción
Estados límite de servicio (ELS)	ELS de deformación excesiva. ELS de vibración excesiva. ELS de fisuración excesiva. ELS de durabilidad.

Estados límite de resistencia

Los estados límite de resistencia corresponden a la verificación de la estructura frente a condiciones de resistencia última. En estas condiciones se deben analizar aspectos como falla por capacidad portante, falla por esfuerzos cortantes, falla por plastificación de los materiales y fallas por estabilidad al volcamiento o al deslizamiento. A continuación se presentan los principales estados límite de resistencia que se deben analizar en una estructura (tabla 2).

Tabla 2
Estados límite de fatiga

Estado límite	Descripción
Estados límite últimos (ELU)	ELU de agotamiento por sollicitación normal (flexión, tracción, compresión) ELU de agotamiento por sollicitación tangente (cortadura, torsión). ELU de inestabilidad elástica (pandeo, etc.) ELU de equilibrio (equilibrio mecánico: vuelco, deslizamiento, etc.).

Cargas extremas y estados límite de fatiga

Los estados límite por condiciones extremas están asociados a eventos sísmicos que, para el caso de diseños geotécnicos, se traducen en una amplificación momentánea de las cargas muertas y vivas que actúan sobre la estructura.

La condición límite de fatiga hoy día está asociada solamente a los diseños estructurales, pero es posible que en un futuro este estado límite de diseño se aplique a los diseños geotécnicos en casos como vibraciones sobre fundaciones o cargas repetitivas en complejos industriales.

Normas de diseño para Colombia

A continuación se presenta un breve resumen de la metodología utilizada en los códigos colombianos desde 1984 hasta la fecha, para la aplicación del factor de seguridad en los diseños geotécnicos.

Código de 1984

La primera norma colombiana que estableció los criterios que había que seguir en el diseño de estructuras sismorresistentes se promulgó mediante el Decreto 1400 de 1984, a raíz de la tragedia ocurrida en la ciudad de Popayán el 31 de marzo de 1983.

Los aspectos geotécnicos no se abarcaron con profundidad y solamente se encuentran dos referencias claras para el control geotécnico de los diseños. En la tabla C.9.2 se fijan las deflexiones máximas permisibles, las cuales permiten controlar los asentamientos diferenciales de las estructuras, y en el numeral E.5.1.1 se establecen los requisitos para edificaciones de uno y dos pisos, el tipo de construcción más frecuente en esa época.

NSR-98

La norma sismorresistente de 1998 (NSR-98) acogió para el análisis de la seguridad geotécnica de las obras civiles el estudio de los estados límites, evaluando las condiciones críticas que puedan presentarse durante la construcción y vida útil de las estructuras.

Posteriormente se presentan los factores de seguridad utilizados por la NSR-98 para los análisis de capacidad portante, deslizamiento y falla de fondo (tabla 3).

NSR-10

La NSR-10 plantea dos enfoques en la aplicación del factor de seguridad. El primero de ellos corresponde a un factor básico directo aplicado a los parámetros del suelo (cohesión, fricción). El segundo enfoque corresponde al factor de seguridad indirecto, que es el mismo factor de seguridad global que tradicionalmente se ha utilizado en los diseños geotécnicos (tabla 4).

La aplicación de estos dos criterios conduce a que los materiales con un comportamiento granular estén controlados por el factor de seguridad básico directo

Tabla 3
Factores de seguridad NSR-98

HIPÓTESIS	F.S.
CAPACIDAD PORTANTE (H.4.1.7)	
Carga muerta + carga viva normal	3.0
Carga muerta + carga viva máxima	2.0
Carga muerta + carga viva normal + sismo diseño	1.2
ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN (H.4.2.11)	
Deslizamiento en suelos granulares	1.5
Deslizamiento en suelos cohesivos	2.0
Volcamiento en suelos granulares	3.0
Volcamiento en suelos cohesivos	2.0
Capacidad portante	2.5
Estabilidad intrínseca	1.6
Estabilidad general del sistema	1.5
EXCAVACIONES (H.4.3.4)	
Falla de fondo en condiciones estáticas	1.5
Falla de fondo en condiciones con sismo	1.1
ASENTAMIENTOS TOTALES (20 años)	
Construcciones aisladas	30 cm
Construcciones medianeras	15 cm
ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES (según tipo de construcción)	
Edificaciones con muros y acabados susceptibles de dañarse con asentamientos menores	1/1000
Edificaciones con muros de carga en concreto o en mampostería	1/500
Edificaciones con pórticos en concreto, sin acabados susceptibles de dañarse con asentamientos menores	1/300
Edificaciones en estructura metálica, sin acabados susceptibles de dañarse con asentamientos menores	1/160

y los materiales con comportamiento cohesivo están controlados por el factor de seguridad global. Los materiales intermedios pueden estar controlados por alguno de dichos factores, dependiendo de la fracción dominante.

Normas de referencia para Colombia

En la página siguiente se presenta un resumen de las normas internacionales más representativas que comúnmente se emplean como referencia en Colombia para complementar o validar los diseños estructurales y geotécnicos que se realizan en el país (tabla 5).

AASHTO-2012 y Eurocódigos

Estas normas han desarrollado de manera profunda la aplicación del concepto de confiabilidad en sus criterios de diseño desde hace más de 20 años, estableciendo

Tabla 4
Factores de seguridad NSR-10

Factores de seguridad básicos mínimos directos				
CONDICIÓN	F _{SBM}		F _{SBUM}	
	Diseño	Construcción	Diseño	Construcción
Carga muerta + carga viva normal	1,50	1,25	1,80	1,40
Carga muerta + carga viva máxima	1,25	1,10	1,40	1,15
Carga muerta + carga viva normal + sismo de diseño pseudo-estático	1,10	1,00 (*)	No se permite	No se permite
Taludes - condición estática y agua subterránea normal	1,50	1,25	1,80	1,40
Taludes - condición pseudoestática con agua subterránea normal y coeficiente sísmico de diseño	1,05	1,00 (*)	No se permite	No se permite
Factores de seguridad indirectos mínimos				
Condición		F _{SICP} mínimo		
Carga muerta + carga viva normal		3,00		
Carga muerta + carga viva máxima		2,50		
Carga muerta + carga viva normal + sismo de diseño pseudoestático		1,50		
Valores máximos de asentamientos diferenciales calculados, expresados en función de la distancia entre apoyos o columnas				
Tipo de construcción			δ _{máx}	
Edificaciones con muros y acabados susceptibles de dañarse con asentamientos menores			1/1000	
Edificaciones con muros de carga en concreto o en mampostería			1/500	
Edificaciones con pórticos en concreto, sin acabados susceptibles de dañarse con asentamientos menores			1/300	
Edificaciones en estructura metálica, sin acabados susceptibles de dañarse con asentamientos menores			1/160	

factores de reducción de resistencia para los diseños geotécnicos. En la aplicación del diseño por confiabilidad es necesario que las combinaciones de carga para cada uno de los estados límite de diseño estén claramente establecidas, de tal forma que se pueda equilibrar el diseño con los respectivos factores de reducción de resistencia.

Tabla 5

Normas internacionales para diseño estructural y geotécnico

País	Nombre	Año
Estados Unidos	AASHTO	1931, con actualizaciones cada 4 años, aprox.
Estados Unidos	ANSI A58	1980
Dinamarca	DS 415	1965
Unión Europea	Eurocódigo 7	1993
Canadá	CFEM	1992
Canadá	NBCC	1995
México		

Calibración de factores de resistencia

La aplicación de métodos basados en la teoría de la confiabilidad puede representar algunas ventajas en el diseño de cimentaciones superficiales o profundas, pero es necesario calibrar los factores de amplificación de carga y reducir la resistencia para cada región donde se pretenda implementar.

Como se explicó anteriormente, el diseño por confiabilidad busca equilibrar en el mismo modelo las cargas impuestas sobre el sistema, amplificándolas en función de la incertidumbre que se posee en su determinación y, paralelamente, aplicar una reducción de la resistencia de acuerdo con la variabilidad que poseen aspectos como la naturaleza misma del suelo, los procedimientos empleados en campo y en laboratorio para determinar los parámetros geotécnicos, las metodologías que existen para el cálculo de la resistencia al corte y la experiencia misma del ingeniero diseñador. A continuación se presentan de manera resumida algunos procedimientos aplicables en la calibración de este modelo.

Calibración a partir de ASD

La forma más rápida de establecer un orden de magnitud para los factores de amplificación y de reducción de resistencia consiste en igualar el concepto de diseño por esfuerzos admisibles (ASD), con el concepto de diseño por confiabilidad (ecuación 4):

$$\frac{R_n}{FS} \geq \sum Q_i \leftrightarrow \phi R_n \geq \sum \eta_i \gamma_i Q_i \quad (4)$$

Donde:

R_n : resistencia nominal.

Q_i : cargas impuestas sobre el sistema.

FS: factor de seguridad global.

ϕ : factor de reducción de resistencia.

η_i : efectos de ductilidad, redundancia e importancia operativa.

γ_i : factores de amplificación de carga.

El desarrollo de la expresión matemática para el cálculo del factor de reducción de resistencia (ϕ) se muestra en la ecuación 5. A partir de esta expresión se puede establecer que existe una fuerte dependencia de la relación que existe entre la carga muerta y la carga viva, es decir, entre las cargas permanentes y las no permanentes.

$$\phi = \frac{\gamma_D (Q_D/Q_L) + \gamma_L}{FS(Q_D/Q_L + 1)} \quad (5)$$

Donde:

γ_D : factores de carga muerta.

γ_L : factores de carga viva.

Q_D : carga muerta.

Q_L : carga viva.

FS: factor de seguridad global.

Análisis de confiabilidad simple

Para desarrollar este concepto se parte de la hipótesis original del método, la cual consiste en establecer la función de densidad de probabilidad para cargas y resistencias, y a partir de estas funciones establecer una nueva función de probabilidad que relacione las cargas y la resistencia. En esta nueva función se involucra el concepto de índice de confiabilidad (β), que representa la distancia que el valor medio de la función $F(g)$ se aleja de la zona de falla (figura 2).

El índice de confiabilidad debe estar asociado a una probabilidad de falla de un sistema y una relación comúnmente aceptada entre el índice de confiabilidad (β) y la probabilidad de falla (PF), desarrollada por Rosenbluth y Esteva (1972) para valores de distribución lognormal de R y Q , utilizando la ecuación 6:

$$p_f = 460 \exp(-4,3 \times \beta) \quad (6)$$

Donde β toma valores entre $2 < \beta < 6$

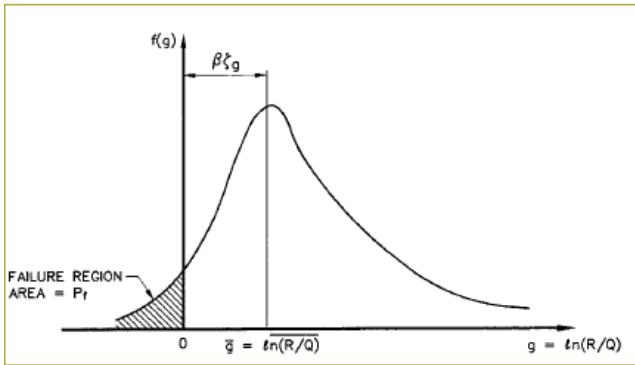


Figura 2. Definición del índice de confiabilidad β .

A continuación se presenta la relación entre la probabilidad de falla y el índice de confiabilidad asociado (tabla 6).

Tabla 6
Relación entre la probabilidad de falla y el índice de confiabilidad β

Índice de confiabilidad (β)	Probabilidad de Falla (p_f)
2,5	$0,99 \times 10^{-2}$
3,0	$1,15 \times 10^{-3}$
3,5	$1,34 \times 10^{-4}$
4,0	$1,56 \times 10^{-5}$
4,5	$1,82 \times 10^{-6}$
5,0	$2,12 \times 10^{-7}$
5,5	$2,46 \times 10^{-8}$

En la figura siguiente se observa la relación entre la probabilidad de falla anual de las estructuras relacionadas con las pérdidas de vidas humanas y diseño (figura 3).

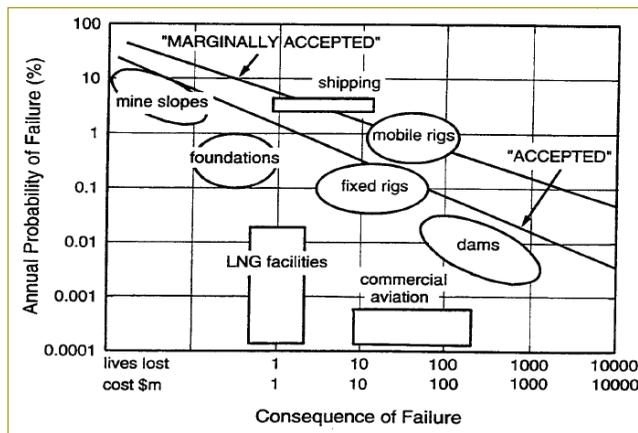


Figura 3. Valores empíricos de probabilidad de falla en obras civiles (AASHTO-2012).

Como se mencionó anteriormente, los procedimientos de calibración comienzan en la definición de la función de probabilidad de frecuencia que poseen las cargas y la resistencia; *a priori*, esto no es fácil de determinar sin contar con el apoyo de análisis estadístico sobre las variables que intervienen en el diseño.

En estas condiciones es posible que la función de probabilidad de frecuencia que relaciona las cargas y las resistencias corresponda a una función normal para cargas y resistencias, lognormal para cargas y resistencias o normal para cargas y lognormal para resistencias.

A partir de los parámetros estadísticos que definen la nueva función analizada se puede llegar a expresiones para la determinación del factor de reducción de resistencia de acuerdo con la condición estudiada. En las ecuaciones 7, 8 y 9 se presentan las expresiones aplicables en estos análisis. Así: ecuación 7 (normal para carga y resistencia), ecuación 8 (normal para carga y lognormal para resistencia), ecuación 9 (lognormal para carga y resistencia).

$$\varphi = \frac{\lambda_R \left(\gamma_D \frac{Q_D}{Q_L} + \gamma_L \right)}{\left(\lambda_{Q_D} \frac{Q_D}{Q_L} + \lambda_{Q_L} \right) + \left(\beta \sqrt{\sigma_Q^2 + \sigma_R^2} / Q_L \right)} \quad (7)$$

$$\varphi \approx \frac{\lambda_R \left(\gamma_D \frac{Q_D}{Q_L} + \gamma_L \right) \left[1 - k(COV_R) \right] \left\{ 1 - \ln \left[1 - k(COV_R) \right] \right\}}{\left(\lambda_{Q_D} \frac{Q_D}{Q_L} + \lambda_{Q_L} \right) + \beta_T \sqrt{\left\{ \sigma_R \left[1 - k(COV_R) \right] \right\}^2 + \sigma_Q^2}} \quad (8)$$

$$\varphi = \frac{\lambda_R \left(\gamma_D \frac{Q_D}{Q_L} + \gamma_L \right) \sqrt{\frac{1 + COV_{Q_D}^2 + COV_{Q_L}^2}{1 + COV_R^2}}}{\left(\lambda_{Q_D} \frac{Q_D}{Q_L} + \lambda_{Q_L} \right) \cdot \exp \left\{ \beta_T \sqrt{\ln \left[(1 + COV_R^2) (1 + COV_{Q_D}^2 + COV_{Q_L}^2) \right]} \right\}} \quad (9)$$

Donde:

- Desviación estándar de la carga σ_Q
- Desviación estándar de la resistencia σ_R
- Factor de carga muerta γ_D
- Factor de carga viva γ_L
- Coficiente de variación de la carga muerta COV_{QD}
- Coficiente de variación de la carga viva COV_{QL}
- Coficiente de variación de la resistencia COV_R
- Sesgo de la resistencia λ_R
- Sesgo de la carga muerta λ_{QD}
- Sesgo de la carga viva λ_{DL}
- Índice de confiabilidad β
- Factor similar a β (usualmente = 2) K

Este tipo de análisis es el más simple de realizar que involucre análisis estadístico, sin embargo es necesario que para cada una de las variables se realice un análisis estadístico completo.

Primer orden, segundo momento

El denominado método FOSM (*First-Order, Second Moment*) utiliza la serie de Taylor para la determinación de la distribución de probabilidad de una función con un número de variables aleatorias.

El truncamiento de la función de expansión de la serie de Taylor forma la base de este método y las salidas y entradas de datos son expresadas por valores esperados y desviación estándar. Las ventajas de este tipo de solución radican en que los cálculos matemáticos son simplificados y se requiere apenas el conocimiento de los valores de los momentos de las distribuciones estadísticas de las variables que forman la función.

Estimaciones puntuales de Rosenblueth

Rosenblueth propuso un método aproximado que simplifica mucho la tarea de estimar la media y la desviación estándar del factor de seguridad, y sólo compromete ligeramente la exactitud cuando las dispersiones de las variables envueltas son muy grandes. Consiste en estimar los momentos (media, desviación estándar, coeficiente de asimetría, etc.) de la variable dependiente en función de las variables aleatorias independientes, para las cuales se conocen por lo menos dos momentos, media y desviación estándar (o por lo menos sus estimativas), sin la necesidad de conocer las distribuciones de probabilidad completas de las variables independientes o de la dependiente.

Simulaciones de Montecarlo

Esta es una metodología que permite determinar la función de distribución de frecuencia de la variable dependiente analizada mediante la generación de números aleatorios uniformes que representan las variables independientes envueltas.

El método de Montecarlo puede presentarse como un método exacto, pues a partir del conocimiento de las distribuciones estadísticas de las variables independientes, valores de estas variables podrían obtenerse

por medio de un generador de números aleatorios y valores de la variable independiente calculados a partir de estos.

Factores de resistencia propuestos

Como se ha podido analizar en los numerales anteriores, establecer los factores de reducción de resistencia es una tarea muy compleja que requiere gran cantidad de información de las etapas de exploración de campo, ensayos de laboratorio, diseños geotécnicos, control de obra, pruebas de carga y análisis de resultados.

Para la estimación de factores de reducción de resistencia cercanos a los aplicables en el ámbito colombiano se siguió este procedimiento planteado por Foye, Jaoude & Salgado en su texto “Diseño de fundaciones profundas por estados límites, 2004”:

- a) Identificar las ecuaciones utilizadas para calcular la resistencia de la fundación.
- b) Identificar las variables que componen las ecuaciones de resistencia.
- c) Identificar las cantidades mensurables (ensayos geotécnicos) asociadas con cada una de las variables utilizadas como datos de partida.
- d) Identificar todas las incertidumbres que componen cada variable, incluyendo las transformaciones.
- e) Evaluar las incertidumbres compuestas usando los análisis estadísticos disponibles (literatura, ensayos/ análisis, investigación actual).
- f) Utilizar las incertidumbres para seleccionar funciones de densidad de probabilidad (PDF) para el análisis de confiabilidad.
- g) Seleccionar las variables de diseño representativas (dimensiones, resistencias, cargas).
- h) Ejecutar el análisis de confiabilidad para obtener factores de resistencia (en este caso se realizaron simulaciones de Montecarlo para determinar las propiedades de la función de densidad de probabilidad de la resistencia y luego mediante análisis de confiabilidad simple se calculó el factor de resistencia).
 - i) Ajustar los factores de resistencia para los factores de carga determinantes.
 - j) Repetir el análisis de confiabilidad para abarcar un rango de condiciones de diseño representativas.

A partir de la recomendación de la AASHTO se evaluaron los factores de reducción de resistencia tomando la función de densidad de probabilidad que relaciona la carga y la resistencia como una función lognormal.

Adicionalmente, se asumieron como marco de referencia las normas AASHTO-2012, NSR-10 y el CCDSP-95 para la definición de los factores de ampliación de carga.

Se calcularon los coeficientes de variación de la resistencia a partir del estudio de una base de datos con 95000 registro de ensayos de laboratorio y campo a partir de los cuales se calcularon cimientos superficiales y profundos hipotéticos apoyados sobre estos materiales.

Los coeficientes de variación de los parámetros geotécnicos son éstos (tabla 7).

Tabla 7

Coeficientes de variación para cimientos superficiales y profundos

Tipo de cimiento	Parámetro	COV
Superficial	ϕ	0,52
	Su	0,63
	c', ϕ	0,45
Profundo	Su	0,53
	N ₁₆₀	0,47

A partir de los coeficientes de variación y sesgo para la resistencia se calcularon los factores de resistencia para cada una de las normas tomadas como marco de referencia. En la tabla siguiente se presentan los valores del factor de resistencia calculado (tabla 8).

Aplicación de LRFD en Colombia. ¿Cómo empezar?

Las ventajas que brinda la aplicación de LRFD están encaminadas a lograr edificaciones confiables y con una baja probabilidad de falla, de acuerdo con el estado límite que se requiera evaluar. Como se ha visto en el caso europeo y en el norteamericano, la aplicación de este procedimiento de diseño no es fácil y requiere gran tiempo debido a la cantidad de información necesaria para la calibración de los factores de resistencia.

De acuerdo con lo anterior, para lograr la aplicación de esta metodología se deben hacer esfuerzos en dos áreas, principalmente:

Tabla 8

TIPO DE CIMIENTO	Parámetro	COV	CON FACTORES DE CARGA DE			AASHTO
			AASHTO	NSR-10	CCDSP 95	
SUPERFICIAL	ϕ	0,52	0,42	0,39	0,51	0,45
	Su	0,63	0,25	0,23	0,30	0,45
	c', ϕ	0,45	0,38	0,36	0,47	0,45
PROFUNDO	Su	0,53	0,31	0,29	0,38	0,45
	N ₁₆₀	0,47	0,47	0,44	0,57	0,45

- Universidades
- Normativa

Universidades frente al LRFD

Teniendo en cuenta que en la filosofía del método está el garantizar confiabilidad en las obras y una probabilidad de falla acorde con el tipo de obra, es necesario que en las universidades que dictan programas de especialización en Geotecnia y se implemente en las mallas curriculares asignaturas relacionadas con probabilidad y estadística aplicadas a geotecnia, ya que son las universidades las encargadas de aportar los conocimientos necesarios para que los profesionales hagan la transición entre los dos métodos, sin tener mayores complicaciones.

A partir de ese conocimiento se podrá analizar la manera en que se deben efectuar los trabajos geotécnicos y la forma correcta de establecer los factores de resistencia según el caso de análisis. En la figura siguiente se presenta la secuencia que se considera debe seguir el diseño geotécnico, cuando se quieren determinar los factores de resistencia por utilizar en diseño. Estas áreas corresponden a las que se deben reforzar en los programas de maestría y especialización geotécnica (figura 4).



Figura 4. Secuencia típica en el desarrollo de un diseño geotécnico aplicando LRFD.

Normativa frente al LRFD

Como se explicó anteriormente, las normas colombianas encargadas de regular los diseños geotécnicos (NSR-10, CCCP-95) van por caminos diferentes y, aunque es lógico pensar que los tipos de obras no son comparables, no por ello se debe descartar un método que apunta hacia mejores resultados, por ejemplo el LRFD.

La Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, por medio de los comités AIS 100 (Diseño y Construcción Sismo Resistente de Edificaciones) y AIS 200 (Diseño y Construcción Sismo Resistente de Puentes) es la encargada de preparar las normas aplicables en Colombia en temas relacionados con diseños estructurales y geotécnicos de edificaciones y puentes, respectivamente, y es su deber armonizar las normas para lograr que los factores de seguridad y las probabilidades de falla sean homogéneas, independientemente del tipo de estructura diseñada o de la norma aplicada. Por lo tanto, se deben unificar los criterios aplicados en las normas vigentes.

Adicionalmente, es necesario que exista un mayor control sobre la gestión realizada por las curadurías por parte del gobierno y que exista capacitación permanente por parte de las universidades a los funcionarios encargados de aprobar las licencias de construcción.

Para lograr la implementación de LRFD se requiere gran cantidad de información geotécnica y estructural.

Por lo tanto, es necesario que desde la normativa se cree una entidad que regule aspectos como:

- *Calidad de los estudios de suelos.* Las empresas consultoras deberán reportar los estudios de suelos realizados ante esta entidad, garantizando la reserva necesaria para el cliente que haya contratado los servicios, pero aportando información necesaria para analizar estadísticamente los materiales encontrados. Al verificar la calidad se observarán aspectos como cantidad y profundidad de investigaciones geotécnicas, cantidad y calidad de muestras recuperadas, dispersión de los datos recopilados en campo y laboratorio.
- *Instrumentación geotécnica.* Es necesario que los proyectos, en general, cuenten con instrumentación geotécnica suficiente, la cual permitirá analizar aspectos como niveles de deformación que presente la estructura, cargas permanentes reales sobre el suelo de fundación, variación de las cargas transitorias, valores pico en eventos extremos, entre otros.

Con el manejo de esta información resultará más fácil ajustar los factores de carga y los factores de resistencia, por sectores y por tipo de suelo. Esta labor se puede hacer mediante la publicación anual de una cartilla en la que se registren los datos estadísticos de los estudios de suelos realizados y aprobados a escala nacional.

Es necesario desarrollar un proyecto de investigación financiado por el Estado, que permita establecer de manera adecuada la confiabilidad real de los estudios de suelos en Colombia, es decir, que con el objetivo de implementar en los diseños geotécnicos los conceptos de confiabilidad, es necesario generar una gran base de datos detallada de uso público que permita establecer la veracidad y calidad de los trabajos realizados, publicar valores típicos de los parámetros geotécnicos y definir desde el punto de vista estadístico las funciones de densidad de probabilidad que se deban utilizar en la calibración de los factores de resistencia por regiones o zonas típicas en Colombia (microzonificación geostatística para Colombia).

Planteamiento de futuras líneas de investigación

Dentro del desarrollo del presente ejercicio académico se pudo evidenciar la necesidad de efectuar investiga-

ciones y profundizaciones en los siguientes campos del conocimiento geotécnico:

- Análisis de la variabilidad de los parámetros geotécnicos en los tipos de suelos en Colombia. Este tema es el soporte principal desde el punto de vista geotécnico para realizar diseños basados en confiabilidad.
- Recopilación, procesamiento y análisis de instrumentación geotécnica en temas como deformaciones, pruebas de carga (estáticas y dinámicas), en diferentes tipos de obras civiles.
- Desarrollo de investigaciones conjuntas entre ingenieros estructurales y geotécnicos para la determinación de los valores de amplificación de carga y reducción de la resistencia.
- Desarrollo de tesis de investigación o profundización en la utilización de equipos geotécnicos como CPT, PMT, DMT y CPTu. Con el objetivo de calibrar adecuadamente los equipos y plantear factores de ajuste y correlaciones adecuadas a nuestro medio.
- Implementación en los programas académicos de especialización y maestría en áreas del conocimiento relacionadas con probabilidad y estadística aplicada a la geotecnia (geoestadística).

CONCLUSIONES

El ejercicio de la profesión de ingeniero de fundaciones está lleno de incertidumbre, asociada principalmente con la génesis de los materiales sobre los cuales se deben cimentar las obras civiles. El desarrollo de un estudio geotécnico está limitado por aspectos como el dinero disponible para los trabajos de campo, la cantidad de ensayos de laboratorio que se pueden ejecutar, el tiempo disponible para realizar el trabajo y la cantidad de información disponible para plantear las soluciones.

Estas incertidumbres se han resuelto a partir de dos aspectos, básicamente: el primero es el buen juicio de los profesionales encargados de realizar los diseños geotécnicos y el segundo es mediante la aplicación de factores de seguridad globales.

La combinación de estos dos aspectos ha conducido a obtener resultados aceptables desde el punto de vista del colapso de las estructuras, ya que no es usual que ocurran casos como el del edificio Space, de la ciudad de Medellín. Sin embargo, los resultados no han sido

tan afortunados cuando se analiza la situación desde el punto de vista del servicio o funcionamiento de las estructuras o los puentes vehiculares donde es habitual una falla de servicio en la zona de transición entre la estructura flexible y la rígida.

Teniendo en cuenta que, con la norma NSR-98, se han presentado numerosas quejas por parte de los usuarios de edificaciones nuevas y que la NSR-10 posee la misma filosofía de diseño para aspectos geotécnicos, es de esperar que se mantengan las quejas o, peor, que éstas se incrementen debido al crecimiento económico proyectado para Colombia, el cual debe generar un crecimiento en el sector de la construcción de vivienda, hoteles, hospitales, entre otros. Por lo tanto, existe la posibilidad de que se sigan presentando fallas de servicio, las cuales implican pérdidas económicas importantes para los propietarios de los inmuebles.

Lo anterior indica que se hace necesario utilizar métodos más robustos que permitan combinar de una manera más adecuada el modelo estructural con el modelo geotécnico, logrando resultados más equilibrados. Este método puede ser el LRFD, pero su aplicación no es conveniente de manera inmediata, como se plantea en el nuevo código de puentes que está próximo a quedar vigente para Colombia, o el manual presentado por el Invías para el diseño de estructuras viales, ya que se requiere que los profesionales especializados en estas áreas reciban capacitación adecuada, se calibren los factores de carga y resistencia de manera unificada y no que unos respondan al planteamiento de los otros.

Además, se hace necesario que las normas en Colombia incluyan estos métodos de diseño basados en la confiabilidad, ya que tienen un sustento matemático más profundo que el simple concepto de factor de seguridad global que hoy día se utiliza.

Así mismo, las universidades deben actualizar sus programas académicos para que incluyan análisis y diseños basados en la teoría de la confiabilidad, independientemente de que en Colombia aún no se aplique este tipo de métodos. En la búsqueda de profesionales mejor preparados y buscando darles una proyección internacional, es necesario que se incluyan estos contenidos académicos.

Las universidades buscan profesionales mejor preparados y con una proyección internacional, pero para tal fin es necesario que los programas curriculares abarquen temas que sean de punta en la práctica normal

de otras latitudes, las analicen y enfoquen en la realidad colombiana.

Dentro del desarrollo del presente trabajo de profundización se presentaron grandes dificultades en abarcar el tema, ya que no estamos acostumbrados a este tipo de análisis en estructuras y en forma general existe desconocimiento de la manera en que se debe abarcar el tema; esta situación generó un sesgo en los análisis y probablemente los factores obtenidos son más conservadores de lo que podrían ser utilizados.

En forma general, las empresas o los profesionales consultados para llevar a cabo el presente trabajo se mostraron celosos con la información o los procedimientos utilizados para diseño. Debido a esto no fue posible consultar información de buena calidad en aspectos como instrumentación, pruebas de carga o controles de asentamientos. Estos aspectos son vitales para poder implementar análisis basados en la confiabilidad, ya que es una tarea casi imposible pensar que un solo proyecto invierta todo el dinero requerido para calibrar de manera adecuada los factores de resistencia

Como se pudo observar en el capítulo dedicado a la calibración de los factores de resistencia existen procedimientos robustos y de fácil aplicación, pero que requieren una gran cantidad de datos para su implementación. De acuerdo con lo anterior, se considera inadecuado que cualquier norma colombiana aplique o permita diseños basados en la confiabilidad como los indicados por la AASHTO, sin antes realizar una calibración rigurosa de los factores de carga y resistencia.

Aplicar LRFD tal como lo indica AASHTO implica suponer que los procedimientos de diseño, construcción, control de calidad, calidad de los material, ensayos de laboratorio, y todo lo relacionado con las obras civiles en Colombia poseen igual o mejor calidad que la utilizada en la calibración de los factores que se hizo para la AASHTO. La validación de esta hipótesis requiere investigación, liderada por el Estado apoyado en las universidades.

Actualmente, la aplicación del LRFD en Estados Unidos o el Eurocódigo en Europa no se realiza de manera generalizada; existen incluso estados donde aún están analizando la aplicabilidad de estos procedimientos. En la presentación misma de las normas se indica que los factores presentados son de referencia, pero que es necesario que se realice la calibración de los factores de acuerdo con la práctica local. Estas indicaciones,

sumadas al hecho de que los procedimientos de diseño y construcción obedecen a condiciones diferentes en cada región, implican que para la aplicación adecuada de estos métodos es necesario profundizar en análisis estadísticos específicos.

REFERENCIAS

- Aenor (Asociación Española de Normalización y Certificación) (octubre de 2010). UNE-EN 1997-1. Eurocódigo 7: Proyecto geotécnico, parte 1, reglas generales. Madrid, España: Aenor.
- American Association of Transportation Officials (2012). AASHTO LRFD Bridge. Design Specifications. Estados Unidos.
- Epidat 4.0 (junio de 2012). Distribuciones de probabilidad. Ayuda Epidat 4.0. Análisis Epidemiológico de Datos. Galicia, España: Consejería de Sanidad. Galicia.
- Federal Highway Administration (2001). Load and resistance factor design (LRFD) for highway bridge substructures. Publicación FHWA HI-98-032.
- Felizia, E. (1996). Centrales nucleares. La evaluación probabilística de su seguridad. *Revista de divulgación científica y tecnológica de la asociación Ciencia Hoy*, vol. 5, N.º 35.
- Foye, K., Jaoude, G. A. & Salgado, R. (2004). *Diseño de fundaciones profundas por estados límites*. West Lafayette, Indiana: Universidad de Purdue.
- Gaceta Oficial del Distrito Federal* (6 de octubre de 2004). Normas técnicas. Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de cimentaciones. México, D.F. México: Gaceta Oficial del Distrito Federal.
- González, A. (1999). Estimativos de parámetros efectivos de resistencia con el SPT. X Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería Colombiana - SCI-SCG-1999 (p. 12). Bogotá.
- Hidalgo, C. & Pacheco de Asís, A. (2011). Herramientas para análisis por confiabilidad en geotecnia. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-33242011000100008&script=sci_arttext#t1: <http://www.scielo.org.co>
- <http://concepto.de/probabilidad/>. (s.f.). Obtenido de Portal Educativo. Concepto.de: www.concepto.de
- <http://diarioadn.co/bogot%C3%A1/mi-ciudad/fallas-en-la-construcci%C3%B3n-de-vivienda-1.82698>. (Octubre de 2013). Obtenido de www.diarioadn.co.
- http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_154_179_106_1463.pdf. (s.f.). Obtenido de <http://www.biblioteca.udep.edu.pe/>.
- <http://www.cdoconstructora.com/proyectos-construidos/>. (Mayo de 2014). Obtenido de <http://www.cdoconstructora.com/>.
- <http://www.elespectador.com/noticias/bogota/articulo117257-multas-210-constructoras-bogota-fallas-edificaciones>. (Febrero de 2009). Obtenido de <http://www.elespectador.com/>.
- <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-13929475>. (Mayo de 2014). Obtenido de <http://www.eltiempo.com/>.
- <http://www.importancia.org/probabilidad.php>. (s.f.). Obtenido de www.importancia.org.
- Instituto Nacional de Vías (2012). *Manual de diseño de cimentaciones superficiales y profundas para carreteras*. Bogotá, Colombia.
- Meyerhof, G. (1994). Evolution of safety factors and geotechnical limit state design. The Second Spencer J. Buchanan Lecture. Texas. Estados Unidos: Texas A&M University, USA.

Muñoz, E. (2004). Evaluación del estado de los puentes de acero de la red vial de Colombia. *Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, vol. 4(2) 125, 16.

NSR-010. Ministerio de Ambiente, V.Y. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. NSR-10. Título H. Estudios geotécnicos. Bogotá, Colombia: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

NSR-98. Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente (1998). Bogotá: AIS. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Sabino, C. (1992). *El proceso de investigación*. Caracas: Ed. Panapo.

Spiegel, M. R. (1975). *Probabilidad y estadística*. México: McGraw-Hill de México S.A. de C.V.

U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration. (2001). Load and Resistance Factor Design (LRFD) for Highway Bridge Substructures. Reference Manual and Participant Workbook. Estados Unidos: FHWA.

Withiam, J. L. (2003). Implementation of the AASHTO LRFD Bridge Design Specifications for Substructure Design.

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

Scope and policy

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

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

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

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

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

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

Ruling for publication

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



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