

REVISTA INGENIERÍAS

UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN

Vol. 10 No. 19 Julio/Diciembre de 2011



UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN





UNIVERSIDAD DE MEDELLIN


REVISTA INGENIERÍAS

UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN

Volumen 10, Número 19, julio/diciembre de 2011

ISSN-I: 1692-3324

ISSN-E: 2248-4094

Nuestra publicación ha sido admitida en Índice Bibliográfico Nacional de Publicaciones Seriadas Científicas y Tecnológicas, PUBLINDEX, COLCIENCIAS, clasificación A2 Scientific Electronic Library Online –SciELO– Colombia Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias-PERIÓDICA, Universidad Nacional Autónoma de México Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal-LATINDEX Bases de datos “Fuente Académica”, “Fuente Académica Premier” y “Academic Search Complete” de EBSCO Information Services Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal-RedAlyC-  Base de datos “Scifinder” de Chemical Abstracts Service Base de datos “Informe Académico” de Gale Cengage Learning DIALNET. Red de revistas científicas de investigación de habla hispana IET-INSPEC

Miembro de la Red Colombiana de Revistas de Ingeniería



Aura Marlenny Arcila Giraldo
Presidenta Honorable Consiliatura

Néstor Hincapié Vargas
Rector

Alba Luz Muñoz Restrepo
Vicerrectora Académica

Leonardo David López Escobar
Coordinador Editorial, Universidad de Medellín
ldlopez@udem.edu.co

Fredy López Pérez
Editor
jflopez@udem.edu.co

Lorenza Correa Restrepo
Corrección de estilo
lorenzacorrea@une.net.co

Olga Gil Domínguez
Traductora
olgagil@une.net.co

Andrés Borrás Álvarez
Catalina Flórez García
Paula Andrea Vélez
Asistencia editorial

COMITÉ EDITORIAL

Fredy López Pérez, M. Sc.
Universidad de Medellín, Colombia. Editor
Manuel Alonso Builes, M. Sc.
Universidad de Medellín, Colombia
Nini Johana Marin Rodríguez. Ph. D. (c).
Universidad de Medellín, Colombia
Bell Manrique Losada. Ph. D. (c).
Universidad de Medellín, Colombia
Óscar Pastor López, Ph. D.
Universidad Politécnica de Valencia, España
Jordi Morató. Ph. D.
Universidad Politécnica de Cataluña, España
José Gallardo Arancibia, Ph. D.
Universidad Católica del Norte, Chile
Germán Urrego Giraldo, Ph. D.
Universidad de Antioquia, Colombia
Amit Chaudhry, Ph. D.
Panjab University, Chandigarh, India
Damià Vericat, Ph. D.
Universidad de Lleida, España

COMITÉ CIENTÍFICO

Luis Fernando Restrepo Vélez. Ph. D.
Solingal, Colombia
Jorge A. Ramírez. Ph. D.
Universidad de Colorado, EU
Guillermo E. Franco. Ph. D.
Universidad de Columbia, EU
André Pacheco de Assis. Ph. D.
Universidad de Brasilia, Brasil
Juan Diego Jaramillo Fernández. Ph. D.
Universidad EAFIT, Colombia
Valeria Herskovic, Ph. D.
Universidad Católica del Norte, Chile
Claudio Meneses, Ph. D.
Universidad Católica del Norte, Chile

Canje, correspondencia y suscripciones: Biblioteca de Facultades “Eduardo Fernández Botero” Universidad de Medellín
Tel.: 340 52 52- 340 53 35 • Fax (57-4) 345 52 16-Apartado Aéreo 1983

Correos electrónicos: rbarrientos@udem.edu.co
revistaingenieriasudem@gmail.com
Medellín, Colombia S.A.

Impresión: Cadena
Cra 50 # 97a Sur 150 Autop. Sur km 16
Tel: (4)378 66 66 Fax: (4)2795542
Medellín-Colombia

Fecha de impresión: noviembre de 2011.
Foto portada: “Dos velas”, Fredy López.

Queda autorizada la reproducción total o parcial de los contenidos de la revista con finalidades educativas, investigativas o académicas siempre y cuando sea citada la fuente. Para poder efectuar reproducciones con otros propósitos, es necesario contar con la autorización expresa del Sello Editorial de la Universidad de Medellín. Las ideas, contenidos y posturas de los artículos son responsabilidad de sus autores y no comprometen en nada a la Institución ni a la Revista.

Los artículos son responsabilidad de sus autores y no comprometen en nada a la Institución ni a la revista.

Visión

La Universidad de Medellín impulsará la educación superior mediante la excelencia académica, la cultura investigativa y la responsabilidad social, para contribuir al desarrollo regional y nacional, en el contexto internacional.

Misión

Fundamentada en su lema Ciencia y Libertad , la Universidad de Medellín tiene como misión la promoción de la cultura y la formación integral de profesionales que contribuyan a la solución de problemas en las áreas de los saberes propios, mediante la docencia, el fomento de la investigación y la interacción con la sociedad.

Valores

Justicia,
Respeto,
Responsabilidad,
Equidad,
Solidaridad,
Coherencia.

Misión de la Revista

Hacer difusión de resultados de investigación en los ámbitos de las ingenierías Civil, Ambiental, Financiera, de Telecomunicaciones, de Sistemas y áreas afines, mediante la publicación de textos en forma de artículos de investigación científica, de reflexión, de revisión, artículos cortos, reportes de caso, revisión de tema, cartas al editor, editorial, traducciones o documentos de reflexión no derivados de investigación.

Mission of the Magazine

To publish research results in fields such as Civil Engineering, Environmental Engineering, Financial Engineering, Telecommunication Engineering, Computer Science Engineering, and related areas, through publication of text in the form of scientific research articles, reflection articles, revision articles, short articles, case reports, topic review, letters to the editor, editorials, translations, or reflection documents not resulting from research.

Missão do compartimento

Fazer difusão dos resultados da pesquisa nas áreas das Engenharias civil, ambiental, financeira, das telecomunicações, da computação e áreas afins, por meio da publicação de textos, na forma de artigos de pesquisa científica, de reflexão, de revisão, artigos curtos, reporte de casos, revisão de tópicos, cartas ao editor, editorial, traduções o documentos de reflexão não derivados da pesquisa

Contenido Contents

Presentación	7
Editorial	9
Colaboradores	11
Efecto de la concentración del metil paratión y el extracto de levadura como factores de selección de microorganismos degradadores del pesticida a partir de suelos contaminados. <i>Effect of Methyl Parathion Concentration and Yeast Extract as Factors for Selecting Pesticide Degrading Microorganisms from Polluted Soils</i> L. R. Botero; N. Nagles; J.C. Quintero; G. A. Peñuela	13
Patologías respiratorias en niños preescolares y su relación con la concentración de contaminantes en el aire en la ciudad de Medellín (Colombia) <i>Respiratory Pathologies in Preschool Children and Their Association to Air Pollutant Concentration in Medellin City (Colombia)</i> Ana Milena Herrera Torres; Carlos Alberto Echeverri Londoño; Gabriel Jaime Maya Vasco; Jaime Eduardo Ordóñez Molina	21
Índices de escasez y de calidad del agua para la priorización de cuerpos de agua en los planes de ordenación del recurso hídrico. Aplicación en la jurisdicción de CORANTIOQUIA <i>Water Scarcity and Quality Indices for Prioritization of Water Bodies in the Water Ordering Plans: Application to CORANTIOQUIA Jurisdiction.</i> Carlos Sebastián Jaramillo Rojas; Francisco Molina P.; Teresita Betancur V.	33
Propiedades mecánicas de películas híbridas (orgánico-inorgánico) sobre acero inoxidable 304 <i>Mechanical Properties of Hybrid Films (Organic – Inorganic) on Stainless Steel 304</i> Jorge H. Bautista–Ruiz; William Aperador; Arnoldo E. Delgado	47
Determinación del tiempo de mezcla en un tanque de almacenamiento para agua potable mediante dinámica de fluidos computacional –CFD– <i>Determining the Blend Time in a Drinking Water Storage Tank through Computational Fluid Dynamic (CFD)</i> Santiago Laín; Camilo Hernán Cruz; Yelena Valencia; Patricia Torres; Carolina Montoya	55
Una metodología para la formulación de planes de ordenamiento del recurso hídrico. <i>A Methodology for Formulating Water Ordering Plans</i> Teresita Betancur Vargas; Ana Karina Campillo Pérez; Vanessa García Leoz	67
Fotocatálisis heterogénea con TiO ₂ para el tratamiento de desechos líquidos con presencia del indicador verde de bromocresol. <i>Heterogeneous Photocatalysis with TIO₂ for Liquid Wastes Treatment with Presence of the Bromocresol Green Indicator</i> Carolay Yaneth Guarín Llanes; Adriana Consuelo Mera Benavides	79
Propuesta para la evaluación del impacto económico de la siniestralidad laboral en el sector de la construcción <i>Proposal for Evaluating the Economic Impact of Work Accidents in the Construction Sector</i> Gloria Isabel Carvajal Peláez; Eugenio Pellicer Armiñana	89
Modelo cualitativo para la asignación de créditos de consumo y ordinario: el caso de una cooperativa de crédito <i>Qualitative Model for Assigning Consumption and Ordinary Credits: The Case of a Credit Cooperative Institution</i> Alejandro Peña Palacio; Christian Lochmüller; Juan Guillermo Murillo; María Adelaida Pérez; Carlos Andrés Vélez	101

Propuesta de medición de la confianza en la información utilizando un sistema difuso <i>An Approach for Measuring Trust in Information by Applying a Fuzzy Logic System</i> Miguel David Rojas López; Esteban Zuluaga Laserna; Juliana Ochoa Giraldo	113
Valoración del riesgo financiero (CFAR) en las EPS a través de opciones reales: una aplicación al nivel de atención IV <i>Financial Risk Valuation (CFAR) in EPS's through Real Options: An Application at the IV Assistance Level</i> Mónica A. Arango Arango; Elizabeth T. Arroyave Cataño; Juan D. Hernández	125
Herramienta de lógica difusa para definir rasgos de la personalidad de un individuo <i>Fuzzy Logic Tool for Defining an Individual's Personality Traits</i> Liliana González Palacio; Jaime Alberto Echeverri; Germán Urrego Giraldo	137
Técnicas de ofensa y defensa a los fallos por corrupción de memoria <i>Memory Corruption Failures Attack and Defense Techniques</i> David Mora Rodríguez; Mario Muñoz	149
Dinámica de la bifurcación de Hopf en una clase de modelos de competencia que exhiben la bifurcación zip <i>Hopf Bifurcation Dynamic in a Class of Competence Model Exhibiting Zip Bifurcation</i> Carlos Mario Escobar Callejas; José Rodrigo González Granada	159
Generation of complex nonlinear benchmark functions for optimization using fuzzy sets and classical test functions <i>Generación de funciones benchmark complejas no lineales para optimización usando conjuntos difusos y funciones de prueba clásicas</i> Eddy Mesa; Juan David Velásquez; Patricia Jaramillo	171
Numerical solution of an eigenvalue problem for bounded plasma <i>Solución numérica de un problema de valores propios para un plasma acotado</i> Jaime H. Hoyos; Carlos A. Rodríguez	179
Un método computacional para la detección y caracterización de conflictos en redes de Petri <i>A Computational Method for Detection and Characterization of Conflicts on Petri Nets</i> Pedro Luis Ángel Restrepo	189
Evaluación de la implementación en un DSP del algoritmo híbrido de optimización por enjambres de partículas y el simplex <i>Evaluation of a Digital Signal Processor (DSP) Implementation of Hybrid Particle Swarm Optimization (PSO) Algorithm and the Simplex</i> Julián Cote; Camilo Moncada; Rodrigo Correa	201
Instrucciones a los autores <i>Guide for Authors</i>	211 221
Índice de autores	225

Rev. Ing. Univ. Medellín	Medellín Colombia	Vol. 10	No. 19	julio, diciembre	pp. 228	2011	ISSN 1692-3324
-----------------------------	----------------------	---------	--------	---------------------	---------	------	----------------

Presentación

La Revista Ingenierías Universidad de Medellín es una publicación semestral que, desde el año 2002, ha estado orientada a construir comunidad académica entre los ingenieros del país y los de habla hispana en el mundo.

Por nacer en la Facultad de Ingenierías de la Universidad de Medellín, la Revista cubre los intereses de sus cinco programas de pregrado y disciplinas conexas en los ámbitos de las Ingenierías Ambiental, de Sistemas, Financiera, de Telecomunicaciones y Civil, además de las Ciencias Básicas como las Matemáticas, la Física y la Química.

Considerando su crecimiento en el contexto de las revistas científicas nacionales, la Revista Ingenierías Universidad de Medellín prioriza la recepción de producción derivada de proyectos de investigación que tengan como pretensión la divulgación de resultados y la apertura de la discusión en torno a ellos. No obstante, se abre igualmente a otro tipo de producción académica no derivada de investigación como las revisiones de literatura, las reflexiones, los análisis de caso y los ensayos, entre otros.

Journal Introduction

Journal “Revista Ingenierías Universidad de Medellín” is a biannual publication which, since year 2002, has been focused on the construction of an academic community from all the engineers of the country and those international Spanish-speaking engineers, in general terms.

Since it was created at Universidad de Medellín School of Engineering Programs, our Journal covers interests of its five undergraduate programs and related disciplines, in areas such as Environmental Engineering, Computer Science Engineering, Financial Engineering, Telecommunication Engineering, and Civil Engineering, in addition to basic sciences such as Mathematics, Physics, and Chemistry.

Bearing in mind its growth within the context of national scientific journals, “Ingenierías Universidad de Medellín” journal gives priority to products resulting from research projects which main objective is to disclose results and open a discussion on them. However, academic production not resulting from research, such as literature revisions, reflections, case analysis, essays, etc., are also accepted.

Editorial

La política editorial de la Revista Ingenierías Universidad de Medellín establece que nuestra publicación tiene un carácter interdisciplinario respecto de las ingenierías en general, y de algunas disciplinas de las ciencias básicas, exactas y naturales que le sirven de apoyo. En ocasiones, sin embargo, alguna área en especial logra tener una mayor representatividad en la producción seleccionada para su publicación.

En este sentido, apreciamos con regocijo cómo en este número 19 que presentamos a la comunidad académica de ingenieros de Colombia y de Iberoamérica, hay una marcada presencia de artículos relacionados con las ciencias ambientales que en ningún caso demeritan la producción académica de la ingeniería en otros tópicos y que también merecen un reconocimiento en nuestras páginas.

Esta circunstancia nos permite hacer una pequeña reflexión acerca del modo como las revistas científicas deben tratar, además del compromiso permanente por la divulgación de resultados de calidad, de generar tanto interpretaciones como posibilidades reales de intervención en el medio.

El amplio espacio que ofrecen las ciencias ambientales, en este caso vinculadas a las ingenierías, permite por tanto que académicos, estudiantes, tomadores de decisiones y actores económicos, encuentren en los artículos que ofrecemos, alternativas para participar en la búsqueda de la necesaria sostenibilidad, considerando el contexto de crisis ambiental que actualmente padece el planeta entero.

La Revista, y de paso la Universidad de Medellín reiteran de este modo su compromiso con la solución de los problemas de la sociedad.

Fredy López Pérez
Editor

Editorial

The editorial policy of Universidad de Medellín “Ingenierías” Journal has established that our publication has an interdisciplinary nature with respect to general engineering disciplines and some disciplines of basic, exact, and natural sciences used as support. Sometimes, however, a specific area reaches a higher representation with respect to production selected for their publication.

In this sense, we are pleased to inform that this issue 9 published for the academic community of engineer in Colombia and Latin America, shows a noticeable presence of articles related to environmental sciences which, in no case, are in detriment of the academic production of engineering in some other topics, but they also deserve recognition in our pages.

This circumstance allows us to make a reflection about the way scientific journals should try to generate both interpretations and real possibilities for making an intervention to the environment, in addition to a permanent commitment to reveal quality results.

The wide space offered by environmental sciences (specifically those related to engineering) allows academicians, students, decision makers, and economic actors to find alternatives in the articles offered for participating in the search for a needed sustainability, taking into account the environmental crisis context currently experienced in the whole planet.

Our Journal and Universidad de Medellin hereby reiterate their commitment to the solution of society problems.

Fredy López Pérez
Editor

COLABORADORES

JORGE A. GUTIÉRREZ, Ph. D(c).

Universidad Nacional del Río Cuarto, Argentina

INGRID GABY MELGAREJO POMAR, M. Sc.

Instituto Boliviano de Biología de Altura, Bolivia

LAURA ANDREA VILLAMIZAR, M. Sc.

Universidad Industrial de Santander - UIS, Colombia

ANTONINO GARCÍA GARCÍA, Ph. D.

El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), México

JOAQUÍN LIRA-OLIVARES, Ph. D.

Universidad Simón Bolívar, Venezuela

AMANDA CARRILLO CASTILLO, Ph. D.

University of Texas at Dallas, Estados Unidos

JOANY SÁNCHEZ MOLINA, M. Sc.

Universidad de Antioquia, Colombia

JUAN ANTONIO GARCÍA RODRÍGUEZ, Ph. D.

Universidad de Zaragoza, España

MARIO AGUIRRE NÚÑEZ, M. Sc.

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza Oficina Regional para América del Sur, Ecuador

MANUEL IGNACIO MALDONADO RUBIO, Ph. D.

Ciemat Plataforma Solar de Almería, España

ESMERALDA VÁSQUEZ BAHAMÓN, M. Sc.

Universidad de Antioquia, Colombia

CHRISTIAN CORREA BECERRA, Ph. D.

Universidad Católica del Maule, Chile

NEEDY NAYIV VERGARA ACUÑA, Ph. D(c).

Constructora Cantor S. A., Colombia

FERNANDO CHAVARRO, M. Sc.

Universidad Libre, Colombia

NICOLÁS ARANGO LONDOÑO, M. Sc.

Escuela de Ingeniería de Antioquia, Colombia

- HARRISON MESA HERNÁNDEZ, Ph. D(c).
Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile
- JOAO AGUIRRE RAMÍREZ, Ph. D(c).
CIDET, Colombia
- NAHUR MANUEL MELÉNDEZ ARAYA, M. Sc.
Universidad Católica del Norte, Chile
- CLAUDIA BOTERO, M. Sc.
Universidad de Medellín, Colombia
- JOCIREI DIAS FERREIRA, Ph. D.
Universidade Federal do Mato Grosso, Brasil
- JAIRO ALBERTO VILLEGAS GUTIÉRREZ, Ph. D.
Universidad EAFIT, Colombia
- ANDREA COSTA, Ph. D.
Instituto de Astronomía Teórica y Experimental, Argentina
- SERGIO ELASKAR, Ph. D.
Universidad Nacional de Córdoba, Argentina
- EMILIO JIMÉNEZ, Ph. D.
Universidad de La Rioja, España
- FÉLIX SANZ, Ph. D.
Universidad de La Rioja, España
- SERGIO NESMACHNOW, Ph. D.
Universidad de la República, Uruguay
- MARTÍN PEDEMONTE, Ph. D(c).
Universidad de la República, Uruguay

PROPUESTA PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO ECONÓMICO DE LA SINIESTRALIDAD LABORAL EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

Gloria Isabel Carvajal Peláez*
Eugenio Pellicer Armiñana**

Recibido: 21/07/2010
Aceptado: 15/09/2011

RESUMEN

Los accidentes laborales suponen importantes costos humanos y económicos para la empresa, el accidentado y la sociedad. Generalmente, representan una gran repercusión económica negativa para las empresas del sector de la construcción, las cuales soportan un costo mayor del que se refleja debido a la gran cantidad de variables ocultas que se desconocen.

Dado que hasta ahora la evaluación de los costos generados por los accidentes laborales ha tenido lugar mediante el desarrollo de métodos muy dispares entre sí, y según Durán [1], no se ha hecho ningún tipo de evaluación económica que estime de manera exhaustiva el costo de los daños a la salud relacionados con el trabajo, en esta comunicación, se presenta mediante un modelo matemático de aplicación al sector de la construcción español, que el costo de los accidentes laborales es el consumo de recursos materiales y humanos derivados del aseguramiento, la prevención y los siniestros.

Palabras clave: construcción, accidente laboral, aseguramiento, prevención.

* Ingeniera Civil, Ph. D. Ingeniería de la Construcción y Gestión Ambiental, Ms. Consultoría para Ingeniería civil, Profesor tiempo completo Universidad de Medellín. Cr. 87 N° 30-65. Teléfono (57-4)3405555 ext 5611. gicarvajal@udem.edu.co. Fax: (57-4) 3405216.

** Doctor Ingeniero de Caminos Canales y Puertos. Profesor titular Universidad Politécnica de Valencia (España). Camino de Vera S/N CP 46022 Ed. Caminos 2. Teléfono (34)(649887089). Fax: 963877568. Pellicer@cst.upv.es

PROPOSAL FOR THE EVALUATION OF THE ECONOMIC IMPACT OF OCCUPATIONAL ACCIDENTS IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY

ABSTRACT

Work-related accidents involve significant human and economic costs for the companies, people, and society. Said accidents usually represent a great negative economic impact for the construction industries, which support a higher cost than reflected due to the large amount of hidden variables are unknown. Until now, the evaluation of the costs generated by labor accidents has been based on the development of very different methods and, as Duran [1] has not made any kind of economic assessment that comprehensively considers the economic cost of damage to health associated with work, this paper present a mathematical model applicable to the Spain construction industry, that the cost of labor accidents, is the consumption of material and human resources derived from insurance, prevention and accidents.

Key words: Construction, occupational accident, insurance, prevention

INTRODUCCIÓN

Los estudios sobre el control de costos de seguridad tienen su origen en los trabajos realizados por Heinrich en 1931. Para Heinrich [2], por cada accidente grave que provocaba una lesión incapacitante, se tenían 29 lesiones leves que necesitaban de una cura y 300 accidentes que no causaban lesiones pero sí daños a la propiedad; es el planteamiento conocido como pirámide de Heinrich que fue el origen de una nueva filosofía en el estudio de los costos de los accidentes, comenzando a contabilizarse unos costos que hasta entonces no habían sido tenidos en cuenta. Heinrich introduce los conceptos de costos directos (Cd) y costos indirectos (Ci) y el costo total de los accidentes se determina a partir de la siguiente expresión:

$$CT = Cd + Ci \quad (1)$$

Simonds, citado en [3] por su parte, divide los costos, en costos asegurados (Ca) (como las primas abonadas por los seguros de accidentes) y costos no asegurados (Cna) (que son los demás costos); y el costo total es la suma de ambos:

$$CT = Ca + Cna \quad (2)$$

El método Wallach [3] se basa en el estudio de los costos no asegurados de los accidentes a partir de la suma de las pérdidas que se ocasionan en cada uno de los cinco grupos de elementos de producción utilizados en el cálculo de los costos de producción (mano de obra, maquinaria, materiales, instalaciones y tiempo).

Según Diego Andreoni [4], los anteriores autores trataban de “estimar los costos de las con-

secuencias”, “en lugar de valorar los costos iniciales en los que se incurre al incorporar medidas de prevención de accidentes en el sistema de las fases iniciales”. Por lo cual propone el siguiente modelo de cálculo de costos:

$$G_T = G_{fp} + G_{fs} + G_{vp} + G_{vs} + G_e + G_m + G_{ep} \quad (3)$$

Siendo:

GT = Gasto total

G_{fp} = Gastos fijos de prevención

G_{fs} = Gastos fijos de seguros

G_{vp} = Gastos variables de prevención

G_{vs} = Gastos variables de seguros

G_e = Gastos imputables a las lesiones

G_m = Gastos por pérdidas materiales o maquinaria.

G_{ep} = Gastos de prevención de naturaleza excepcional

En la tabla 1 [5], se exponen algunos de los métodos utilizados por distintos autores para la valoración de los costos de los accidentes laborales, con sus respectivos datos de aplicación y fiabilidad para su mayor comprensión.

A partir de esta información, se presenta un modelo matemático para la estimación de los costos de accidentes laborales en el sector de la construcción; este artículo busca contribuir con la generación de conocimiento acerca de los beneficios que representa para las empresas invertir en prevención de riesgos laborales, tanto desde el punto de vista económico como social. El texto se divide en siete secciones. La primera corresponde a la introducción, la segunda a la metodología,

Tabla 1. Métodos de valoración de costo de accidentes

Método	Conceptos considerados	Aplicación	Fiabilidad
HEINRICH	CT = CD + 4 CD = 5CD	Fácil y simple	Escasa
SIMONDS	CT = C _{asegurados} + C _{no asegurados}	Difícil de calcular	Relativa
WALLACH	Mano de obra, materiales, maquinaria, etc	Laborioso	Excelente
ANDREONI	GT = G _{fp} + G _{fs} + G _{vp} + G _e + G _m + G _{ep}	Muy Laborioso	Excelente

Fuente [5]

en la cual se describe la forma de recopilación y tratamiento de los datos; en la tercera se presentan los resultados, es decir, el modelo propuesto; en la cuarta se presenta un ejemplo de aplicación al caso español; y finalmente el artículo concluye con las secciones quinta, sexta y séptima donde están las conclusiones, recomendaciones y referencias, respectivamente.

2 METODOLOGÍA

Medir el costo de los riesgos laborales es muy complejo, no solo porque hay que determinar el elemento portador de cada factor de costo y su unidad de medida, sino por la dificultad de calcular el costo de cada unidad de medida. Por otra parte, los costos de la siniestralidad son diferentes en cada sector productivo, lo cual nos obliga a centrar el cálculo de los costos en el sector de la construcción.

Para facilitar el proceso de estimación y con la finalidad de hacer posible el cálculo, el análisis de los costos se hizo por bloques, los cuales se determinaron en función de aquellos involucrados en la siniestralidad laboral de una obra. Estos son: costos de aseguramiento, costos de prevención, costo de los siniestros y recuperación de costos.

Los costos de aseguramiento se calcularon a través de un proceso sencillo, involucrando dos variables: “base de cotización” y “porcentaje de contingencias profesionales” [6]. El procedimiento consta de los siguientes pasos:

- a) Estimación de la base de cotización, para lo cual se tomó como referencia la información suministrada por el Boletín Oficial de Estado de España.
- b) Determinación de los componentes del porcentaje de contingencias profesionales, según el Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España, teniendo en cuenta los valores aplicables al sector de la construcción.
- c) Aplicación de las componentes de las contingencias profesionales a la base de cotización,

para la obtención del valor estimado para los costos de aseguramiento.

Para los costos de prevención, requerimos de dos variables: el “presupuesto de la obra” y el “porcentaje de prevención”. En este caso los pasos a seguir fueron:

- a) Determinación del presupuesto de la obra, el cual se obtiene directamente.
- b) Estimación del porcentaje de prevención, a partir de la revisión de planes de seguridad y salud de diferentes tipos de obra; selección de los más representativos y extracción de valores máximo, mínimo.
- c) Aplicación del porcentaje de prevención al presupuesto de la obra y obtención del valor de los costos de prevención.

Para el cálculo del tercer bloque, costo de los siniestros, se realizó un proceso más complejo ya que contempla 256 variables, dentro de las cuales está el “tiempo de exposición” y las demás agrupadas en dos bloques: el “índice de frecuencia” y el “costo por tipo de siniestro”. El procedimiento de cálculo fue:

- a) Estimación “tiempo de exposición”; mediante la aplicación de las variables “porcentaje de mano de obra” y “costo horario” al presupuesto de la obra.
- b) Determinación los índices de frecuencia para cada tipo de accidente y según su gravedad, los cuales dependen del número de accidentes de cada tipo y el número total de horas-hombre trabajadas en el mismo período.
- c) Al tiempo de exposición obtenido en el paso uno, se le aplicaron las 36 variables de índice de frecuencia (tabla 2) [6] y se obtuvo como resultado el número de siniestros esperados de cada tipo.
- d) Se calculó el costo de los diferentes tipos de siniestros mediante la elaboración de una ficha de costo para cada uno de ellos. (tabla 3) [6].

- e) Al número de siniestros esperados obtenidos en el paso c, se les aplicaron las de costo por tipo de accidente obtenidas en el paso anterior y dio como resultado el costo total de cada tipo de siniestro.
- f) Por último, se sumaron los diferentes tipos de costos de accidentes y obtuvimos el costo total de los siniestros de una obra según su gravedad.

El cuarto bloque, “recuperación de costos”, es un componente indispensable para la obtención del costo neto de la siniestralidad de una obra ya que equivale al dinero que el empleador recupera de la seguridad social por las prestaciones sociales pagadas al trabajador accidentado a partir del segundo día de incapacidad. En este caso se estimó una recuperación de costos del 75% de la base reguladora a partir del día siguiente a la incapacidad, ya que a efectos de cálculo se estimaron valores de cotización de una categoría profesional promedio dentro de una obra y se asumió que su valor se encuentra dentro de las bases de cotización mínimas y máximas. Se identificaron 261 variables. En la

tabla 4 [6] se presenta un resumen de las variables asociadas a cada bloque de costos.

3. RESULTADOS

Los resultados de esta investigación, son representados en la formulación matemática que se presenta a continuación:

Costo total de la siniestralidad:

$$CT = SS + PR + CS - RC \quad (4)$$

Siendo:

CT: costo total del riesgo laboral

SS: costos de aseguramiento

PR: costos de prevención

CS: costo de los siniestros

RC: recuperación de costos

Costo de aseguramiento:

$$SS = (3,95\% \cdot BC) + (3,50\% \cdot BC) = (7,45\% \cdot BC) \quad (5)$$

BC: base de cotización

Tabla 2. Valores estimados de Índices de frecuencia por tipo de accidente

Constante	Definición	Valores		
		Mínimo	Promedio	Máximo
If ₁	Caída de personas a distinto nivel	7	8	9
If ₂	Caída de personas al mismo nivel	8	25	35
If ₃	Contacto con corriente eléctrica, fuego	1	1	2
If ₄	Choque o golpe contra objeto en movimiento	16	30	37
If ₅	Atrapamiento por o entre objetos	1	3	4
If ₆	Sobreesfuerzo físico	4	17	25
If ₇	Accidentes causados por seres vivos	0	0	1
If ₈	Infartos, derrames cerebrales	0	0,1	0,1
If ₉	Ahogamiento, quedar sepultado	0,1	0,2	0,3
If ₁₀	Contacto con agente material cortante o punzante	10	10	10
If ₁₁	Otros tipos de accidentes	2	3	4
If ₁₂	Accidentes mortales	0,1	0,2	0,2

Fuente: [6]

Costo de prevención:

$$PR = \beta_{ijk} * X \tag{6}$$

Siendo:

X : presupuesto de la obra

β_{ijk} : porcentaje de costos de prevención (i: pesimista; j: medio y k: optimista)

Costo de los siniestros:

$$CS = \sum_{i=1}^{i=12} \sum_{j=1}^{j=12} T * P_i * C_{jk} \tag{7}$$

Siendo:

T: tiempo de exposición

P_i : probabilidad de ocurrencia

i : tipo de accidente (1-12)

C_{jk} : Costos codificados (por tipo de accidente y gravedad)

j : tipo de accidente (1-12)

k : gravedad (nivel 1: leves; nivel 2: graves; nivel 3: muy graves)

Tabla 3. Modelo ficha de cálculo de costos de accidentes

Conceptos		Construcción								
		Datos			Importe			Coste		
		L	G	MG	L	G	MG	L	G	MG
1	Tiempo perdido por el accidente (día que ocurre)									
1.1	Tiempo perdido por el accidentado= horas * coste horario									
1.2	Tiempo perdido por otros= # trab* horas * coste horario									
	# trabajadores									
	Horas (se estiman según tamaño empresa)									
1.3	Tiempo empleado en uso del botiquín= horas * coste									
1.4	Gastos de traslados (ambulancia, taxi, etc.)									
	Total tiempo perdido									
2	Costos servicios médicos = 0,65* C. estructura + 0,35* C. complejidad accidente									
	Costo de estructura									
	Costo de complejidad del accidente									
	Total coste servicios médicos									
3	Costo Seguridad Social durante periodo de baja									
3.1	Días Baja * Importe diario de cotización									
3.2	Dbaja * 25% salario neto diario (complemento salarial)									
	Total costos seguridad social									
4	Daños materiales									
5	Indemnizaciones									
6	Costos salariales indirectos									
6.1	Directivos									
6.2	Mando directo									
6.3	Personal de administración									
6.4	Investigación del accidente									
	Total costos salariales indirectos									
7	Pérdida de negocio									
7.1	Pérdida de producción (P. prevista -P. real)									
	Producción prevista									
	Producción real									
7.2	Contratación del sustituto									
	Total pérdida de negocio									
8	Otros costos									
	Costo total del accidente									

L: accidentes leves; G: accidentes graves; MG: accidentes muy graves

Fuente: [6]

Tabla 4. Variables de costos de la siniestralidad

Descripción	Variable
Presupuesto de la obra	1
BLOQUE 1 "Aseguramiento"	
Base de cotización	1
Porcentaje de incapacidad temporal (IT)	1
Porcentaje de incapacidad permanente o muerte (IMS)	1
BLOQUE 2 "Prevención"	
Porcentaje de prevención	1
BLOQUE 3 "Siniestros"	
Tiempo de exposición	1
Costo horario	1
Porcentaje de mano de obra	1
Índices de frecuencia	36
Siniestros esperados	36
Costo por siniestro	180
BLOQUE 4 "Recuperación de costos"	
Porcentaje de recuperación	1
TOTAL	261

Fuente: [6]

4.5. Recuperación de costos:

$$CR = 0,75 * SB_d * DB \quad (8)$$

Siendo:

SBd: salario bruto diario

DB: días de baja

Como resultado tenemos el modelo matemático propuesto en la ecuación que se presenta a continuación:

$$CT = (0,0745 * BC) + (\beta_{ijk} X) + ((H_A + H_O + H_m + H_a + H_i) * CH) + CM + ((DB * SB_d) + G_r) + (HE * (DB * SN_d)) - (0,75 * SB_d * DB) \quad (9)$$

4. EJEMPLO DE APLICACIÓN

Nombre del proyecto: Urbanización Puerta del Mar

Tipo de Proyecto: Edificación

Descripción: Promoción compuesta por 120 viviendas, 130 garajes y 120 trasteros; viviendas de 1, 2 y 3 dormitorios; urbanización privada con piscina, zonas verdes y área de juegos infantiles.

Presupuesto de la obra: 22.440.000 € (IVA incluido)

4.1. Pasos previos

Tiempo de exposición

$$T = \left(\frac{X * \alpha}{CH} \right) = 593.676 \text{ horas.} \quad (10)$$

Siendo:

X : presupuesto de la obra (22.440.000 €).

 α : porcentaje de mano de obra (37,7%).

CH: costo horario (14,25 €).

Siniestros esperados

A modo de ejemplo y para no ser exhaustivos, se detalla la manera de obtener los siniestros esperados de accidentes de caídas de personas a distinto nivel:

$$SE = I_f * T \quad (11)$$

Siendo:

I_f : índice de frecuencia de caída de personas a distinto nivel

Para los accidentes de caída de personas a distinto nivel, los índices de frecuencia son: 7 mínimo, 8 promedio y 9 máximo; por lo tanto:

$$SE1 = (593.676h * 7) / 1.000.000 = 4 \text{ siniestros leves.}$$

$$SE1 = (593.676h * 8) / 1.000.000 = 5 \text{ siniestros graves.}$$

$$SE1 = (593.676h * 9) / 1.000.000 = 5 \text{ siniestros muy graves.}$$

Tabla 5. Número de siniestros esperados por tipo de accidente (caso práctico)

Tipo de accidente		Valores		
		Mínimo	Promedio	Máximo
1	Caída de personas a distinto nivel	4	5	5
2	Caída de personas al mismo nivel	5	15	21
3	Contacto con corriente eléctrica, fuego	1	1	1
4	Choque o golpe contra objeto en movimiento	9	18	22
5	Atrapamiento por o entre objetos	1	2	2
6	Sobreesfuerzo físico	2	10	15

Tipo de accidente		Valores		
		Mínimo	Promedio	Máximo
7	Accidentes causados por seres vivos	0	0	1
8	Infartos, derrames cerebrales	0	0	0
9	Ahogamiento, quedar sepultado	0	0	0
10	Contacto con agente material cortante o punzante	6	6	6
11	Otros tipos de accidentes	1	2	2
12	Accidentes mortales	0	0	0

Fuente: elaboración propia

Tabla 6. Resultados del caso práctico

CASO PRÁCTICO							
BLOQUE 1							
101	Costo total de aseguramiento	630.261	630.261	630.261	(1) 630.261	(1) 630.261	(1) 630.261
10101	Incapacidad temporal	334.165	334.165	334.165			
10102	Incapacidad permanente o muerte	296.095	296.095	296.095			
BLOQUE 2							
201	Costo total de prevención	224.400	336.600	448.800	(2) 224.400	(3) 336.600	(4) 448.800
	Costo de prevención	224.400	336.600	448.800			
Costo total de los siniestros					(8) 95.270	(9) 267.600	(10) 519.292
BLOQUE 3		<i>leves</i>	<i>Graves</i>	<i>M. graves</i>			
301	Caída de personas a distinto nivel	5.101,33	6.644,68	8.840,86			
302	Caída de personas al mismo nivel	3.507,55	4.650,92	6.324,60			
303	Contacto con corriente eléctrica	3.362,32	4.805,65	6.801,72			
304	Choque o golpe	3.362,36	4.805,72	7.879,33			
305	Atrapamiento por o entre objetos	3.997,92	5.041,35	6.737,85			
306	Sobreesfuerzo físico	3.139,75	4.183,13	5.634,33			
307	Seres vivos	3.262,28	4.550,85	6.369,53			
308	Infartos, derrames cerebrales	6.204,67	8.351,63	10.785,12			
309	Ahogamiento, quedar sepultado	2.649,27	5.286,63	8.210,52			
310	Contacto agente material cortante	1.668,47	2.834,63	5.268,12			
311	Otros	2.649,26	4.796,08	9.189,35			
312	Accidentes mortales	7.400,55	7.400,55	7.400,55			
	Subtotal costo de los siniestros				(5) 46.305	(6) 63.351	(7) 89.441
BLOQUE 4							
400	Recuperación total de costos	25.417	53.046	81.093	(11) 25.417	(12) 53.046	(13) 81.093
401	Recuperación de costos	25.417	53.046	81.093			
Costo total de la siniestralidad en la obra (euros)					(14) 924.513	(15) 1.181.416	(16) 1.516.860

Fuente: elaboración propia

Repitiendo este procedimiento para cada tipo de accidente, obtenemos los datos de la tabla 5 [6] donde se presenta el número de siniestros esperados por cada tipo de accidente.

4.2. Cálculo de bloques de costos:

$$\text{Costo de aseguramiento} \\ SS = 7,45\% * BC = 630.261 \text{ €} \quad (12)$$

Siendo:

$$BC = X * \alpha = 8.459.880 \text{ €} \quad (3)$$

X: presupuesto de la obra (22.440.000 €).

α : porcentaje de mano de obra (37,7%).

Costo de prevención

$$PR = \beta_{ijk} * X \quad (EC.14)$$

$$PR_i = 224.400 \text{ € leves}; PR_j = 336.600 \text{ € graves}; \\ PR_k = 448.800 \text{ € muy graves}.$$

Siendo:

$$\beta_{ijk} = \text{porcentaje de prevención (1\% mínimo; 1,5\% promedio; 2\% máximo)}$$

Costo de los siniestros

$$CS = SE * C_{jk} \quad (EC. 15)$$

Por ejemplo, el costo total de las caídas de personas a distinto nivel se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Accidentes leves} = 4 * 5.101,33 \text{ €} = 20.405,32 \text{ €} \\ (\text{valores mínimos})$$

$$\text{Accidentes graves} = 5 * 6.644,68 \text{ €} = 33.223,4 \text{ €} \\ (\text{valores promedios})$$

$$\text{Accidentes muy graves} = 5 * 8.840,86 \text{ €} = 44.204,3 \text{ €} \\ (\text{valores máximos})$$

De esta misma manera se calculan todos los tipos de siniestros según gravedad y luego se hace la correspondiente suma de estos y obtenemos el costo total de los siniestros de la obra.

Recuperación de costos:

$$RC = 75\% * SB_d * DB$$

$$RC = 25.417 \text{ € leves}; RC = 53.046 \text{ € graves y}$$

$$RC = 81.093 \text{ € muy graves}.$$

Siendo:

$$SB_d = \text{salario bruto diario (50,81 €)}$$

$$DB = \text{días de baja (23 días mínimo; 24 días promedio; 28 días máximo)}$$

En la tabla 6 [6] se presentan los resultados de la integración de las estimaciones de los bloques de costos realizadas para la obra propuesta.

5. CONCLUSIONES

La principal razón para justificar el diseño y desarrollo de un modelo para la estimación de costos de accidentes laborales en el sector de la construcción es el problema que representa para la gerencia determinar a priori la rentabilidad de invertir en prevención. A continuación se describen las principales conclusiones obtenidas en el diseño y desarrollo del modelo:

- Se elaboró un planteamiento teórico de los costos que intervienen en la siniestralidad de una obra en construcción, para lo cual se clasificaron en tres grupos: aseguramiento, prevención y siniestros.
- Los datos relativos a los costos de la siniestralidad laboral no fue posible obtenerlos directamente, por lo cual se tuvo que recurrir a publicaciones de divulgación comercial con el fin de obtener información relevante para establecer un método de cálculo de los mismos.
- Se determinaron tres grupos de variables, uno para cada grupo de costos con sus respectivos componentes: aseguramiento, prevención y siniestros.
- Se hizo la formulación matemática a partir de la cual se describe el proceso de cálculo de los diferentes tipos de costos de la siniestralidad.
- Se estableció un método de estimación de las variables que hacen parte de cada uno de los

grupos de costos, con el fin de poder calcular los tres tipos.

- Se determinaron los índices de frecuencia para cada tipo de accidente por cada millón de horas trabajadas y concluimos que los de tipo choque o golpe contra un objeto en movimiento son los que presentan mayor índice de frecuencia: 16 accidentes como mínimo, 30 accidentes en promedio y 37 accidentes como máximo; en segundo lugar encontramos los de caída de personas al mismo nivel con un mínimo de 8 accidentes, un promedio de 25 accidentes y un máximo de 35 accidentes; en tercer lugar están los de sobreesfuerzo físico cuyos valores mínimo, máximo y promedio son: 4, 17 y 25 accidentes, respectivamente. Los accidentes de tipo caída de personas a distinto nivel pese a ser de los más significativos en el sector de la construcción ocupan en cuarto lugar en índices de frecuencia, con valores de 7, 8 y 9 accidentes como mínimo, promedio y máximo. También podemos observar que el índice de frecuencia de los accidentes mortales es muy bajo, con valores de 0,1 accidentes como mínimo y 0,2 accidentes en promedio y máximo.
- Se diseñó una ficha de costo por cada tipo de siniestro con el fin de determinar el costo de ellos según su gravedad. De ellas concluimos que cada accidente mortal tiene un costo aproximado de 7.400 €, que los infartos, derrames cerebrales cuestan entre 6.000 € y 10.800 €, las caídas de personas a distinto nivel entre 5.000 € y 8.850 €, los accidentes de tipo caída de personas al mismo nivel, contacto con corriente eléctrica, atrapamiento por o entre objetos, sobreesfuerzo físico y los causados por seres vivos oscilan entre 3.000 € y 7000 €, los de tipo contacto con agente material cortante son los que menos cuestan y están entre 1.500 € y 5.300 €, por último los de ahogamiento, quedar sepultado tienen un rango muy amplio de costo entre 2.500 € y 8.250 € (valores aproximados).
- Una vez obtenidos los costos de cada tipo de siniestro concluimos que los accidentes mortales y los causados por infartos y derrames cerebrales son los más costosos, pese a contar con el más bajo índice de frecuencia de entre todos los tipos.
- Se concibió el modelo como algo “vivo”, que captura datos de su entorno y devuelve información que representa una realidad elaborada de conformidad con las especificaciones que se determinaron a lo largo de esta investigación. Está apoyado en un modelo de datos capaz de funcionar en tiempo real para múltiples usuarios y proyectos. Es un modelo que pretende representar la realidad de la siniestralidad laboral en una obra en construcción antes de iniciarla.
- El modelo elaborado tiene la posibilidad de determinar a priori el costo total de la siniestralidad de una obra de construcción, conocer el número de siniestros esperados de cada tipo, conocer la probabilidad de ocurrencia de cada tipo de accidente, determinar el valor de los costos de aseguramiento, determinar el valor de los costos de prevención, determinar el valor de los costos de cada tipo de siniestro, determinar el valor de la recuperación de costos y establecer comparaciones entre diferentes obras.
- Luego de desarrollar un caso práctico concluimos que el costo total de la siniestralidad de una obra es aproximadamente tres veces la inversión media hecha en prevención.

6. RECOMENDACIONES

- Modificar el parte de accidentes laborales para incluir nuevas variables que permitan conocer la causa del accidente.
- Establecer criterios para determinar la gravedad de los accidentes sin depender exclusivamente del dictamen médico.

- Realizar un seguimiento del accidentado durante el tiempo que esté de baja con el fin de incluir los fallecimientos posteriores como mortales.
- Adoptar técnicas sencillas y adecuadas, que ayuden de forma decisiva a crear una verdadera cultura de seguridad, mediante la formación e información adecuada a todos los agentes participantes y una mayor presión inspectora en los centros de trabajo.

REFERENCIAS

- [1] F. Durán, *Informe sobre riesgos laborales y su prevención. La seguridad y salud en el trabajo en España*, Reporte Estudio para la elaboración de un informe de riesgos laborales y su prevención, Presidencia de gobierno, Madrid, 2001.
- [2] H. W. Heinrich, "Relation of accident statistics to industrial accident prevention," *Proc. of the Casualty Act. Society*, vol. XVI, no. 33-34, pp. 170-174, 1930.
- [3] J. M. Cortés Díaz, *Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo*, 9a ed., Madrid: Tébar Flores, 2007, 844 p.
- [4] D. Andreoni, «Costes de los accidentes relacionados con el trabajo,» en *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*, J. Saari, ed., pp. 42-46, Madrid: Oficina Internacional del Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. Organización Internacional del Trabajo, 1998.
- [5] M. C. Rubio, "Optimización y propuesta de mejoras en materia de seguridad y salud en las obras de construcción de Andalucía," tesis de Ph D, Universidad de Granada, Granada, 2000.
- [6] G. I. Carvajal, "Modelo de cuantificación de riesgos laborales en la construcción: Ries-co," tesis de Ph D, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2008.