



ESCUELA DE ESTUDIOS DE  
**POSTGRADO**  
FACULTAD DE INGENIERÍA

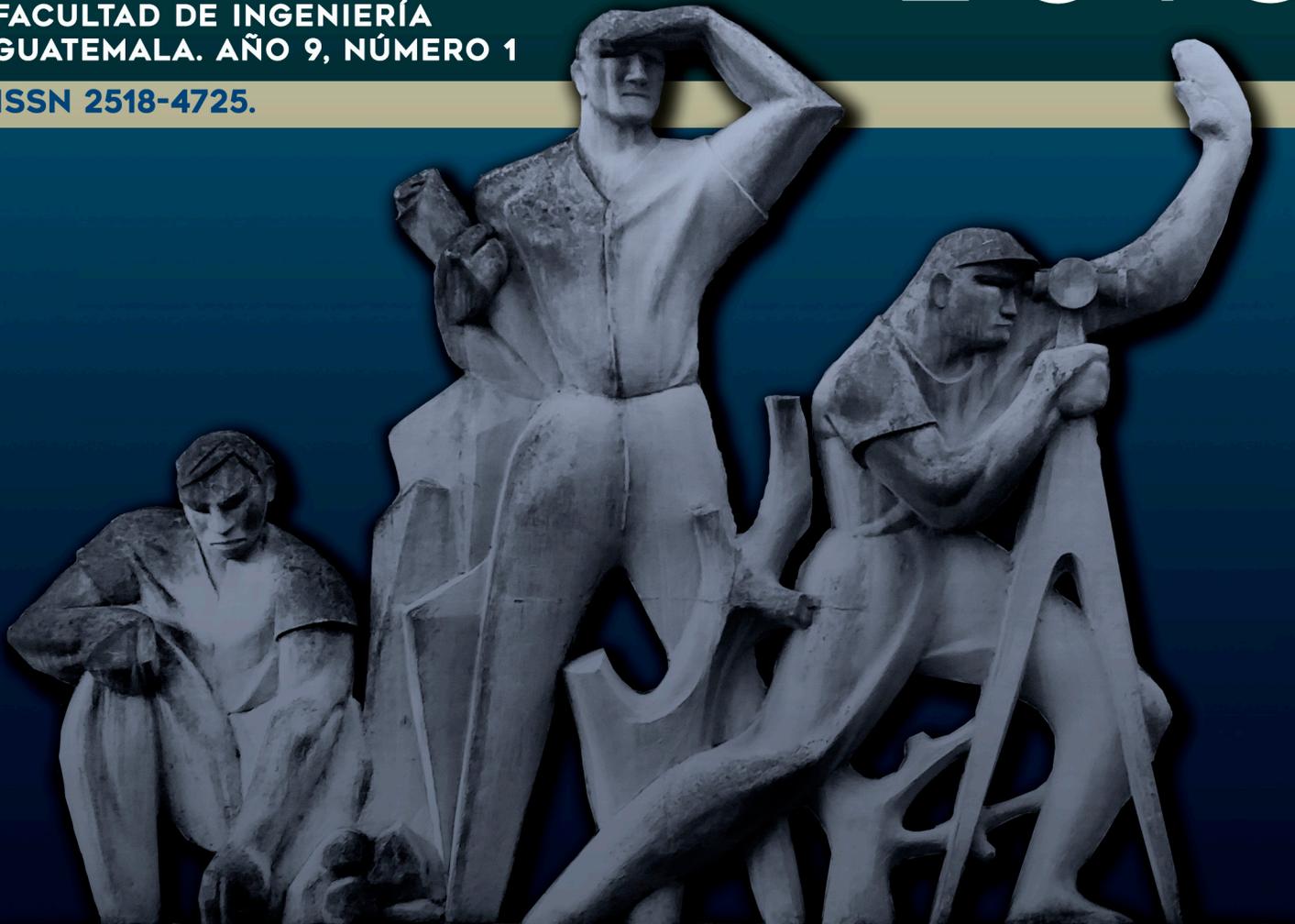
# REVISTA

DE LA ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

# 2018

FACULTAD DE INGENIERÍA  
GUATEMALA. AÑO 9, NÚMERO 1

ISSN 2518-4725.





La Revista de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería publica investigaciones originales de los diferentes campos de la ingeniería. Constituye una publicación en formato digital en la plataforma institucional Repositorio USAC, en línea y anual en formato impreso.

<p>REEP Año 9 N° 1 2018</p>	<p><b>Autores:</b> Escuela de Estudios de Postgrado EEP (Facultad de Ingeniería USAC)</p> <p><b>Títulos:</b> Revista de la Escuela de Estudios de Postgrado, FIUSAC</p> <p><b>Imp / Ed.:</b> Guatemala: Escuela de Estudios de Postgrado, USAC, 2018.</p> <p><b>Idioma:</b> Esp.</p> <p><b>Descripción:</b> #p . ; il. 27 cm</p> <p><b>Ejemplares:</b> 2018: Año 9, N° 1 (publicación anual)</p> <p><b>ISSN:</b> 2518-4725</p> <p><b>Temas:</b> Ingeniería - Revistas</p>





ESCUELA DE ESTUDIOS DE \_\_\_\_\_  
**POSTGRADO**  
\_\_\_\_\_ FACULTAD DE INGENIERÍA

## AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Mtro. Pedro Antonio Aguilar Polanco, DECANO

Mtra. Lesbia Magalí Herrera López, SECRETARIA ACADÉMICA

Lic. Oswaldo Meléndrez Gatica, SECRETARIO ADJUNTO

---

## JUNTA DIRECTIVA

Mtro. Pedro Antonio Aguilar Polanco, DECANO

Mtro. Ángel Roberto Sic García, VOCAL I

Mtro. Pablo Christian de León Rodríguez, VOCAL II

Ing. José Milton De León Bran, VOCAL III

Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez, VOCAL IV

Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez, VOCAL V

# Directorio

Revista de la Escuela de Estudios de Postgrado Año 9. Número 1

Escuela de Estudios de Postgrado, Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala,

Edificio S11, Primer nivel, Ciudad Universitaria, zona 12

## COMITÉ EDITORIAL

Mtro. Esteban Ballesterio Alfaro.  
Instituto Tecnológico de Costa Rica. Sede San Carlos.

Mtro. Carlos Guillermo Tucux.  
Investigador independiente.

Dr. Dennis Salvador Argueta.  
Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala.

Dr. Alfredo Salvador Gálvez Sinibaldi.  
Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala.

Dra. Silvia Echeverría.  
Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad de San Carlos de Guatemala.

Dra. Marta Guisela Gaitán Garavito.  
Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala.

Mtra. Yuri Asucena Castro Estrada.  
Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología.

Mtro. Sergio José Rodríguez Méndez.  
Universidad Nacional de Taiwan.

Dra. Casta Petrona Zeceña.  
Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala.

Dr. Miguel Ángel Hernández Martínez.  
Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

Mtro. Erlin Felipe Chiquitó.  
Consultor independiente

## COORDINACIÓN FACULTAD DE INGENIERÍA

Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí  
**Director**

Dra. Mayra Virginia Castillo Montes  
**Editora**

Ing. René Oswaldo Monge López  
**Asistente de Dirección**

María Isabel García Avila  
**Diseño y Diagramación**

## COMITÉ CIENTÍFICO

Dr. Adín Ramírez Rivera.  
Universidad Estatal de Campinas, Sao Paulo, Brasil.

Dr. Chistian Manuel Ovalle Rodas.  
Escuela Superior de Minas de París. Essonne, Francia.

Dr. Marvin Salguero Barahona.  
Facultad de Agronomía. Universidad de San Carlos de Guatemala.

Dr. Renato Giovanni Ponciano Sandoval.  
Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala.

Dra. Waleska Aldana Segura.  
Universidad Galileo. Guatemala.

Mtra. Anabelle Castro Castro.  
Instituto Tecnológico de Costa Rica. Sede San Carlos.

Dr. Felipe Antonio Trabanino García.  
Universidad Nacional Autónoma de México. UNAM.

Mtro. Daniel Augusto Sosa González.  
Universidad Centroamericana José Simeón Cañas. El Salvador.

## CONSEJO EDITORIAL

Mtro. Murphy Olympto Paiz Recinos  
Rector Magnífico de la Universidad de San Carlos de Guatemala

Dra. Mayra Virginia Castillo Montes  
Profesora titular, Facultad de Ingeniería. USAC.

Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque  
Profesor titular, Facultad de Ingeniería. USAC.

Mtro. Armando Fuentes Roca  
Profesor titular, Facultad de Ingeniería. USAC.

Mtra. María Elizabeth Aldana Díaz  
Profesora de la Facultad de Ingeniería. USAC.

Dra. Alba Maritza Guerrero Spinola  
Profesora titular, Facultad de Ingeniería. USAC.

Mtro. Pedro Miguel Agreda Girón  
Profesor de la Facultad de Ingeniería. USAC.

## FACULTAD DE INGENIERÍA

Universidad de San Carlos de Guatemala

---

### MISIÓN

Formar profesionales de la ingeniería con valores éticos, capaces de generar y adaptarse a los cambios del entorno, conscientes de la realidad nacional y comprometidos con la sociedad, para que, a través de la aplicación de la ciencia y la tecnología apropiada, contribuyan al bien común y desarrollo sostenible del país y la región.

### VISIÓN

Ser una institución académica con incidencia en la solución de la problemática nacional, formando profesionales emprendedores en distintas áreas de la ingeniería, con sólidos conceptos científicos, tecnológicos, éticos y sociales, fundamentados en la investigación y promoción de procesos innovadores orientados hacia la excelencia profesional.

## ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

---

### MISIÓN

Formar maestros de la ingeniería para que sean competitivos y fomenten el desarrollo del país, a través de su emprendimiento de forma ética y responsable con la realidad nacional.

### VISIÓN

Ser innovadores en la formación profesional a nivel de postgrado, con liderazgo y sólidos conocimientos de la ciencia y la tecnología, sin olvidar a la sociedad que demanda la excelencia académica.

# Editorial

---

Nuevamente se presenta a través de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, la revista científica que permite tener una amplia visión de las temáticas que pueden analizarse a través de las áreas del conocimiento y su correspondiente aplicación. Siendo muy amplia las áreas de transferencia de conocimiento y su aplicación y el grado de importancia que ha adquirido la misma.

Primeramente, se incluye la sección de Autores Invitados presentando cuatro artículos multidisciplinarios que abarcan temas relacionados como el reciclado de chatarras y residuos metálicos, los tratamientos térmicos del acero bajo las normas de calidad; así como la aplicación de la Prueba de Kolgomorov-Smirnov para análisis de la distribución de los registros de humedad relativa en la ciudad de Guatemala durante un período de seis años, y la aplicación de series temporales para el estudio de caudales.

El artículo derivado de una tesis doctoral aplica en una forma científica el diseño experimental fraccionado y el análisis multivariado de datos para obtener un modelo que explica el comportamiento del fosfato mediante en una planta procesadora de aguas residuales. En el área de las Ciencias Aplicadas, seis artículos evidencian la importancia de la Estadística Aplicada, en temas como la cobertura boscosa, la producción de hidrógeno y oxígeno a escala de laboratorio e indicadores de rendimiento y avance académico en la Facultad de Ingeniería de la USAC, los cuales particularmente reflejan un nuevo enfoque de la calidad científica y académica en las áreas de pregrado, específicamente con la formación de la ingeniería en los primeros años.

En el área de Transferencia Tecnológica se describe la medición por medio de GPS de doble frecuencia, mientras que en el área de Desarrollo Social – Ambiental y Energético se presenta una investigación que refleja la protección eléctrica de transformadores de una planta cementera en la que se consideran especificaciones directas para el proceso indicado. En el área de Infraestructura también se genera una investigación mediante la clasificación de calidad de roca con el método Slope Mass Rating en un tramo de la ruta CA-9. Y finalmente, en el Área de Gestión y Servicios se presenta la investigación relacionada con el sistema de administración y manejo de inventarios en una bodega de materia prima.

Felicito a los quince investigadores que realizan sus publicaciones en el Volumen 9, correspondiente al año 2018, incentivando a continuar con las investigaciones que permitan generar mejores condiciones para el medio ambiente ya que en cada área se refleja el impacto de los recursos en las diferentes áreas de aplicación del saber y de acción.

**Mtro. Pedro Antonio Aguilar Polanco**

---

Decano  
Facultad de Ingeniería

# Tabla de contenidos

---

## ARTÍCULO DE LA DIRECCIÓN

### Ciencia, Tecnología, Investigación y Desarrollo

Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí ..... 10

## AUTORES INVITADOS

### Reciclado de chatarras y residuos metálicos

Dr. Roberto Alejandro Aguilar Rivas ..... 13

### Análisis de metalografías de tratamientos térmicos en acero AISI 1036, 1045 y 3115.

Dr. Roberto Alejandro Aguilar Rivas, Miguel Zacarías Gómez, Evelyn Andrea Castillo ..... 19

### Caudal específico y su aplicación en el análisis regional de series máximas

Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque ..... 26

### Aproximación a la distribución normal de los registros de humedad relativa en la ciudad de Guatemala durante el período 1978 a 1983, utilizando la prueba de Kolgomorov Smirnov

Mtro. Edwin Adalberto Bracamonte Orozco ..... 30

## ARTÍCULOS DE DOCTORADO

### Modelo predictivo del comportamiento de nutrientes en un cultivo mixto de algas Chlorophyta

Dr. Félix Alan Douglas Aguilar Carrera ..... 36

## ÁREA DE INFRAESTRUCTURA

### Clasificación de calidad de roca con el método Slope Mass Rating (SMR) en un tramo de la ruta CA-9, para la identificación de taludes inestables y herramienta para estudio diagnóstico

Mtro. Erick Noe Cacao Chiquin ..... 47

## ÁREA DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

### Determinación de la precisión de las medidas obtenidas por medio de GPS de doble frecuencia y post-procesadas por servicios en línea como una opción a la red de apoyo catastral

Mtro. Aldo René González Quiñónez ..... 52

## ÁREA DE CIENCIAS APLICADAS

### Aplicación de modelos de regresión lineal en proyecciones de la cobertura boscosa y de captura de CO<sub>2</sub>, para la venta de certificados de carbono en Guatemala, período 2017-2030

Mtro. Víctor Manuel Aceituno Melgar ..... 57

### Diseño experimental y análisis de varianza aplicados a la producción de hidrógeno y oxígeno de un reactor electrolítico, modificando temperatura y composición química, para estimar sus condiciones óptimas de funcionamiento

Mtro. William Eduardo Fagiani Cruz ..... 61

<b>Análisis de los indicadores del rendimiento académico en los cursos a cargo de la Escuela de Ciencias durante el período 2010 al 2015, en la Facultad de Ingeniería, USAC.</b>	
Mtra. Mayra Virginia Carvajal Castillo .....	65
<b>Análisis de los indicadores del avance académico en los cursos de la Escuela de Ciencias de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, del 2010 al 2015</b>	
Mtro. Adonai Navas García .....	69
<b>Evaluación de indicadores de rendimiento académico en los cursos profesionales de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería, USAC 2010-2015.</b>	
Mtro. Francisco Bernardo De La Rosa .....	73
<b>Análisis estadístico del rendimiento académico en los cursos profesionales de los estudiantes de Ingeniería Mecánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, durante los años 2010 a 2015</b>	
Mtro. Luis Carlos Bolaños Méndez .....	77
<b>ÁREA DE DESARROLLO SOCIO-AMBIENTAL Y ENERGÉTICO</b>	
<b>Coordinación de protecciones eléctricas de transformadores de una planta cementera</b>	
Mtro. Orlando José Paez Rodríguez .....	82
<b>ÁREA DE GESTIÓN Y SERVICIOS</b>	
<b>Implementación de un sistema de administración y manejo de inventarios en la bodega de materia prima de una empresa productora de agroquímicos mediante un sistema ABC</b>	
Mtro. Memphis Sofonias Reyes Mazariegos .....	87

## CIENCIA, TECNOLOGÍA, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

---

*Science, Technology, Research and Development.*

### Edgar Darío Álvarez Cotí

Mtro. en Docencia Universitaria

Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería

Correspondencia al autor: edalvarezc95@gmail.com

Los estudios de postgrado han evolucionado a nivel mundial en cuanto a contenido, aplicación y competencias; no es una continuación de lo aprendido en licenciatura o pregrado donde se enfatiza más la docencia directa alumno-docente-clase; tampoco deben ser postgrados de profesionalización. El enfoque moderno es incorporar las nuevas tecnologías, desarrollarlas y mejorarlas para realizar investigación aplicada a resolver problemas nacionales y regionales.

La ciencia y la tecnología son herramientas valiosas en el desarrollo del ser humano; el profesional egresado de programas de Maestría y Doctorado ve el mundo y universo como un todo, por lo que actúa con ética y criterio, preservando la vida de todas las especies que habitan el planeta tierra. La Geomática, Geotecnia, Ingeniería de Mantenimiento, Infraestructura, Tecnologías de la información, Estadística, Gestión Industrial, Energía y Ambiente, Ingeniería de Materiales, Tecnología de los Alimentos, Nanotecnología, el estudio del cambio climático y el desarrollo sostenible son algunas de las opciones y especialidades que ofrece el sistema de estudios de postgrado de la Facultad de Ingeniería.

Tanto las Maestrías en Artes, Maestrías en Ciencias, Especializaciones y el Doctorado en Cambio Climático y Sostenibilidad, tienen aplicación directa en diversos ámbitos académicos, investigación, sector público, sector privado, consultorías a nivel

nacional e internacional. La innovación tecnológica, el emprendimiento, la creación de nuevas empresas y productos, son consecuencia en la mayoría de los casos en países desarrollados, de un proyecto de investigación de postgrado de Maestría o Doctorado por medio de la Investigación y Desarrollo o I+D.

Las tesis de postgrado, los artículos publicados o patentes, son resultado de ese proceso de estudio, análisis e investigación aplicada enfocada a solucionar problemas, mejorar procesos, desarrollo de nuevas tecnologías, productos. No hay divorcio entre academia, industria, sector público en los estudios de postgrado, al contrario se complementan y relacionan durante los estudios del futuro graduando y después ya un profesional con estudios de postgrado.

Las ciencias exactas, como la matemática, física, estadística y las ciencias básicas como química y biología son parte fundamental y el cimiento de cualquier estudio de postgrado en ingeniería, aun si son postgrados del ámbito administrativo y gerencial. Los países que hacen la transición de agrícolas y productores de materias primas a países industrializados y creadores de tecnología lo hacen a través de la inversión en ciencia y tecnología en proyectos de investigación aplicada donde los programas de postgrado juegan un rol primordial con las tesis y artículos resultados de esas investigaciones, además de patentes y generación del conocimiento.

Los problemas regionales como la contaminación de ríos, lagos, fuentes subterráneas de agua, vivienda, transporte público, salud, alimentación, calidad de vida, energía, cambio climático, vulnerabilidad, reducción de la pobreza, comunicaciones, movilidad, procesamiento e industrialización de materias primas para generar cadenas de valor y la economía circular son algunos de los temas prioritarios en un sistema de postgrado. Los datos y resultados de las investigaciones y tesis de postgrado en campos multidisciplinarios tienen aplicación práctica y son un aporte a la sociedad, a los tomadores de decisiones y planificadores en la parte política y económica a nivel municipal, estatal, regional.



# AUTORES INVITADOS

---

## RECICLADO DE CHATARRAS Y RESIDUOS METÁLICOS

*Recycling of Scrap and Metal Waste*

**Roberto Alejandro Aguilar Rivas**

Dr. en Metalurgia  
Investigador Escuela de Ingeniería Mecánica, FIUSAC  
Correspondencia al autor: raarivas@hotmail.com

Recibido: 15 de junio 2018 | Revisado: 17 de junio 2018 | Aprobado: 20 de junio 2018

### Resumen

Debido a las necesidades de preservación ecológica y ambiental en Guatemala, la investigación se enfoca en los aspectos fundamentales del reciclado de chatarras y residuos metálicos, los cuales contribuyen grandemente a la contaminación y degradación de los ecosistemas en general. Por otro lado, también es sabido por el investigador que los residuos constituyen la materia prima para el desarrollo del sector de las pequeñas, medianas y grandes empresas que se dedican a la fabricación de productos metálicos, tanto terminados como intermedios, mediante el proceso de la fundición formal y artesanal.

En el presente artículo se analiza el empleo de los desechos y de las características metalúrgicas, debido a que los procesos que se realizan a partir de los desechos contribuyen al crecimiento del valor agregado, al incremento del producto interno bruto nacional y al efecto de la sostenibilidad ambiental.

### Palabras clave

Residuos metálicos, fundición, ecosistema, medio ambiente.

### Abstract

*Due to the needs of environmental and ecological preservation in Guatemala, the research involves the key aspects on recycling scrap and metal waste, which contributes greatly to the pollution and degradation of ecosystems in general. On the other hand, it is known by the researcher that the residues are mainly raw material for the development of the sector of small, medium and large companies involving the manufacture of metal, both finished and intermediate products, through the formal and traditional casting process.*

*The article main topic aims for the analysis of the use of waste and the metallurgical characteristics, taking into account that the processes performed from recycling, they contribute to the growth of value added, to the increase of the national gross domestic product, and the effect of environmental sustainability.*

### Keywords

*Metal waste, foundry. ecosystem, environment.*

## Introducción

El empleo de desechos metálicos como materia prima de la industria nacional en general contribuye a la preservación y sostenibilidad del medio ambiente y al desarrollo científico y tecnológico del sector involucrado.

La elaboración de productos terminados e intermedios, a partir de estos residuos consumidos en el mercado guatemalteco constituye una de las fuentes de trabajo más importantes del país.

Uno de los principales objetivos del “Proyecto de Investigaciones Metalúrgicas” de la FIUSAC, es contribuir al mejoramiento tecnológico de la fundición en general, por medio de la investigación científico-técnica de los parámetros ingenieriles que controlan su calidad. En tal sentido, se investigan los procesos de aprovechamiento de chatarras y residuos metálicos generados en el país, clasificándolos en función de su composición química y destinos finales.

## Desarrollo del estudio

Para la obtención de la información pertinente, se realiza investigación primaria en empresas representativas, haciendo uso de manuscritos del autor implementados durante el montaje y operación de varias plantas.

Las empresas analizadas incluyen una acería, tres de laminación de acero, tres de fundición de hierro en cubilotes y varias de fundición artesanal de materiales no ferrosos. También se obtiene el apoyo directo de la dirección técnica de una planta de fundición de hierro y metales no ferrosos.

## Resultados obtenidos

### Empleo de la chatarra de acero

Las chatarras de acero en general, como materia prima, las emplea la única empresa siderúrgica del país que las procesa para fabricación de varilla de construcción y de perfiles, funde la chatarra y posteriormente fabrica los productos laminados, como varillas y perfiles. Sin embargo, esta industria también utiliza las chatarras y residuos de hierro fun-

dido o fundiciones que le aportan al acero mayor cantidad de carbono, silicio y manganeso.

El proceso se lleva a cabo en un horno eléctrico de arco, de aproximadamente 50 toneladas de capacidad, por colada, mediante el sub-proceso conocido como colada continua, cuyo producto terminado lo constituyen palanquillas de diversas calidades que posteriormente son transformadas por el proceso de laminación.

Las varillas de refuerzo para hormigón armado, se producen en todas las calidades demandadas para el consumo, mediante el proceso de laminación, así como alambros del que se procesan varillas lisas de 1/4”, alambres de amarre, alambre galvanizado, alambre espigado, clavo, grapas, varillas de refuerzo grados 33, 40 y 60.



*Figura 1.* Proceso de laminación.  
Fuente: elaboración propia, Indeta, 1993.



*Figura 2.* Cama de enfriamiento y producto terminado.  
Acero para hormigón.  
Fuente: elaboración propia, Indeta, 1993.

**Empleo de las chatarras de hierro fundido**

Para el aprovechamiento y reciclado de estas chatarras, se emplean los hornos conocidos como Cubilotes, y el principal material empleado para la fabricación de los moldes está constituido por las arenas de diferentes calidades y texturas, también de origen nacional, en su mayoría procedentes de los ríos. (Aguilar y Fuentes, 2017).



*Figura 3.* Colada en moldes de arena.  
Fuente: Servicio Industrial Ramírez.



*Figura 4.* Catarina de hierro fundido.  
Fuente: Servicio Industrial Ramírez.

**Empleo de chatarras de metales no ferrosos**

Las chatarras y residuos de metales no ferrosos, más empleadas en el país, las constituyen las correspondientes al aluminio y sus aleaciones, y al cobre y sus aleaciones, de las cuales se logra obtener productos terminados de muy buena calidad. Del aluminio y sus aleaciones se producen una gran cantidad de utensilios de cocina, como ollas, sartenes extractores de jugos, paelleras, cucharas, cucharones, pocillos, etc., así como elementos de máquinas, reposaderas de todo tipo y tamaño; mo-

biliario en general, como sillas, mesas ornamentales y repisas, entre otros.

Del cobre y sus aleaciones se producen bronce y latones en forma de repuestos de maquinaria, y equipos, tal es el caso de impulsores para bombas y turbinas, engranajes, ejes, bujes y chumaceras resistentes a la corrosión y artículos de orfebrería en general.

Dentro del proyecto de investigaciones metalúrgicas de la FIUSAC, se realizan estudios sobre las propiedades físico-químicas de estas aleaciones, tratando de coadyuvar al desarrollo de la fundición artesanal, en aras de obtener productos de mejores calidades que contribuyan a la sustitución de importaciones y al mayor empleo de mano de obra local.



*Figura 5.* Ventilador de Bronce.  
Fuente: Servicio Industrial Ramírez.



*Figura 6.* Campana de bronce fundido.  
Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, el reciclado de la chatarra de plomo, la cual es altamente contaminante, se realiza en más de un 90 % de los residuos producidos.

## **Discusión de los resultados**

### **Fundiciones de hierro y no ferrosas**

La calidad de las piezas obtenidas por este proceso depende fundamentalmente del dominio del arte manipulado por los fundidores de experiencia, en donde juegan un papel muy importante el control de las temperaturas y de las características del sustrato empleado en la preparación de los moldes, así como la selección de la materia prima empleada. Los productos observados mostraron buenos niveles de calidad. Ver figuras 4, 5 y 6.

Los parámetros más importantes aplicados por los fundidores, manejados empíricamente, los constituyen: la chatarra utilizada como materia prima, el diseño y construcción de los moldes, la colabilidad y la fluidez.

a) La colabilidad consiste en la capacidad de un metal o aleación, en estado líquido, de llenar y reproducir las cavidades de los moldes sin que se produzcan, al solidificar las piezas, defectos conocidos como sopladuras, rechupes, pliegues, solapes, etc., lográndose superficies de tersura y apariencia de alta calidad. (Aguilar y López, 2013).

b) La fluidez es el parámetro ingenieril que define la longitud crítica que un metal en estado líquido es capaz de alcanzar, en función de variables termodinámicas controladas, antes que el fenómeno de la solidificación obstruya el avance de la vena líquida. (Aguilar, 2011).

En general, el control de los parámetros anteriormente citados, da como resultado la caracterización de las estructuras de solidificación de las piezas fundidas, que son las responsables directas de las propiedades mecánicas de dichas piezas, mediante este proceso.

### **Fundición de acero**

Como se indica anteriormente, ésta se lleva a cabo por parte de una única empresa, que inicia en el

año 1974, con alta capacidad de producción actual, en forma integrada, laminando, trefilando y galvanizando subproductos a partir de palanquillas producidas por colada continua, entre los que destacan varillas de refuerzo para construcción, perfiles, alambre y clavos.

La empresa cuenta con instalaciones en las cuales se pueden producir los productos señalados, aún con las calidades más exigentes.

### **Clasificación de las chatarras en función de su composición química.**

Para el manejo de las chatarras se necesita el conocimiento y capacidad de identificación de los grupos referidos, se hace un análisis general de la clasificación de los mismos.

Al igual que los metales en general, las chatarras se clasifican de acuerdo a su origen metalúrgico. Esto se refiere a los dos grandes grupos conocidos como metales ferrosos y metales no ferrosos. (Aguilar, 2012).

El primer grupo lo constituyen los productos derivados del hierro. Dado que este metal, en estado puro, no tiene utilización industrial, a sus derivados se les conoce como aleaciones hierro-carbono, las que constituyen uno de los renglones económicos más importantes del mundo. El segundo grupo lo conforman todos los demás metales utilizados por la industria, en donde juegan un papel principal el aluminio y el cobre y sus aleaciones, formadas por otros metales como el magnesio, el manganeso, el cromo, el níquel, el vanadio, el tungsteno y el molibdeno, entre otros.

### **Aleaciones hierro-carbono**

Las aleaciones hierro-carbono, como su nombre lo indica, están constituidas por todas las aleaciones a base de hierro, las que se clasifican en Aceros y Fundiciones.

A la vez, los aceros se clasifican en aceros al carbono y aceros aleados. Los aceros al carbono pueden ser: de bajo carbono, o aceros dulces, los que tienen menos de 0.30 % en peso de carbono; aceros de medio carbono, los que tienen entre 0.30 % y 0.60 % de

carbono; y aceros de alto carbono, los que contienen entre 0.60 % y un máximo de 2.0 % de carbono.

Por otro lado, los aceros aleados se clasifican en aceros de baja aleación, cuya suma de aleantes no excede el 8 %, y aceros de alta aleación, cuyos aleantes suman más del 8 %. En este último grupo se encuentran todos los aceros inoxidable.

De 2.0 % de carbono en adelante, aparecen las fundiciones, que en general no contienen más de 3.4% de carbono, y dependiendo de su destino se clasifican en fundiciones grises, que son las más comunes y las únicas fabricadas en Guatemala, fundiciones blancas, fundiciones maleables, y fundiciones nodulares.

El conocimiento de estos conceptos es de suma importancia, cuando se trata de identificar los tipos de chatarra para poder definir su destino.

#### **Aleaciones no ferrosas**

Estas aleaciones son muy diversas, identificándose por el metal base: aleaciones de níquel, aleaciones de magnesio, entre otras.

Las aleaciones no ferrosas más importantes producidas en Guatemala, las constituyen las de base aluminio y las de base cobre, que en su gran mayoría no son identificables por medios visuales. Sin embargo, las aleaciones de cobre pueden dividirse en dos grandes grupos conocidos como latones, en los cuales el aleante más importante lo constituye el cinc, y los bronce cuyo aleante principal es el estaño.

#### **Conclusiones**

1. El reciclado de la chatarra y residuos metálicos en general, constituye la metodología más importante empleada en aras de la preservación ambiental, con relación a la contaminación por este tipo de residuos, de esta manera se contribuye también al desarrollo tecnológico del país y al empleo de tales recursos como fuente de materia prima disponible, así como al mayor empleo de mano de obra nacional, de forma directa e indirecta. De ahí que se exponga en el presente artículo, algunas de las formas de aprovechamiento de dichos residuos.

2. Los procesos metalúrgicos de fundición en general, se realizan produciendo escorias en volúmenes considerables, mayormente en el proceso de acería que es el más voluminoso, por lo que se deben considerar metodologías de reciclado o transformación que contribuyan al manejo sostenible de tales procesos.
3. La mejora de la calidad de las piezas fundidas artesanalmente, contribuye a la baja de los costos de operación y mantenimiento de la maquinaria y equipo utilizado por la industria nacional; por otro lado, al mejorarse la calidad de las piezas fundidas, a partir de residuos, se propicia la sustitución de importaciones de dicho renglón, en beneficio del crecimiento del valor agregado del producto interno bruto del país, lo que justifica en grande los esfuerzos científico-tecnológicos que se hagan en tal sentido.

#### **Recomendaciones**

1. Producir acero con calidades asísmicas que garanticen en mejor forma la sobrevivencia de las personas a los efectos telúricos.
2. Apoyándose en los resultados de las investigaciones citadas en las referencias, mediante el “Proyecto de Investigaciones Metalúrgicas” de la EIM, utilizar las aleaciones de aluminio y de cobre, de composiciones controladas, en sustitución de las aleaciones no controladas, respondiendo a la demanda de piezas de mejores calidades.
3. Continuar con las investigaciones sobre las propiedades de aplicabilidad tecnológica de las aleaciones a base de aluminio y de cobre y de los otros metales fundidos artesanalmente en Guatemala.
4. Realizar los estudios e investigaciones correspondientes, para contribuir al manejo adecuado de las escorias referidas, bajo el concepto de sostenibilidad y desarrollo.

## Referencias bibliográficas

- Aguilar Rivas, R. A. (2012). *“Introducción a la Metalurgia”*. Proyecto de Investigaciones Metalúrgicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, FIUSAC, Guatemala.
- Aguilar Rivas, R. A. (1993). *Manuscritos de montaje y operación de una planta de laminación de acero para construcción de 100,0000 t/año*. INDETA. Guatemala.
- Aguilar Rivas, R. A. y Fuentes, M. (2017). *Características Macrográficas y Mecánicas de Aleaciones Aluminio-Cobre Fundidas Artesanalmente*. Proyecto de Investigaciones Metalúrgicas, Centro de Investigaciones de Ingeniería - Escuela de Ingeniería Mecánica, FIUSAC, Guatemala.
- López Rodríguez, S. A. y Aguilar Rivas, R. A. *Colabilidad del aluminio de alta pureza y aleaciones Al-Cu ligeramente concentradas*. Revista Científica. pp. 32-35

## Información del autor

Roberto Alejandro Aguilar Rivas

Doctor en Metalurgia, Ingeniero Mecánico, Profesor-investigador del “Proyecto de Investigaciones Metalúrgicas”, Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Afiliación laboral: Profesor Investigador de la Escuela de Ingeniería Mecánica, USAC.

# ANÁLISIS DE METALOGRAFÍAS DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN ACEROS AISI 1036, 1045 Y 3115.

*Metalography Analysis of Thermal Treatments in Steels AISI1036, 1045 and 3115.*

**Roberto Alejandro Aguilar Rivas**

Dr. en Metalurgia  
Investigador Escuela de Ingeniería Mecánica, FIUSAC  
Correspondencia al autor: raarivas@hotmail.com

**Miguel Ángel Zacarías Gómez**

Ingeniero Mecánico  
Coautor

**Evelyn Andrea Castillo**

Ingeniera Mecánica  
Coautora

Recibido: 15 de junio 2018 | Revisado: 17 de junio 2018 | Aprobado: 20 de junio 2018

## Resumen

En la investigación se analizan los resultados micrográficos de investigación experimental, de ensayos de tratamientos térmicos, realizados en el laboratorio de Metalurgia de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería USAC, mediante la observación metalográfica. Los materiales ensayados corresponden a los aceros AISI 1036, 1045 y 3115 disponibles en Guatemala, donde los resultados obtenidos son de beneficio teórico y tecnológico en el conocimiento de los tratamientos térmicos involucrados en metales comerciales, así como su empleo en la fabricación de elementos estructurales como ejes, engranajes y otros elementos de máquinas con exigencias mecánicas dentro de las características obtenidas.

## Palabras clave

Tratamientos térmicos, estructuras metalográficas, transformaciones alotrópicas, perlita, martensita.

## Abstract

*The main topic of the investigation is to analysis the results of experimental heat treatments carried out in the Metallurgy laboratories at the Mechanical Engineering departament of FIUSAC, the analysis are done by metallographic observing tests. The tested materials correspond to AISI 1036, 1045 and 3115 wich are available in Guatemala. The obtained results sustain the theoretical and technological benefit on behalf of heat treatment development.*

*The results support the use of heat treatments on metals in the manufacturing of structural components such as shafts, gears and other elements of machines with mechanical requirements within the obtained features.*

## Keywords

*Heat treatments, metallographic structures, allotropic transformations, pearlite, martensite.*

## Introducción

Con base en resultados de ensayos experimentales de tratamientos térmicos de normalizado, temple, recocido, revenido y cementación, sobre probetas diseñadas para el efecto, se investigan las estructuras metalográficas resultantes en aceros disponibles en el país, y empleados para la construcción de elementos de máquinas, especialmente en ejes y engranajes de los diversos tipos. Los materiales ensayados son los AISI 1036, 1045 y 3115, respectivamente.

Las composiciones químicas de los aceros empleados se aprecian en la tabla siguiente.

Tabla I. *Composición química de los materiales empleados*

Comp. Quím	% C	% Mn	% Si	% P <sub>máx</sub>	% S <sub>máx</sub>	% Cr	% Ni
Acero AISI 1036	0.32/0.38	0.60/1.00	Min. 0.10	0.40	0.50		
Acero AISI 1045	0.43/0.50	0.60/1.00	Min. 0.10	0.40	0.50		
Acero AISI 3115	0.13/0.18	0.40/0.60	0.15/0.35	0.04	0.04	0.55/0.75	1.1/1.4

## Desarrollo del estudio

### Tratamientos térmicos

#### Normalizado

Este proceso se realiza elevando la temperatura del acero a unos 30 grados por encima de la temperatura de transformación, A1, manteniéndolo, a esta temperatura un tiempo prudencial en función de las dimensiones de la pieza, hasta lograr su homogeneización austenítica. Posteriormente, se retira la pieza del horno y se deja enfriar a la temperatura ambiente, lográndose una estructura de equilibrio con las características metalográficas deseadas. La estructura obtenida es la conocida como estructura metalográfica normal o normalizada. El objetivo principal de este tratamiento térmico es regenerar las estructuras distorsionadas por el trabajado mecánico.

### Recocido

Se realiza en forma similar al normalizado, con el fin de obtener un material más dúctil o maleable, manteniendo la pieza a temperatura de austenización por un período más prolongado que el anterior, dejándola enfriar dentro del horno para obtener estructuras metalográficas de grano mayor, más homogéneas, y por consiguiente de mayor ductilidad y maleabilidad.

### Temple

Consiste en el proceso de endurecimiento del acero por medio del manejo controlado de las transformaciones alotrópicas de dicho material. Se lleva a cabo por medio de un calentamiento similar a los anteriores, llevando la pieza a temperaturas superiores a la crítica de transformación austenítica, A1, y luego enfriándola bruscamente, en diferentes medios y por diferentes procesos, obteniendo así estructuras metaestables de mayor dureza que la correspondiente al material en estado normalizado.

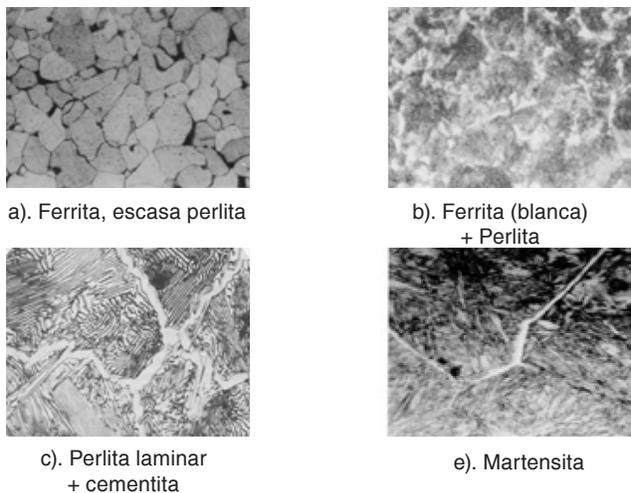
Mediante los procesos referidos, se obtienen estructuras combinadas de ferrita, hierro  $\alpha$ , responsable de la ductilidad del acero, y cementita,  $Fe_2O_3$ , responsable de la dureza, así como la combinación de estos dos elementos, conocido como perlita, que se toma como una fase pura, y es la estructura encargada de la tenacidad del acero. (Aguilar, 2012).

### Cementado

El proceso de la cementación pertenece al grupo de los procesos de endurecimiento superficial de los aceros; consiste en un procedimiento de aumento de carbono en la superficie de las piezas, por contacto directo con un medio carburante que puede ser sólido, líquido o gaseoso, manteniendo todo el conjunto a temperatura arriba de la temperatura de transformación A1, durante varias horas y luego enfriándolas, generalmente, mediante un procedimiento similar al recocido. Posteriormente, se someten a un proceso de temple y revenido, dependiendo de los resultados que se espera lograr. (Zacarías y Aguilar, 2016).

**Revenido**

Los aceros que han sido templados, quedan normalmente demasiado duros y consecuentemente frágiles para la mayoría de los usos a que van a ser destinados, además la presencia de esfuerzos o tensiones residuales producidos por el enfriamiento, hacen desaconsejable su uso en estas condiciones, excepto en los casos en que se requiere una dureza extrema. El tratamiento consiste en elevar la temperatura del acero hasta un valor por debajo de la temperatura crítica inferior, dependiendo de los resultados esperados, manteniendo esta temperatura por un tiempo fijado por las necesidades de homogeneización, después del cual se enfría de nuevo a temperatura ambiente por diversos medios. Así se eliminan las tensiones internas y se aumenta la tenacidad y ductilidad del acero (Aguilar, 2012).



*Figura 1.* Microestructuras de los aceros.  
Fuente: Aguilar R., 2013.

**Desarrollo del estudio**

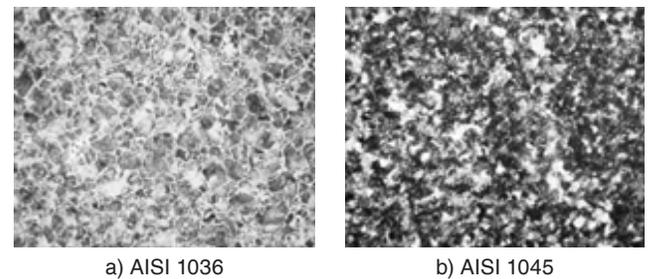
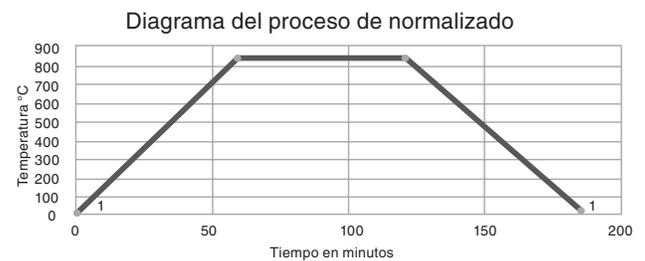
**Metodología**

Para la realización de la práctica metalográfica se obtienen muestras de los aceros AISI 1045 y 3115, disponibles en el mercado local y del acero AISI 1036 de fabricación nacional, con el objeto de investigar sus características metalográficas después de los tratamientos térmicos, procediéndose a la preparación metalográfica, según la metodología tradicional (Castillo, 2017).

**Resultados obtenidos**

**Ensayos de normalizado**

Los ensayos de normalizado se realizan en probetas de acero A1036 y A1045, calentándose dentro del horno hasta 850°C, durante una hora, y luego dejándose enfriar al ambiente. La gráfica de la figura 3 representa el proceso. Los resultados metalográficos pueden apreciarse en las siguientes figuras, en donde se observan estructuras totalmente homogéneas formadas por granos de ferrita (zona blanca) y perlita (zona oscura), similares a las estructuras señaladas en la figura 2.



*Figura 2.* Resultados de normalizado en probetas de acero A1036 y A1045.

**Ensayos de recocido**

Los ensayos de recocido se realizan en probetas de acero A1036 y A1045, a temperatura de 850°C, durante dos horas, con enfriamiento dentro del horno. La gráfica del proceso y las metalografías se aprecian en la figura 3. Nótese el crecimiento de las estructuras, con respecto a las del normalizado. ferrita (zona blanca) y perlita (zona oscura),

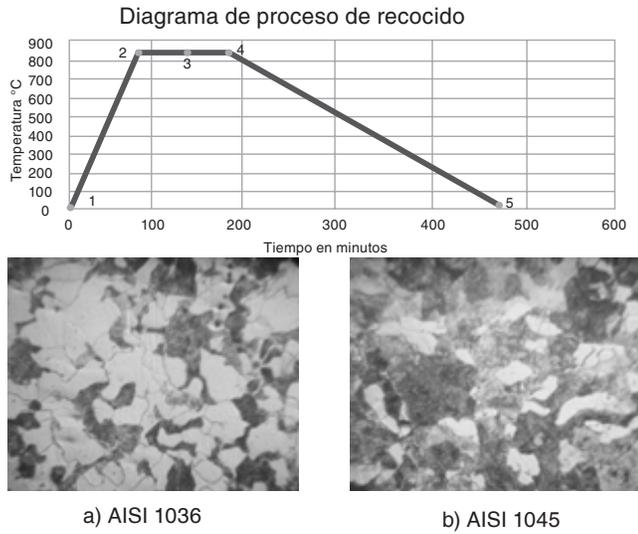


Figura 3. Resultados de Recocido en probetas de acero a1036 y a 1045.

**Ensayos de temple**

Los ensayos de temple se realizan en probetas de acero A1036 y A1045, a temperatura de 850°C con tiempo de homogeneización de una hora, con enfriamiento brusco en aceite sin especificaciones y agua del caño, según la gráfica y las metalografías de la figuras 4 y 5 respectivamente.

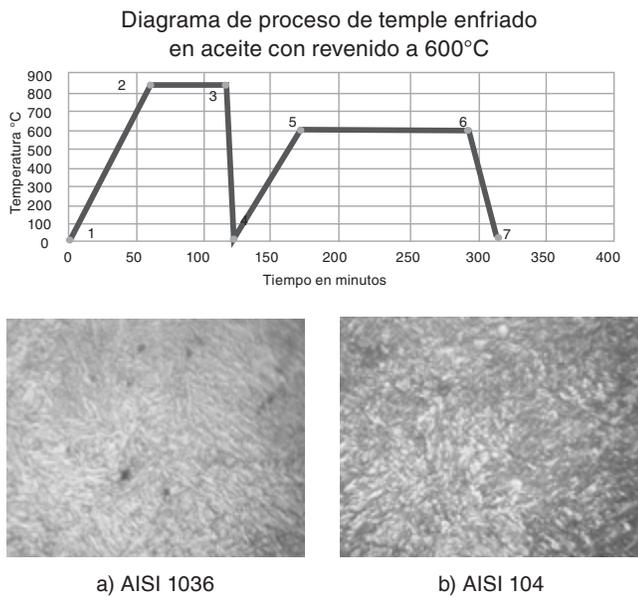


Figura 4. Resultados de temple en aceite con revenido en probetas de acero A1036 y A1045.

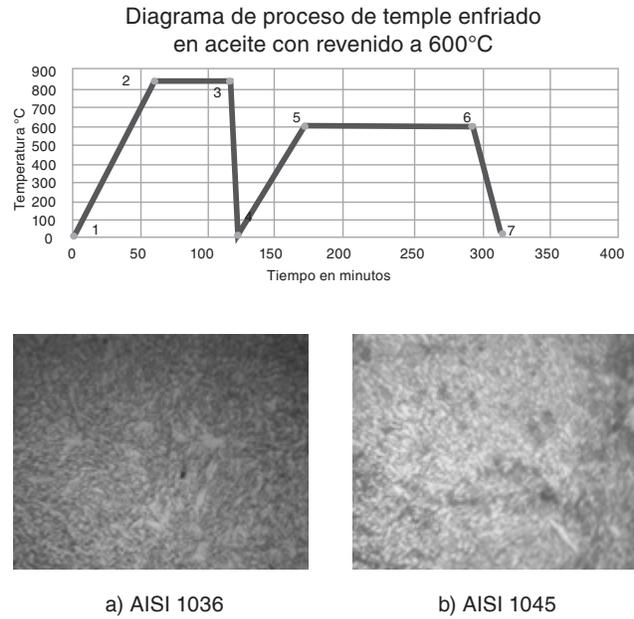


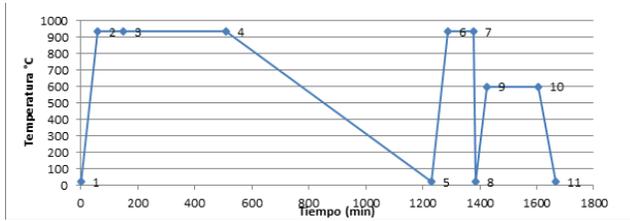
Figura 5. Resultados de temple en agua y revenido en probetas de acero A1036 y A 1045.

**Ensayos de cementación**

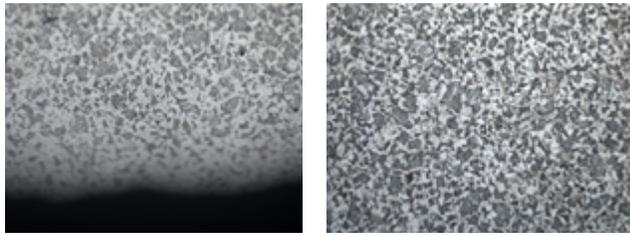
Para este ensayo se emplea acero AISI 3115, por ser un material específico para este tipo de procesos. Se realiza el cementado en medio sólido, constituido por carbón activado granular.

El tratamiento actúa en tres zonas bien definidas:

- a) En la superficie, afectada directamente por la difusión del carbono. Ésta queda totalmente enriquecida en carbono, por lo que hay un cambio en la composición de la estructura metalográfica.
- b) En la zona intermedia entre la superficie y el núcleo de la pieza, que a los efectos de los resultados no tiene mucha importancia.
- c) En el núcleo de la pieza, que permanece con su composición inicial sin cambiar su estructura metalográfica.



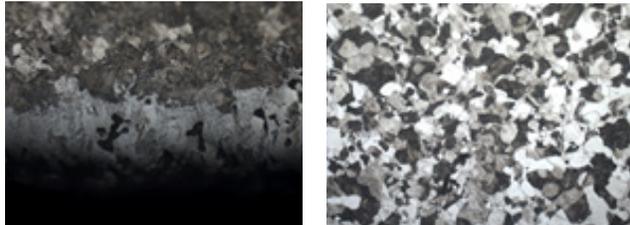
**Estado de suministro**



a) AISI 1036

b) AISI 1045

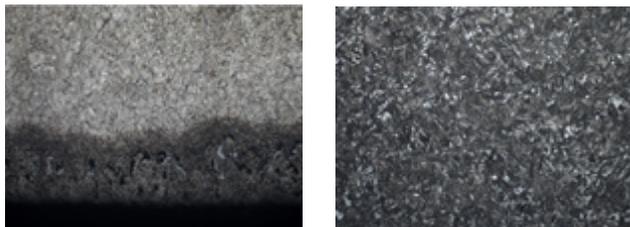
**Cementación 6 h**



c) borde x 200

d) núcleo x200

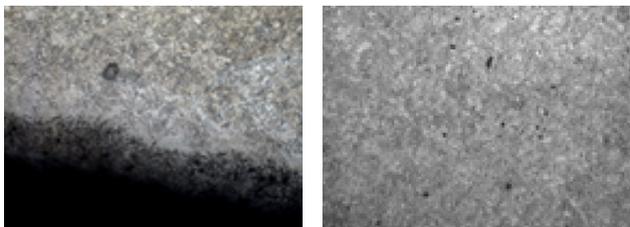
**Temple en aceite y revenido**



e) borde x 200

f) núcleo x200

**Temple en agua y revenido**



g) borde x 200

h) núcleo x200

*Figura 6.* Resultados de cementación durante 6 horas, temple y revenido

**Discusión de los resultados**

Los resultados obtenidos se determinan por medio de observación metalográfica, tal como se indica en la metodología, y pueden analizarse de la siguiente forma.

**Normalizado**

Nótese que las micrografías del normalizado, fig. 2, muestran total homogeneidad de las estructuras, ante todo en el tamaño de las mismas. En el caso del acero A1036, se observa mejor debido a la presencia de la ferrita delimitando los bordes de grano, lo cual no se manifiesta en el acero A1045, por la mayor precipitación de la perlita que absorbe mayor cantidad de ferrita. Nótese también la similitud de las estructuras con las del acero 3115 en estado de suministro.

**Recocido**

En el caso del recocido, fig. 3, tal como era de esperarse, por definición, las estructuras aumentan de tamaño con relación a las del normalizado, con distribución homogénea en función de su contenido de carbono. También se puede observar similitud en cuanto al crecimiento de grano del núcleo del acero 3115 después del cementado.

**Temple**

El proceso de temple, muestra una evidencia total del cambio de fases de las estructuras estables de ferrita, perlita y cementita, hacia las estructuras metaestables de bainita y abundante martensita. Puede notarse que las estructuras del proceso de temple en agua presentan tamaños de grano más finos con respecto a las de las probetas templadas en aceite, debido a que la velocidad de enfriamiento en el agua es mayor que en aceite, lo cual repercute en menor crecimiento de la estructura. Este fenómeno, puede compararse también en las estructuras de temple, después del cementado en las probetas de acero A3115.

**Revenido**

El efecto del revenido, puede notarse en una redistribución y homogeneización de las estructuras obtenidas durante el temple. Esto en el caso de las estructuras martensíticas.

### **Cementado**

Con referencia al proceso de cementación, las estructuras metalográficas de la periferia cambian a través del enriquecimiento en carbono, sufriendo la transformación predominante de ferrita a estructuras de abundante perlita con bordes de cementita. También se aprecia un alto grado de descarburación, influenciado posiblemente por humedad del material del refractario de sellado. Por otro lado, puede notarse que, mientras las estructuras de la periferia muestran cambios debido al enriquecimiento en carbono, el núcleo permanece invariable en su composición. Sin embargo, sí se nota un crecimiento bastante significativo en cuanto al tamaño de la estructura granular. Esto en toda la probeta.

Por otro lado, se nota la estructura de la martensita similar, debido al enriquecimiento en carbono de la periferia de las probetas.

### **Conclusiones**

De acuerdo a los resultados analizados en los párrafos precedentes, se llega a las conclusiones siguientes:

1. Se nota claramente que después del normalizado, las estructuras cristalinas muestran total uniformidad, tanto en tamaño como en distribución. Esto se observa tanto para el acero A1036 como para el A1045, lo cual coincide con las estructuras del acero A3115 en estado de suministro, lo que confirma el objetivo del proceso de normalizado.
2. Después de realizado el recocido, se nota el crecimiento de las estructuras, apreciándose la diferencia entre las zonas ferríticas y perlíticas. Este fenómeno puede observarse también en el proceso de cementado, después del período de cementación.
3. Referente al temple, puede apreciarse claramente el cambio de las estructuras metalográficas en función de la velocidad de enfriamiento de las probetas. Esto es, el apareamiento de las estructuras predominantemente martensíticas, en sustitución de las ferríticas y perlíticas

después del temple. De igual manera se puede observar la homogeneización de las estructuras después del revenido.

4. El proceso de cementación en el acero AISI 3115, produce resultados satisfactorios en cuanto a que puede comprobarse que hay difusión del carbono en estado sólido y, por consiguiente, enriquecimiento del mismo en la periferia y hacia el interior de las probetas ensayadas, mientras que se nota únicamente el aumento de tamaño de las estructuras, como sucede en el recocido. También se aprecia el aumento de la zona perlítica debido al incremento del carbono. Finalmente, se observa la aparición de la zona de estructuras metaestables, escasa bainita y martensita.
5. Se evidencia la susceptibilidad de los materiales ensayados a los procesos realizados de normalizado, recocido, temple, revenido y cementación, confirmando la templeabilidad de los mismos durante dichos procesos.
6. Se confirma que los materiales ensayados son adecuados para la fabricación de piezas de maquinaria y equipo, dependiendo de las solicitudes mecánicas para las que sean requeridos.

### **Recomendaciones**

1. Al proyecto de investigaciones metalúrgicas de la FIUSAC: continuar con las investigaciones de utilidad científico-técnica, dentro del área de los tratamientos térmicos, de los aceros especiales existentes en el mercado nacional.
2. A la Escuela de Ingeniería Mecánica de la FIUSAC: disponer de los mecanismos de divulgación de los resultados de investigación para beneficio de la PYMES.

### **Referencias bibliográficas**

- Aguilar Rivas, R. A. (2012). *Introducción a la Metalurgia. Proyecto de Investigaciones Metalúrgicas*. Escuela de Ingeniería Mecánica, FIUSAC. Guatemala.

Aguilar Rivas, R. A. (2013). *Tratamientos térmicos de los aceros. Conferencias. Proyecto de Investigaciones Metalúrgicas*. Escuela de Ingeniería Mecánica, FIUSAC. Guatemala.

Castillo, E. A (2017). *Análisis metalográfico de las estructuras resultantes de tratamientos térmicos de aceros de mediano carbono AISI-SAE 1045 Y AISI-SAE 1036 y su relación con la dureza de los mismos*. Trabajo de Graduación de Ingeniera Mecánica, Escuela de de Ingeniería Mecánica, FIUSAC.

Zacarías Gómez, M. A. y Aguilar Rivas, R. A. (2017). *Estructuras metalográficas de probetas cementadas de aceros ASSAB7210 y BOEHLER E230 y su relación con la dureza resultante*. Proyecto de Investigaciones Metalúrgicas, Escuela de Ingeniería Mecánica. Facultad de Ingeniería, USAC. Guatemala.

### **Información del autor**

Miguel Ángel Zacarías Gómez

Ingeniero Mecánico, “Proyecto de Investigaciones Metalúrgicas”, Escuela de Ingeniería Mecánica, FIUSAC.

Evelin Andrea Castillo Herrera

Trabajo de Graduación de Ingeniería Mecánica, “Proyecto de Investigaciones Metalúrgicas”, Escuela de Ingeniería Mecánica, FIUSAC

Roberto Alejandro Aguilar Rivas

Doctor en Metalurgia, Ingeniero Mecánico, Profesor-investigador del “Proyecto de Investigaciones Metalúrgicas”, Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Afiliación laboral: Profesor Investigador de la Escuela de Ingeniería Mecánica, USAC.

## CAUDAL ESPECÍFICO Y SU APLICACIÓN EN EL ANÁLISIS REGIONAL DE SERIES MÁXIMAS

*Specific Flow and its Application in the Regional Analysis of Maximum Series*

**Juan Carlos Fuentes Montepeque**

Maestro en Hidrología y Recursos Hidráulicos  
Coordinador Área Desarrollo Socio-Ambiental y Energético

Correspondencia al autor: jcfuentes24@gmail.com

Recibido: 05 de febrero 2018 | Revisado: 10 de febrero 2018 | Aprobado: 12 de febrero 2018

### Resumen

El análisis regional de crecidas se basa un enfoque probabilístico a partir de series de caudales máximos anuales para un área geográfica definida previamente como una región homogénea. Las series temporales consideradas en el análisis regional deben cumplir indispensablemente con ciertas características, entre las que resaltan longitud, completación (relación  $n/N$ ), consistencia, homogeneidad, independencia, principalmente. Se considera un total de 12 series de caudales máximos anuales, a las cuales se les aplica los modelos probabilísticos Galton 2P, Galton 3P, Gumbel, Fréchet, Gama, Pearson III y Valor Extremo Generalizado, mediante momentos convencionales y lineales, con el objeto de estimar factores de frecuencia. Además, se aplica algunos modelos determinísticos para analizar el caudal específico en función del área de drenaje de las cuencas pertenecientes a cada serie temporal. Finalmente, se estima la influencia del caudal específico en el análisis regional, con valores que oscilan entre 100 a 600  $m^3/s$ , para períodos de retorno de 2 a 50 años, respectivamente. Al analizar la relación del área en función del caudal específico mejora sustancialmente el coeficiente de determinación.

### Palabras clave

Curva envolvente, período de retorno, caudal índice, factor de frecuencia, serie de tiempo.

### Abstract

*The regional analysis of floods is based on a probabilistic approach based on series of maximum annual flows for a geographical area previously defined as a homogeneous region. The time series considered in the regional analysis must comply with certain characteristics, among which stand out length, completion (ratio  $n/N$ ), consistency, homogeneity, independence, mainly. A total of 12 series of maximum annual flows are considered, to which the Galton 2P, Galton 3P, Gumbel, Fréchet, Gama, Pearson III and Generalized Extreme Value are applied, using conventional and linear moments, with the purpose of estimate frequency factors. In addition, some deterministic models are applied to analyze the specific flow depending on the drainage area of the basins, belonging to each time series. Finally, the influence of the specific flow in the regional analysis is estimated, with values ranging from 100 to 600  $m^3/s$ , for return periods of 2 to 50 years, respectively. When analyzing the ratio of the area as a function of the specific flow rate, the coefficient of determination is substantially improved.*

### Keywords

*Envelope curve, return period, flow index, frequency factor, time serie.*

## Introducción

La cuenca del río Coyolate es una de las 18 cuencas en Guatemala que drena al océano Pacífico, dada sus características biofísicas, tales como relieve, suelos, uso de la tierra y el régimen de lluvias, es altamente susceptible a la formación de crecidas e inundaciones ante eventos meteorológicos extremos. El Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), dispone de una red compuesta por 3 estaciones meteorológicas y 1 estación hidrométrica, en operación en el año 2017, las cuales tienen influencia en el área de la cuenca en análisis.

En tal sentido, mediante el análisis regional se estiman factores de frecuencia asociados al área de drenaje del sitio de interés y a diversos períodos de retorno. Previo al análisis regional, se aplican diversas curvas envolventes, con el objeto de estimar las relaciones existentes en el caudal específico. Para el trazo y análisis de los modelos que se aplican, se utilizan los software estadísticos HIDROESTA v.2 y AFA v.1.1.

## Desarrollo del tema

La cuenca del río Coyolate se ubica en el suroccidente de la república de Guatemala, en las coordenadas geográficas 91° 10 '05" longitud Oeste y 14° 19' 52" latitud Norte, con una altitud promedio de 1,200 msnm. Su extensión territorial es de 1,734.42 km<sup>2</sup> y forma parte de las 18 cuencas que drenan a la vertiente del océano Pacífico, identificada con el numeral 1.10, de acuerdo al Atlas Hidrológico (INSIVUMEH, 2005).

## Serie de tiempo

Se obtienen las series de tiempo de caudales máximos anuales, correspondientes a 12 estaciones hidrométricas propiedad de INSIVUMEH. Posteriormente se verifican sus propiedades, tales como longitud (en años), consistencia, homogeneidad (pruebas de Helmert, t Student y Cramer) e independencia (prueba de Anderson), las cuales son indispensables para realizar el análisis de frecuencia y por ende, regional.

## Curvas envolventes

En este caso, la curva envolvente relaciona el caudal específico (máximo) con el área de drenaje, para lo cual se aplican los siguientes modelos:

Envolvente mundial de Lowry, citado por Aparicio (2001).

$$q = C/(A+259)^{0.85} \quad (1)$$

Envolvente mundial de Creager C = 100 y envolvente nacional de Creager C = 50, citado por Orozco (2006).

$$Q_{max} = 1.3C(A/2.59)^{0.94}A - 0.0048 \quad (2)$$

Envolvente nacional citada por INSIVUMEH (2004).

$$(2004). q = 155A^{-0.55} \quad (3)$$

Envolvente regional citada por INSIVUMEH (2005).

$$(2004). q = 70A^{-0.45} \quad (4)$$

Envolvente del huracán Mitch citada por López (1999).

$$(1999). q = 104A^{-0.70} \quad (5)$$

En todos los casos, q = caudal específico máximo (m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>) y A = área de la cuenca (km<sup>2</sup>). Los modelos ploteados se muestran en la figura 1.

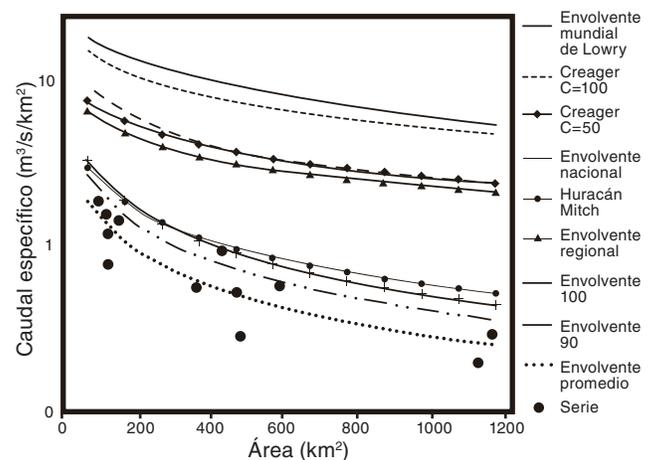


Figura 1. Curvas envolventes y caudales específicos observados.

Se deduce que los caudales específicos (máximos), observados en la región hidrológica donde se ubica la cuenca hidrográfica del río Coyolate, no exceden la curva envolvente generada por la envolvente estimada para el huracán Mitch, evento meteorológico extremo, suscitado en el territorio nacional, en octubre de 1998.

### Análisis regional

El análisis regional de crecidas es netamente estadístico en su concepción, consiste en realizar el análisis de frecuencia de series de crecidas máximas anuales, de estaciones hidrométricas que pertenecen o se clasifican en una región que se considera homogénea. El objetivo de este análisis es estimar factores de frecuencia (asociados a diversos períodos de retorno), para cada modelo probabilístico. En tal sentido, al obtener resultados consistentes, se puede estimar caudales máximos en cualquier sitio de interés de la cuenca donde no se disponga de información, mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{max} = QI * KTr \quad (6)$$

donde:  $Q_{max}$  = caudal máximo instantáneo asociado a un período de retorno ( $m^3/s$ ).

$QI$  = caudal índice ( $m^3/s$ ).

$KTr$  = factor de frecuencia.

El factor de frecuencia se estima para las series de caudales máximos instantáneos, ajustando a las curvas teóricas de frecuencia los valores ponderados, es decir, la longitud de cada serie sobre el total. Uno de los objetivos es generar información de utilidad para el análisis y propuestas del sistema de alerta temprana contra inundaciones, para lo cual se realizan comparaciones entre las crecidas a partir de períodos de retorno de 2 años.

La selección del modelo probabilístico de mejor ajuste a las series de tiempo, se realiza mediante estimación de indicadores de eficiencia, en este caso, el error cuadrático y el error estándar de ajuste. En tal sentido, se procede a asignar la posición relativa de cada modelo, para lo cual el modelo probabilístico que posee el menor error, se le asigna la posición número 1.

El caudal índice equivale al promedio aritmético de la serie de caudales máximos anuales, al plotearlo en función del área de cada estación, provee una ecuación potencial de la forma

$$QI = 101.91 A^{0.20} \quad (7),$$

con un coeficiente de determinación ( $r^2$ ) de 0.19, como se muestra en la figura 2. Este coeficiente mejora significativamente cuando se obtiene la relación caudal específico en función del área, mostrado en la figura 1.

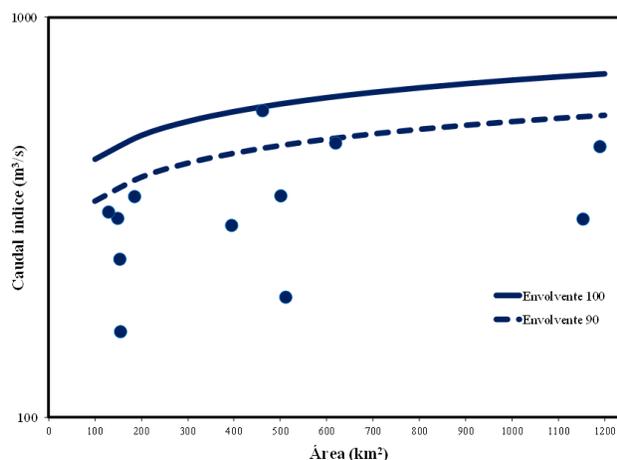


Figura 2. Caudal índice en función del área.

Al analizar el caudal específico en función del área, la ecuación que se deduce es

$$QI = 101.91 A^{-0.80} \quad (8),$$

con un coeficiente de determinación ( $r^2$ ) de 0.79, mejorando significativamente el ajuste con relación al modelo donde se analiza el caudal índice en función del área.

Del análisis regional, mediante la ponderación de las series estandarizadas de las estaciones hidrométricas y ajustadas a los modelos, se obtienen factores de frecuencia similares a los obtenidos por INSIVUMEH (2005). Se observa cierta variabilidad de los factores de frecuencia, por lo que al aplicar el error cuadrado y error estándar de ajuste, se deduce que las series se ajustan de mejor forma a los modelos Log Pearson III ML, Log Normal ML, Log Pearson III, Pearson III, Gumbel y Log Normal. En la tabla I, se ilustran los factores de frecuencia que se estiman.

Tabla I. Factores de frecuencia estimados del análisis regional mediante el caudal específico.

Período de retorno	Gumbell	Pearson III	Galton
2	0.56	0.49	0.48
5	1.06	0.95	0.90
10	1.39	1.29	1.26
25	1.81	1.69	1.80
50	2.13	2.08	2.29

Log Pearson III	Galton ML	Log Pearson III ML
0.46	0.48	0.36
0.87	0.91	0.71
1.27	1.28	1.07
1.90	1.84	1.71
2.49	2.34	2.36

Los caudales máximos estimados al utilizar los modelos estadísticos que presentan mejor ajuste a las series temporales en análisis son estimados para períodos de retorno de 2 a 50 años. Es factible la estimación de eventos con períodos de retorno mayores a estos valores, siempre que se cumpla con el Principio de Parsimonia. En la figura 3, se muestran los caudales máximos estimados mediante el modelo Log Pearson III ML (el cual presenta el mejor ajuste), para el sitio donde se ubica la estación hidrométrica puente Coyolate.

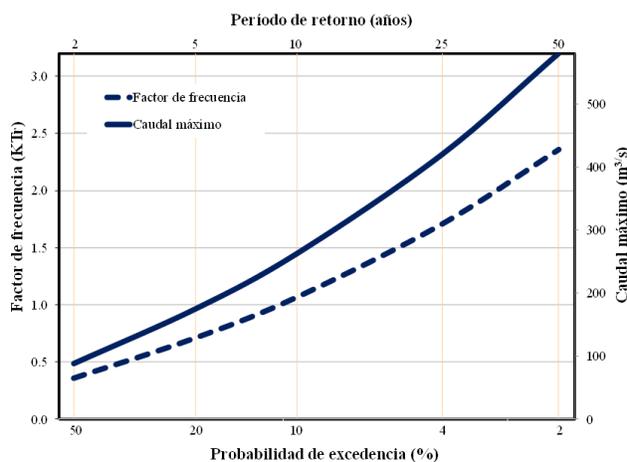


Figura 3. Caudales máximos anuales estimados en la estación hidrométrica puente Coyolate.

### Síntesis conclusiva

La relación del área en función del caudal índice muestra que existe un coeficiente de determinación bajo, el cual coincide con el estudio realizado por INSIVUMEH (2005). Esto se debe a que las series

analizadas poseen valores con cierta incertidumbre en su deducción. El coeficiente de determinación aumenta significativamente cuando se analiza la relación del área en función del caudal específico, que coincide con la mayoría de las ecuaciones generadas de curvas envolventes.

En la figura 1, se muestran las envolventes mundiales de Lowry y Creager, que se consideran para cuencas con mayor régimen en el escurrimiento superficial. La envolvente nacional, regional y la de Creager (C = 50), propuestas para las condiciones biofísicas del país presentan diferencias no significativas. En el caso de la envolvente generada por el huracán Mitch es similar a la envolvente 100. Es importante mencionar, que los modelos estadísticos ayudan a comprender de mejor manera el comportamiento de las crecidas. La interpretación de los caudales máximos estimados dependerá del criterio estadístico hidrológico, de las condiciones biofísicas de la cuenca en análisis, del algoritmo del modelo en particular y de los objetivos del proyecto a implementar.

### Referencias bibliográficas

Aparicio, M. (2001). *Fundamentos de hidrología de superficie*. México, Limusa

INSIVUMEH. (2005). *Atlas Hidrológico*. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.

López, F. (1999). *Evaluación hidrológica de las crecidas provocadas por el paso del huracán Mitch en Guatemala*. (correspondencia personal)

Orozco, E. (2006). *Curso hidroeléctricas: caudales extremos*. (correspondencia personal)

### Información del autor

Ingeniero Agrónomo con Especialización en Planificación de Recursos Hídricos, egresado de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Maestro en Hidrología egresado de la Universidad de Costa Rica y Maestro en Recursos Hidráulicos egresado de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

# APROXIMACIÓN A LA DISTRIBUCIÓN NORMAL DE LOS REGISTROS DE HUMEDAD RELATIVA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA DURANTE EL PERÍODO 1978 A 1983, UTILIZANDO LA PRUEBA DE KOLGOMOROV SMIRNOV

*Approach to the Normal Distribution of Records of Relative Humidity in the City of Guatemala During the Period 1978 to 1983, Using the Proof of Kolgomorov Smirnov*

**Edwin Adalberto Bracamonte Orozco**

Mtro. en Investigación de Operaciones

Correspondencia al autor: edwinbracamonte@yahoo.com

Recibido: 24 de mayo 2018 | Revisado: 26 de mayo 2018 | Aprobado: 01 de junio 2018

## Resumen

El estudio que se presenta se basa en análisis de datos obtenidos de los registros diarios del porcentaje de Humedad Relativa documentados, por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología –INSIVUMEH- para el período de 1978 a 1983.

La información se organiza en distribuciones de frecuencias mensuales y a partir de ello se somete a prueba la hipótesis para verificar si el porcentaje de Humedad Relativa se ajusta a una distribución Normal.

Los resultados de la prueba de Kolmogorv-Smirnov y las tendencias mensuales del comportamiento de los datos permiten validar la hipótesis planteada a un nivel de significancia del 5 %.

Se identifica la conveniencia de replicar el análisis en el período 2010 al 2015, para verificar si en el transcurso del tiempo se mantiene este comportamiento.

## Palabras clave

Kolmogorov-Smirnov, distribución normal, probabilidad, humedad relativa.

## Abstract

*The study is based on the analysis of data obtained from the daily records of the Relative Humidity percent of the National Institute of Seismology, Volcanology, Meteorology and Hydrology (INSIVUMEH) for the period from 1978 to 1983.*

*The information is organized into monthly frequency distributions and from there, the hypothesis is tested to verify if the percent Relative Humidity resembles to a Normal distribution.*

*The obtained results from the Kolmogorv-Smirnov test and the monthly tendencies data allow us to validate the hypothesis raised at a significance level of 5 %.*

*The study identified the convenience of replicating the analysis in the period from 2010 to 2015, to verify if during time this behavior is maintained.*

## Keywords

*Kolmogorov-Smirnov, normal distribution, probability, relative humidity.*

## Introducción

Dentro de los métodos estadísticos que permiten validar si una variable aleatoria puede aproximarse a una distribución de probabilidad en particular, se tiene las pruebas de Bondad de Ajuste, dentro de las cuales destaca la Prueba de Kolmogorv-Smirnov.

El propósito de este ensayo es establecer si la humedad relativa registrada mensualmente en la ciudad de Guatemala, durante los años comprendidos entre 1978 a 1983, sigue el comportamiento de una distribución normal, la misma debido a sus variaciones en el tiempo, puede considerarse como una variable aleatoria.

A continuación se describen los fundamentos probabilísticos teóricos de la prueba de Kolmogorv-Smirnov, utilizados para la verificación de la hipótesis “los registros de humedad relativa en la ciudad de Guatemala se aproximan a una distribución normal”. Y se presentan las curvas de frecuencia relativa observada y la probabilidad estimada utilizando la distribución normal.

### Aproximación a la distribución normal

La prueba de Bondad de Ajuste considerada por Kreiszig (1978) entre las pruebas no paramétricas, es utilizada para establecer si la distribución de datos observados en la ocurrencia de una variable aleatoria discreta o continua, puede aproximarse a una distribución de probabilidad particular.

Uno de los métodos estadísticos aplicados en la prueba de bondad de ajuste, es el de Kolmogorv-Smirnov (K-S), el interés de esta prueba, como indican Sidney y Castellan (1995) está “en el grado de acuerdo entre la distribución de un conjunto de valores muestreados (puntuaciones observadas) y alguna distribución teórica específica” (p. 73). Para realizar la prueba se compara la distribución de frecuencias acumuladas observadas con la distribución de frecuencias acumuladas que pudieran ocurrir dada la distribución teórica. El estadístico de prueba está dado por:

$$D = \max|F_o - F_e| \quad (1)$$

donde:

$F_o$  = frecuencia acumulada observada

$F_e$  = frecuencia acumulada calculada con la distribución de probabilidad

El valor crítico de la prueba es:

$$K - S(5\%, n) = \frac{1.645}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

La distribución normal es una de las distribuciones de probabilidad más utilizada, debido a que muchos fenómenos o experimentos se comportan de acuerdo a ella y otros que no se comportan así, pueden ser aproximados.

De acuerdo a Walpole, Myers, Myers & Ye (2012) y Devore (2010), la función de densidad de probabilidad de la distribución normal está dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (3)$$

donde:

$$-\infty \leq x \leq \infty, \quad -\infty \leq \mu \leq \infty, \quad \sigma > 0$$

y su función de distribución acumulada:

$$F(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{s-\mu}{\sigma}\right)^2} ds \quad (4)$$

puede determinarse por:

$$P(X \leq x) = \Phi\left(z = \frac{x-\mu}{\sigma}\right) \quad (5)$$

Con la que se calcula la probabilidad acumulada del porcentaje de humedad relativa para cada uno de los meses durante el período de evaluación (1978 a 1983).

Al comparar la frecuencia relativa acumulada observada con la probabilidad obtenida utilizando la distribución normal, se construyen las gráficas que se muestran a continuación:

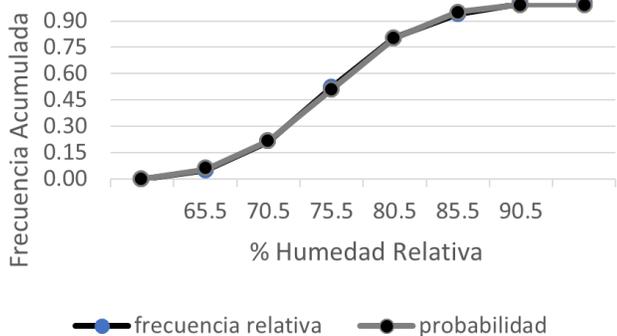


Figura 1. Distribución del porcentaje de humedad relativa mes de enero período 1978 a 1985.

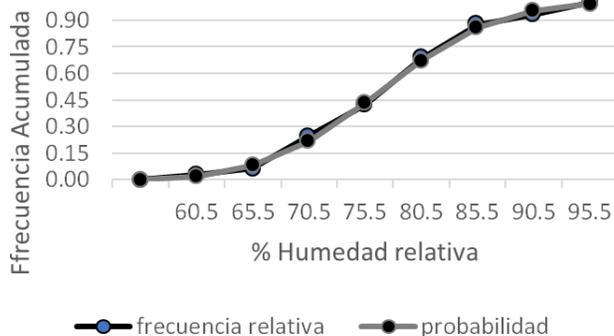


Figura 4. Distribución del porcentaje de humedad relativa mes de abril período 1978 a 1985.

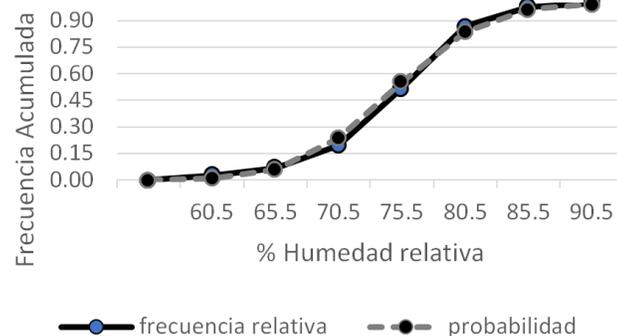


Figura 2. Distribución del porcentaje de humedad relativa mes de febrero período 1978 a 1985.

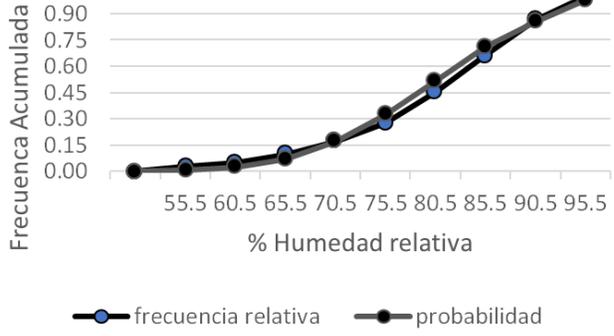


Figura 5. Distribución del porcentaje de humedad relativa mes de mayo período 1978 a 1985.

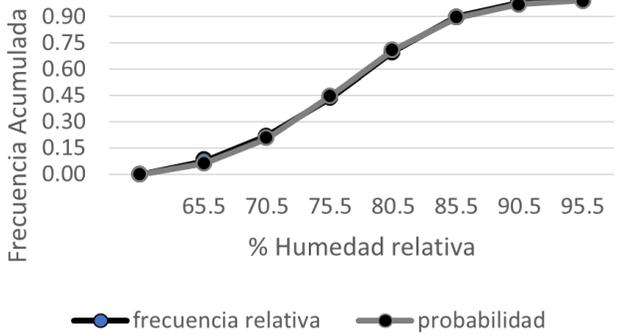


Figura 3. Distribución del porcentaje de humedad relativa mes de marzo período 1978 a 1985.

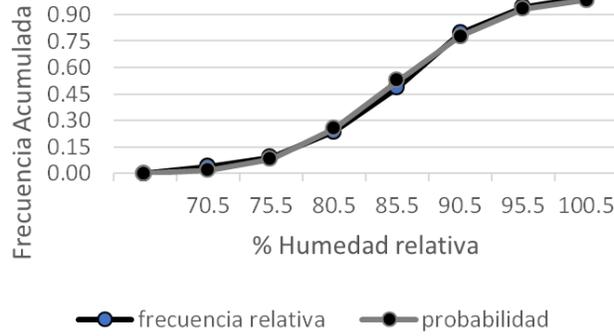


Figura 6. Distribución del porcentaje de humedad relativa mes de junio período 1978 a 1985.

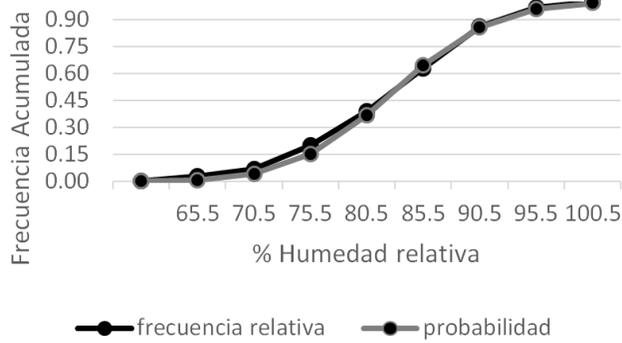


Figura 7. Distribución del porcentaje de humedad relativa mes de julio período 1978 a 1985.

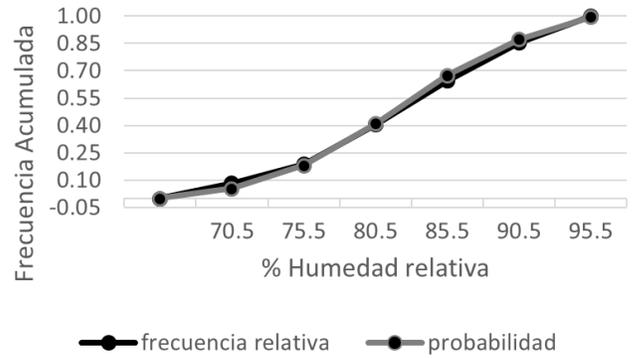


Figura 10. Distribución del porcentaje de humedad relativa mes de octubre período 1978 a 1985.

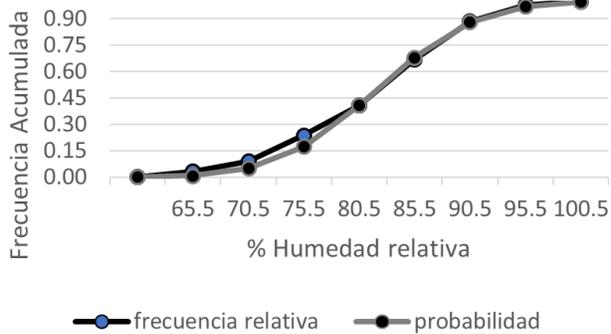


Figura 8. Distribución del porcentaje de humedad relativa mes de agosto período 1978 a 1985.

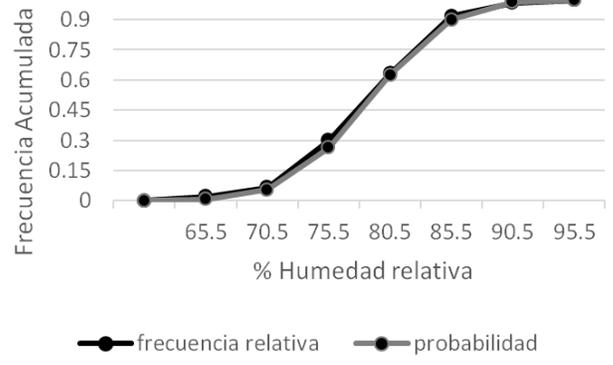


Figura 11. Distribución del porcentaje de humedad relativa mes de noviembre período 1978 a 1985.

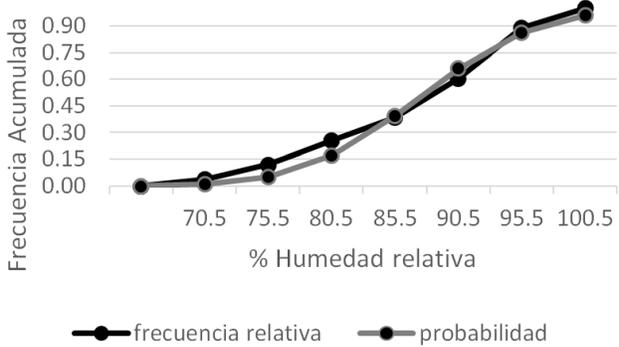


Figura 9. Distribución del porcentaje de humedad relativa mes de septiembre período 1978 a 1985.

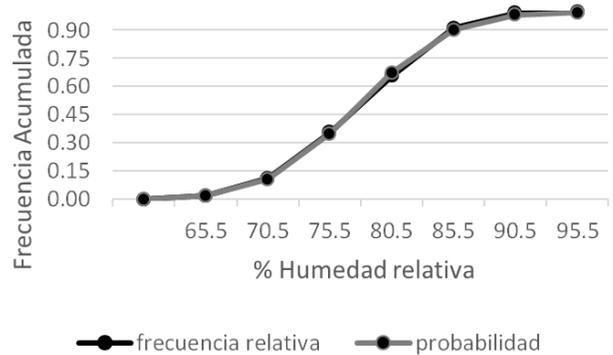


Figura 12. Distribución del porcentaje de humedad relativa mes de diciembre período 1978 a 1985.

Los resultados obtenidos al aplicar la prueba de Kolmogorov-Smirnov se muestran en la tabla I.

Tabla I. *Comparación entre la diferencia máxima y valor crítico K-S*

Mes	Diferencia máxima	K-S
Enero	0.0112	0.0876
Febrero	0.0426	0.0899
Marzo	0.0183	0.0865
Abril	0.0298	0.0872
Mayo	0.0668	0.0854
Junio	0.0372	0.0869
Julio	0.0489	0.0854
Agosto	0.0632	0.0858
Septiembre	0.0835	0.0867
Octubre	0.0300	0.0854
Noviembre	0.0370	0.0876

### Síntesis conclusiva

Como puede observarse en las gráficas, se aprecia un buen ajuste de los datos de humedad relativa a distribución normal en cada mes durante el período analizado.

Al realizar la prueba de Kolmogorov-Smirnov, se puede establecer que el porcentaje de humedad relativa se ajusta a la distribución normal, al verificar para cada mes en evaluación, si la diferencia entre la frecuencia acumulada y la probabilidad acumulada es menor que el valor crítico K-S.

Para profundizar en el estudio acerca del tema, se considera conveniente replicar el análisis para un período más cercano, por ejemplo del año 2010 al 2015, con la finalidad de verificar si el porcentaje de humedad relativa en la ciudad de Guatemala se ajusta al comportamiento de una distribución normal.

### Referencias bibliográficas

Devore, J. L., (2010) *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. Cengage Learning: México.

Kreyszig, E., (1978) *Introducción a la Estadística Matemática principios y métodos*. Limusa: México.

Sidney, S. y Castellan, N. J. (1995). *Estadística no paramétrica*. Editorial Trillas: México.

Walpole. R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., Ye, K. (2012) *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. Editorial Pearson Education: México.

### Información del autor

Ingeniero Industrial, Edwin Adalberto Bracamonte Orozco, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1987.

Magister Scientiae en Investigación de Operaciones, Facultad de Ingeniería de Sistemas, Informática y Ciencias de la Computación, Universidad Francisco Marroquín, 1997.

Afiliación laboral: Profesor titular de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.



# DOCTORADO

---

CAMBIO CLIMÁTICO Y SOSTENIBILIDAD

## MODELO PREDICTIVO DEL COMPORTAMIENTO DE NUTRIENTES EN UN CULTIVO MIXTO DE ALGAS CHLOROPHYTA

*Predictive Model of Nutrient Behavior in a Mixed Cultivation of Chlorophyta Algae*

**Félix Alan Douglas Aguilar Carrera**

Dr. en Cambio Climático y Sostenibilidad

Correspondencia al autor: aguilarfelix2013@gmail.com

Recibido: 08 de julio 2017 | Revisado: 21 de agosto 2017 | Aprobado: 28 de agosto 2017

Asesorado por: Dr. en Ciencias Técnicas Agropecuarias **Tomás Antonio Padilla Cámara** tpadillacambara@hotmail.com

### Resumen

Los procesos de fitorremediación utilizando algas clorofitas en aguas residuales han sido ampliamente impulsados en el período de 2006 al 2017, sin embargo, no se tienen modelos que permitan establecer el comportamiento de reducción de nutrientes que pueden alcanzar.

En el presente estudio, utilizando un diseño experimental factorial fraccionado, con pruebas de ANOVA multivariable, se determina un modelo del comportamiento de reducción de fosfato al propiciar el desarrollo natural de un cultivo mixto de algas clorofitas en el agua residual del efluente de un filtro percolador (tratamiento aerobio), obteniendo un modelo que explica en un 96.85 % el comportamiento de fosfato, dando como resultado una remoción del 31 % de su concentración inicial.

El estudio muestra la necesidad de continuar los procesos de investigación, que permitan desarrollar criterios técnicos para el diseño de fotobiorreactores, para reducir las concentraciones de nutrientes de las plantas de tratamiento de agua residual municipal.

### Palabras clave

Agua residual, eutrofización, fitorremediación, fosfato, nutrientes.

### Abstract

*The phytoremediation using mixed cultures of Chlorophyta algae in wastewater have been widely promoted since 2006 to 2017, however, there are no models that allow establishing the reduction behavior of nutrients that can be achieved.*

*In the present paper, using a fractional factorial experimental study, with multivariable ANOVA tests, a model of the phosphate reduction behavior was determined by promoting the natural development of a mixed cultures of Chlorophyta algae in the wastewater of the effluent of a trickling filter (aerobic treatment), obtaining a model that explains in 96.85 % the behavior of phosphate, resulting in a removal of 31 % of its initial concentration.*

*The study shows the need to continue the research processes, which allow the development of technical criteria for the design of photobioreactors, to reduce the nutrient concentrations of the municipal wastewater treatment plants.*

### Keywords

*Residual water, eutrophication, phytoremediation, phosphate, nutrients.*

## Introducción

Las algas clorofitas según lo expresa Ruiz Martínez (2011), son organismos que deben su color a la clorofila tipo a y b, siendo la especie más frecuentemente encontrada en aguas residuales de origen doméstico, las del orden de las volvocales (organismos de agua dulce provistos de flagelos) y las clorococales (microorganismos desprovistos de flagelos) (pág. 12).

Algunas especies de algas clorofitas se han investigado dentro del concepto de fitorremediación de agua residual, siendo estas: “la *Chlorella* sp., *Chlorella sorokiniana*, *Chlorella vulgaris*, y *Scenedesmus*, las cuales se han producido en cultivos individuales, mixtos e inmovilizados” (Sriram y Seenivasan, 2012, pág. 10).

El desarrollo de cultivos de algas clorofitas representa “una fuente potencial del empleo de la biomasa obtenida como alimento, extracción de compuestos químicos y pigmentos” (Salazar González, 2009, pág. 18).

La aplicación de la fitorremediación en aguas residuales no es un concepto nuevo, ya que se han realizado diversos estudios en países como: Estados Unidos, España, Alemania, India, Inglaterra, Egipto y Corea del Sur, y a nivel de América Latina, en México, Colombia y Venezuela.

Estos estudios han tenido resultados bastante alentadores en cuanto al nivel de absorción de nutrientes, habiéndose identificado que “las algas clorofitas tienen una capacidad muy buena de absorción de nitrógeno y fósforo” (Sriram y Seenivasan, 2012, pág. 10); sin embargo, estos estudios no pueden ser conclusivos, dado que se han realizado en condiciones controladas de crecimiento y realizando la inoculación de cepas de algas previamente adaptadas a aguas residuales artificiales.

Por lo anterior, aún no se tiene información relevante que permita establecer la factibilidad de alcanzar niveles de remoción de nutrientes aceptables en cultivos que se desarrollen en forma natural en aguas residuales no artificiales, y cómo las concen-

traciones de nutrientes iniciales pudieran afectar la eficiencia de estos procesos de fitorremediación.

El presente artículo documenta la propuesta de un modelo del comportamiento de los nutrientes en un cultivo mixto de algas clorofitas desarrolladas de forma natural en el efluente del filtro percolador de una planta de tratamiento de agua residual, resaltando que estos procesos de fitorremediación pueden ser utilizados para mitigar los efectos de eutrofización de los cuerpos de agua que reciben los efluentes de estas plantas de tratamiento de agua residual.

## Desarrollo del estudio

El estudio se realiza con un enfoque cuantitativo correlacional, midiendo el efecto que sobre las variables dependientes (nutrientes en el afluente) tienen las variables independientes (nutrientes en el influente) a través de procedimientos estadísticos multivariados.

El punto de partida de este estudio es la caracterización del fitoplancton realizado por Guerra Quemé, Zea Cano y Aguilar (2015), en el efluente de la planta de tratamiento de agua residual de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), en el que establecen que se pueden desarrollar de forma natural algas *Chlorella* de forma mayoritaria.

Con base en este resultado, se desarrolla un estudio experimental factorial fraccionado, con pruebas de ANOVA multivariable, con el objetivo de establecer el nivel de correlación entre las concentraciones iniciales de nitrógeno amoniacal, nitrito, nitrato y fosfato sobre el nivel de absorción de estas concentraciones al aplicar procesos de fitorremediación de nutrientes en el efluente de las estaciones depuradoras con filtros percoladores.

Para aplicar el estudio experimental factorial fraccionado, se realiza una revisión de la caracterización de nutrientes que se ha realizado en diversos estudios en la planta de tratamiento de agua residual de la USAC, con el objetivo de establecer el valor máximo y mínimo de las concentraciones de nutrientes en el cual debe desarrollarse el estudio

experimental factorial fraccionado, obteniéndose en este proceso de análisis los datos mostrados en la tabla siguiente.

Tabla I. *Factores experimentales considerados en el diseño del experimento.*

Nombre	Unidades	Tipo	Papel	Mínimo	Máximo
A: Nitrógeno amoniacal inicial	mg/l	Continuo	Controlable	0.78	13.57
B: Fosfato inicial	mg/l	Continuo	Controlable	19.0	204.0
C: Nitrato inicial	mg/l	Continuo	Controlable	76.0	116.0
D: Nitrito inicial	mg/l	Continuo	Controlable	0.1	1.55

Fuente: monitoreo de calidad de agua realizado por Argueta, Blandón y Aguilar (2016, pág. 61).

Para determinar el efecto de las concentraciones iniciales sobre el nivel de absorción de los cultivos mixtos de algas *Chlorella* generadas de forma natural en aguas residuales provenientes de la salida de filtros percoladores, se plantea un diseño experimental factorial 24 resolución V+ (estima todos los efectos principales e interacciones dobles).

El diseño experimental propuesto es del tipo multifactorial en el cual se plantean dos factores (variables independientes a manipular), siendo estos factores:

- a) Concentración de fosfato inicial.
- b) Concentración de nitrógeno inicial.

El factor 1 se trabaja con dos niveles:

Nivel 1: fosfato con valor máximo

Nivel 2: fosfato con valor mínimo

El factor 2, se trabaja con seis niveles, según se indica a continuación:

Nivel 1: nitrito con valor máximo

Nivel 2: nitrito con valor mínimo

Nivel 3: nitrato con valor máximo

Nivel 4: nitrato con valor mínimo

Nivel 5: nitrógeno amoniacal con valor máximo

Nivel 6: nitrógeno amoniacal con valor mínimo

El agrupamiento de estos factores, deriva en 16 tratamientos, realizándose para cada uno de ellos con tres réplicas, lo que representa 48 muestras utilizadas para el desarrollo del modelo.

Es importante indicar que para el desarrollo del estudio se utilizan las 48 muestras obtenidas por Argueta, Blandón y Aguilar (2016), quienes modifican las concentraciones iniciales de las muestras para que estas alcancen los valores máximos, utilizando “di fosfato mono sódico, cloruro de amonio, nitrato de potasio y nitrito de sodio” (pág. 41), según las concentraciones iniciales indicadas en las tablas II, III y IV.

Tabla II. *Valores de los tratamientos utilizados para el desarrollo del modelo, resultados de la réplica uno.*

Tratamiento	NH4+	PO4-3	NO3-	NO2-	NH4+	PO4-3	NO3-	NO2-
	Inicial	Inicial	Inicial	Inicial	Final	Final	Final	Final
1	0.78	19.00	76.00	1.55	0.74	7.08	36.19	0.05
2	13.57	19.00	76.00	1.55	6.93	7.08	99.52	0.16
3	0.78	204.00	76.00	1.55	1.81	87.04	45.24	0.96
4	13.57	204.00	76.00	1.55	28.86	150.35	57.30	0.58
5	0.78	19.00	116.00	1.55	0.74	9.26	88.78	1.07
6	13.57	19.00	116.00	1.55	6.93	7.08	65.10	0.11
7	0.78	204.00	116.00	1.55	1.59	158.26	50.31	1.49
8	13.57	204.00	116.00	1.55	8.08	164.59	34.03	0.00
9	0.78	19.00	76.00	0.10	0.30	5.12	57.30	2.14
10	13.57	19.00	76.00	0.10	9.81	8.17	72.38	0.59
11	0.78	204.00	76.00	0.10	1.18	133.73	45.24	1.82
12	13.57	204.00	76.00	0.10	8.66	145.60	63.33	1.36
13	0.78	19.00	116.00	0.10	0.07	5.44	59.18	2.73
14	13.57	19.00	116.00	0.10	5.77	41.38	47.35	0.64
15	0.78	204.00	116.00	0.10	1.40	192.29	32.55	6.27
16	13.57	204.00	116.00	0.10	6.64	193.87	59.18	0.27

Fuente: monitoreo de calidad de agua realizado por Argueta, Blandón y Aguilar (2016, pág. 140).

Tabla III. *Valores de los tratamientos utilizados para el desarrollo del modelo, resultados de la réplica dos.*

Tratamiento	NH4+	PO4-3	NO3-	NO2-	NH4+	PO4-3	NO3-	NO2-
	Inicial	Inicial	Inicial	Inicial	Final	Final	Final	Final
1	0.78	19.00	76.00	1.55	0.74	6.81	18.10	0.80
2	13.57	19.00	76.00	1.55	9.24	5.99	108.57	0.61
3	0.78	204.00	76.00	1.55	1.48	124.24	54.29	1.07
4	13.57	204.00	76.00	1.55	12.41	150.35	51.27	0.80
5	0.78	19.00	116.00	1.55	0.30	13.61	76.94	1.23
6	13.57	19.00	116.00	1.55	10.10	14.70	68.06	0.32
7	0.78	204.00	116.00	1.55	1.33	147.18	38.47	1.04
8	13.57	204.00	116.00	1.55	7.50	157.47	47.35	0.16
9	0.78	19.00	76.00	0.10	0.44	2.99	66.35	1.64
10	13.57	19.00	76.00	0.10	3.46	7.08	57.30	0.41
11	0.78	204.00	76.00	0.10	1.40	126.61	27.14	1.36
12	13.57	204.00	76.00	0.10	6.93	150.35	63.33	0.27
13	0.78	19.00	116.00	0.10	0.18	8.71	35.51	2.27
14	13.57	19.00	116.00	0.10	6.93	34.84	47.35	0.09
15	0.78	204.00	116.00	0.10	0.70	192.29	112.45	5.23
16	13.57	204.00	116.00	0.10	6.64	193.08	71.02	0.73

Fuente: monitoreo de calidad de agua realizado por Argueta, Blandón y Aguilar (2016, pág. 143)

Tabla IV. *Valores de los tratamientos utilizados para el desarrollo del modelo, resultados de la réplica tres.*

Tratamiento	NH4+	PO4-3	NO3-	NO2-	NH4+	PO4-3	NO3-	NO2-
	Inicial	Inicial	Inicial	Inicial	Final	Final	Final	Final
1	0.78	19.00	76.00	1.55	0.74	6.81	51.27	0.80
2	13.57	19.00	76.00	1.55	8.66	5.99	96.51	0.85
3	0.78	204.00	76.00	1.55	1.07	124.24	48.25	1.33
4	13.57	204.00	76.00	1.55	7.50	150.35	36.19	0.43
5	0.78	19.00	116.00	1.55	0.74	13.61	71.02	1.60
6	13.57	19.00	116.00	1.55	10.39	14.70	82.86	0.53
7	0.78	204.00	116.00	1.55	0.96	147.18	45.87	1.07
8	13.57	204.00	116.00	1.55	8.08	157.47	59.18	0.32
9	0.78	19.00	76.00	0.10	0.30	2.99	105.56	1.82
10	13.57	19.00	76.00	0.10	11.55	7.08	15.08	0.23
11	0.78	204.00	76.00	0.10	0.81	126.61	36.19	1.73
12	13.57	204.00	76.00	0.10	8.66	150.35	60.32	0.91
13	0.78	19.00	116.00	0.10	1.85	8.71	32.55	2.27
14	13.57	19.00	116.00	0.10	5.77	34.84	44.39	0.73
15	0.78	204.00	116.00	0.10	0.70	192.29	71.02	5.05
16	13.57	204.00	116.00	0.10	6.93	193.08	35.51	0.09

Fuente: monitoreo de calidad de agua realizado por Argueta, Blandón y Aguilar (2016, pág. 146)

Cada muestra que se utiliza para el diseño experimental se coloca al aire libre, en condiciones de temperatura e iluminación natural.

El diseño y análisis estadístico se realiza con el software Statgraphics ®, utilizando la aplicación de diseño de experimentos del tipo factorial completo (2<sup>K</sup>).

El resultado del análisis experimental con base en los datos de las tablas II, III y IV, se somete a pruebas de normalidad y análisis de ANOVA multivariante con su respectivo diagrama de Pareto, con el objetivo de analizar la incidencia de los factores y efectos principales de la variable independiente sobre la variable dependiente.

Posteriormente, cada variable se somete a un análisis de ANOVA multifactorial y análisis de modelos de regresión múltiple, obteniéndose los valores del cuadrado medio del error (CME), R-cuadrado ajustado, Cp. de Mallows, valor de criterio de información Bayesiano de Schwarz-Bayesian (SBIC) y criterio de información de Akaike, los cuales permiten definir el modelo que mejor responde al comportamiento final de su concentración inicial con el menor sesgo minimizando del error cuadrado medio con base en los criterios de información indicados.

### Resultados obtenidos

El análisis ANOVA que se realiza a la concentración de nitrógeno amoniacal final se muestra en la tabla V, observándose que solo el nitrógeno amoniacal inicial tiene un valor de significancia menor a 5 %, indicando esto que esta variable es significativamente diferente a cero con un nivel de confianza del 95 %, por lo que ésta sí ejerce una influencia sobre la concentración de nitrógeno amoniacal final.

En la tabla VI, se puede observar el resultado del ANOVA que se aplica a la concentración de fosfato final, donde se aprecia que las cuatro variables evaluadas (fosfato, nitrito, nitrato y nitrógeno amoniacal inicial) tienen un efecto significativo sobre la concentración de fosfato final (significancia menor a 5 %).

**Tabla V. Análisis de varianza para nitrógeno amoniacal final.**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl.	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-p
A: nitrógeno amoniacal inicial	758.907	1	758.907	76.26	<0.050
B: fosfato inicial	17.089	1	17.089	1.72	0.199
C: nitrato inicial	23.185	1	23.185	2.33	0.136
D: nitrito inicial	33.067	1	33.067	3.32	0.077
AB	4.118	1	4.118	0.41	0.524
AC	21.951	1	21.951	2.21	0.146
AD	24.112	1	24.112	2.42	0.129
BC	15.278	1	15.278	1.54	0.224
BD	8.501	1	8.501	0.85	0.362
CD	3.808	1	3.808	0.38	0.540
Bloques	13.179	2	6.590	0.66	0.522
Error total	348.301	35	9.951		
Total (corr.)	1271.500	47			

**Tabla VI. Análisis de varianza para fosfato final.**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl.	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-p
A: nitrógeno amoniacal inicial	1909.410	1	1909.410	19.540	<0.050
B: fosfato inicial	244931.000	1	244931.000	2505.970	<0.050
C: nitrato inicial	7573.180	1	7573.180	77.480	<0.050
D: nitrito inicial	2214.900	1	2214.900	22.660	<0.050
AB	239.235	1	239.235	2.450	0.127
AC	91.301	1	91.301	0.930	0.340
AD	9.310	1	9.310	0.100	0.759
BC	2345.560	1	2345.560	24.000	<0.050
BD	979.213	1	979.213	10.020	<0.050
CD	1254.200	1	1254.200	12.830	<0.050
Bloques	16.600	2	8.300	0.080	0.919
Error total	3420.860	35	97.739		
Total (corr.)	264984.000	47			

En la tabla VII, se presenta el resultado del ANOVA que se aplica a la concentración de nitrato final, donde se observa que ninguna de las variables presenta un efecto significativo sobre la concentración de nitrato final (significancia menor a 5 %).

En la tabla VIII, se presenta el resultado del ANOVA para la concentración de nitrito final, donde se observa que las cuatro variables analizadas (nitrógeno amoniacal, fosfato, nitrato y nitrito inicial) muestran un efecto significativo sobre la concentración de nitrito final (significancia menor a 5 %).

**Tabla VII. Análisis de varianza para nitrato final.**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl.	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-p
A: nitrógeno amoniacal inicial	389.367	1	389.367	0.80	0.3763
B: fosfato inicial	1388.79	1	1388.79	2.86	0.0994
C: nitrato inicial	0.302419	1	0.302419	0.00	0.9802
D: nitrito inicial	266.445	1	266.445	0.55	0.4634
AB	116.345	1	116.345	0.24	0.6273
AC	1232.72	1	1232.72	2.54	0.1198
AD	1061.35	1	1061.35	2.19	0.1479
BC	373.469	1	373.469	0.77	0.3861
BD	2298.41	1	2298.41	4.74	<0.050
CD	45.4936	1	45.4936	0.09	0.7612
Bloques	84.5277	2	42.2638	0.09	0.9167
Error total	16969.2	35	484.833		
Total (corr.)	24226.4	47			

**Tabla VIII. Análisis de varianza para nitrito final.**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl.	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-p
A: nitrógeno amoniacal inicial	26.478	1	26.478	64.070	<0.050
B: fosfato inicial	2.363	1	2.363	5.720	<0.050
C: nitrato inicial	3.302	1	3.302	7.990	<0.050
D: nitrito inicial	11.281	1	11.281	27.300	<0.050
AB	1.821	1	1.821	4.410	<0.050
AC	7.529	1	7.529	18.220	<0.050
AD	8.645	1	8.644	20.920	<0.050
BC	0.656	1	0.656	1.590	0.216
BD	1.474	1	1.474	3.570	0.067
CD	2.799	1	2.799	6.770	<0.050
Bloques	0.169	2	0.084	0.200	0.816
Error total	14.464	35	0.413		
Total (corr.)	80.979	47			

A los datos del diseño experimental se les aplica la prueba de rangos múltiples para cada uno de los efectos principales, con el objetivo de establecer cuáles medias son estadísticamente diferentes (supuesto de igualdad de medias) con el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey.

Este análisis demuestra para la media de la variable nitrógeno amoniacal que únicamente la media de la variable nitrógeno amoniacal inicial es estadísticamente diferente (diferencia = 7.953).

El análisis de medias para la variable fosfato final muestra que, las medias de las variables concentración de nitrógeno amoniacal inicial, fosfato inicial, nitrito inicial y nitrato inicial son estadísticamente diferentes (diferencia de: 12.614, 142.867, 25.122 y 13.586, respectivamente).

Para la variable nitrato final, ninguna de las medias de las variables analizadas es estadísticamente diferente (diferencias de: -5.696, -10.758, -0.159, y -4.712, respectivamente).

Finalmente, para la variable nitrito final, se determina que la media de las variables nitrógeno amoniacal inicial y nitrito final son estadísticamente diferentes (diferencia de: 1.485 y 0.970, respectivamente).

Definidas las variables que ejercen un efecto significativo sobre la variable respuesta, se aplica el análisis de regresión múltiple utilizando las variables independientes; concentración de nitrógeno amoniacal inicial (A); concentración de fosfato inicial (B); concentración de nitrato (C); y concentración de nitrito (D).

Para cada una de las variables dependientes se calcula el estadístico “R-Cuadrado ajustado y sin ajustar”, “Cp., de Mallows”, así como los criterios de información de Akaike (AIC), Hannan y Quinn (HQC) y el método Bayesiano de Schwarz-Bayesiano (SBIC), buscando el modelo que minimiza el criterio de información.

En la tabla IX, se observa el resultado del análisis de regresión, que se aplica a 16 modelos para la variable nitrógeno amoniacal final.

Tabla IX. *Análisis de regresión múltiple a modelos para nitrógeno amoniacal final.*

Modelo	CME	R-Cuadrado	R-Cuadrado ajustado	Cp.	Variables Incluidas
1	27.053	0.000	0.000	78.473	
2	11.143	59.686	58.810	6.180	A
3	27.053	2.128	0.000	78.800	B
4	27.053	2.128	0.000	78.202	C
5	26.922	2.601	0.483	77.235	D
6	11.011	61.030	59.298	6.507	AB
7	10.876	61.510	59.799	5.910	AC
8	10.656	62.287	60.611	4.943	AD
9	27.053	4.255	0.000	78.530	BC
10	27.053	4.255	0.000	77.563	BD
11	27.005	4.424	0.176	76.966	CD
12	10.734	62.854	60.321	6.237	ABC
13	10.510	63.631	61.151	5.270	ABD
14	10.371	64.110	61.663	4.673	ACD
15	27.053	6.383	0.000	77.293	BCD
16	10.215	65.454	62.241	5.000	ABCD

De acuerdo al análisis de regresión que se aplica a la variable nitrógeno amoniacal final (tabla IX), el único modelo que podría considerarse apropiado es el que incluye la variable A (nitrógeno amoniacal inicial), derivado del análisis de medias realizado, sin embargo, éste explica únicamente un 59.69 % de su comportamiento.

De acuerdo con el análisis de medias para la variable fosfato (ver tabla X), las cuatro variables pueden ejercer un efecto significativo sobre la concentración de fosfato final, por lo que en el análisis de regresión se evalúan 16 modelos, siendo el modelo que mejor explica el comportamiento de esta variable el que incluye cuatro variables (variable A-nitrógeno amoniacal inicial, variable B-fosfato inicial, variable C-nitrato final y variable D-nitrito final).

Tabla X. *Análisis de regresión múltiple a modelos para fosfato final.*

Modelo	CME	R-Cuadrado	R-Cuadrado ajustado	Cp.	Variables Incluidas
1	5637.970	0.000	0.000	1317.560	
2	5637.970	2.128	0.000	1309.740	A
3	435.951	92.432	92.268	59.193	B
4	5595.900	2.858	0.746	1280.590	C
5	5637.970	2.128	0.000	1308.170	D
6	403.208	93.153	92.848	51.369	AB
7	5637.970	4.255	0.000	1272.770	AC
8	5637.970	4.255	0.000	1300.340	AD
9	277.346	95.290	95.081	22.223	BC
10	396.419	93.268	92.969	49.796	BD
11	5637.970	4.255	0.000	1271.200	CD
12	240.254	96.011	95.739	14.398	ABC
13	362.033	93.989	93.579	41.970	ABD
14	5637.970	6.383	0.000	1263.370	ACD
15	233.311	96.126	95.862	12.826	BCD
16	194.332	96.847	96.553	5.000	ABCD

Este modelo 16 para fosfato, explica en 96.85 % su comportamiento, asimismo el análisis de mejor criterio de información (ver tabla XI) muestra a este modelo con los menores valores de MSE, AIC, HQC y SBIC, por lo que permite proyectar el comportamiento de fosfato en el efluente en un cultivo de algas *Chlorella*.

El análisis de regresión múltiple a los modelos para nitrato final (tabla XII) respalda la información obtenida en el análisis de medias, el cual establece que ninguna de las variables ejerce un efecto significativo sobre la concentración de nitrato final, dado que ninguno de los modelos explica en más de un 8.5 % la variabilidad de nitrato final, por lo que no se recomienda ningún modelo para esta variable.

Tabla XI. *Análisis de mejor criterio de información a los modelos de la variable fosfato final*

Modelo	Coeficientes	MSE	AIC	HQC	SBIC	Variables Incluidas
1	5	194.332	5.478	5.552	5.673	ABCD
2	4	233.311	5.619	5.678	5.775	BCD
3	4	240.254	5.648	5.707	5.804	ABC
4	3	277.346	5.750	5.794	5.867	BC
5	4	362.033	6.058	6.117	6.214	ABD
6	3	396.419	6.107	6.152	6.224	BD
7	3	403.208	6.124	6.169	6.241	AB
8	2	435.951	6.161	6.190	6.239	B
9	1	5637.970	8.679	8.694	8.718	
10	2	5595.900	8.713	8.743	8.791	C
11	2	5637.970	8.734	8.763	8.812	D
12	2	5637.970	8.735	8.764	8.813	A
13	3	5637.970	8.768	8.812	8.885	CD
14	3	5637.970	8.769	8.814	8.886	AC
15	4	5637.970	8.825	8.884	8.981	ACD
16	194.332	96.847	96.553	5.000	ABCD	

Tabla XII. *Análisis de regresión múltiple a modelos para nitrato final*

Modelo	CME	R-Cuadrado	R-Cuadrado ajustado	Cp.	Variables Incluidas	Variables Incluidas
1	515.455	0.000	0.000	0.964		ABCD
2	515.455	2.128	0.000	2.209	A	BCD
3	496.469	5.733	3.683	0.272	B	ABC
4	515.455	2.128	0.000	2.964	C	BC
5	515.455	2.128	0.000	2.448	D	ABD
6	498.849	7.340	3.221	1.517	AB	BD
7	515.455	4.255	0.000	4.209	AC	AB
8	515.455	4.255	0.000	3.693	AD	B
9	507.495	5.734	1.544	2.271	BC	
10	501.581	6.832	2.692	1.755	BD	C
11	515.455	4.255	0.000	4.447	CD	D
12	510.180	7.341	1.023	3.516	ABC	A
13	504.131	8.440	2.197	3.001	ABD	CD
14	515.455	6.383	0.000	5.692	ACD	AC
15	512.974	6.834	0.481	3.755	BCD	ACD
16	515.455	8.511	0.000	5.000	ABCD	

En la tabla XIII, se observa que el modelo que mejor explica la variabilidad de nitrato es el modelo que incluye las variables A y D, el cual presenta un R-cuadrado de 46.62 %, sin embargo, el porcentaje es muy bajo para considerarlo como un modelo representativo del comportamiento de nitrato, por lo que no se recomienda su utilización.

Considerando que únicamente la variable fosfato presenta un modelo representativo, se aplica a ésta el análisis de regresión múltiple cuyo resultado se muestra en la tabla XIV.

Tabla XIII. *Análisis de regresión múltiple a modelos para nitrato final.*

Modelo	CME	R-Cuadrado	R-Cuadrado ajustado	Cp.	Variables Incluidas	Variables Incluidas
1	1.723	0.000	0.000	46.720		ABCD
2	1.185	32.697	31.234	18.403	A	BCD
3	1.709	2.918	0.808	46.014	B	ABC
4	1.689	4.078	1.993	44.939	C	BC
5	1.515	13.931	12.060	35.803	D	ABD
6	1.159	35.615	32.753	17.698	AB	BD
7	1.138	36.775	33.965	16.622	AC	AB
8	0.960	46.628	44.256	7.487	AD	B
9	1.674	6.996	2.862	44.233	BC	
10	1.496	16.849	13.153	35.097	BD	C
11	1.475	18.009	14.365	34.022	CD	D
12	1.110	39.693	35.581	15.917	ABC	A
13	0.929	49.546	46.106	6.781	ABD	CD
14	0.907	50.706	47.345	5.706	ACD	AC
15	1.455	20.927	15.535	33.316	BCD	ACD
16	0.873	53.624	49.310	5.000	ABCD	

Tabla XIV. *Análisis de regresión múltiple al modelo de fosfato final.*

Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico T	Valor -P
Constante	-62.6417	10.6560	-5.8786	<0.050
Nitrógeno amoniacal inicial	0.9863	0.3146	3.1346	<0.050
Fosfato inicial	0.7722	0.0218	35.5017	<0.050
Nitrato inicial	0.6280	0.1006	6.2426	<0.050
Nitrato inicial	-9.3695	2.7753	-3.3760	<0.050

**Discusión de resultados**

Como puede observarse en la tabla XIV, la significancia de las variables involucradas en el modelo de fosfato es menor a 5 %, por lo que éstas si ejercen un efecto significativo sobre la concentración de fosfato final.

Con base en este análisis, se desarrolla la ecuación 1, la cual permite relacionar la concentración de fosfato final con el nitrógeno amoniacal inicial, el nitrato inicial, el nitrato inicial y el fosfato inicial.

$$Bf = (-62.642) + 0.986 (Ai) + 0.772 (Bi) + 0.628 (Ci) - 9.370 (Di) \tag{1}$$

donde:

(Bf) = fosfato final (miligramos por litro)

(Ai) = nitrógeno amoniacal inicial (miligramos por litro)

(Bi) = fosfato inicial (miligramos por litro)

(Ci) = nitrato inicial (miligramos por litro)

(Di) = nitrato inicial (miligramos por litro)

El estadístico R-Cuadrado ajustado del modelo, indica que éste explica el 96.553 % de la variabilidad del fosfato final, con una desviación estándar de los residuos de 13.9403. El error absoluto medio (MAE) presenta un valor de 10.483. El valor de “p” para el estadístico de Durbin-Watson (p-DW=0.3656) es mayor a 5 %, por lo que no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de confianza del 95 %.

Este modelo se somete a verificación utilizando las concentraciones de nutrientes que se obtiene en el estudio de Argueta, Blandón y Aguilar (2016), observándose con ello, que el nivel de predicción es muy cercano al valor real obtenido (ver tabla XV), dando en promedio una remoción de fosfato del 31 %, con lo cual se confirman los estudios que indican que los cultivos de alga Chlorella, son eficientes en la remoción de nutrientes.

Tabla XIV. *Análisis de regresión múltiple al modelo de fosfato final.*

Nitrógeno Amoniacal inicial (mg/l)	Fosfato inicial (mg/l)	Nitrato inicial (mg/l)	Nitrito inicial (mg/l)	Fosfato Final (mg/l)	Fosfato estimado con t
3.89	20.70	96.89	0.17	14.40	16.47
4.29	22.50	98.21	0.17	12.10	19.09
4.16	22.60	94.82	0.13	13.80	17.22
13.15	22.20	80.34	0.20	14.50	16.06
10.51	21.10	74.54	0.26	21.70	8.34
11.26	22.20	90.99	0.30	16.50	19.96
8.08	23.70	76.47	0.26	16.60	9.17
9.66	24.60	93.50	0.13	16.40	23.36
8.64	24.70	82.28	0.17	18.30	15.07

De acuerdo con el modelo que se obtiene para estimar el comportamiento de fosfato en un cultivo mixto de alga *Chlorella*, se puede establecer que la fitorremediación en un cultivo mixto de alga *Chlorella* desarrollada de forma natural en el efluente del filtro percolador de una planta de tratamiento de agua residual, reduce en promedio un 31 % la concentración de fosfato.

El dato obtenido difiere con los resultados obtenidos en los estudios realizados por Whangchenchom, Chiemchaisri, Tapaneeyaworawong y Powtongsook (2014) quienes reportan haber obtenido para fosfatos “una reducción de más del 75 %, tanto para las muestras del reactor MLSS como para el decantador” (pág. 286).

Sin embargo, debe considerarse lo explicado por Hernández Pérez y Labbé (2014, pág. 163), quienes indican que los valores de remoción asignados a cada nutriente varían en función del tipo de cultivo, tipo de reactor, condiciones climáticas (intensidad de luz y temperatura) y características del proceso de tratamiento previo (íntimamente relacionado a la calidad del agua residual en el cual se realiza el cultivo) y tiempo de cultivo (tiempo de retención). Evidenciado esto en el resultado en el presente estudio, el cual se realiza en condiciones no controladas de iluminación y temperatura.

Es importante resaltar que el modelo propuesto

para definir el comportamiento de la concentración de fosfato en un medio mixto de algas *Chlorella*, muestra claramente que la concentración de fosfato final (luego de 7 días) no depende únicamente de la concentración inicial de nitrógeno amoniacal, nitrito, nitrato y fosfato, ya que la constante del modelo muestra que ésta se encuentra afectada en su mayoría por otros factores que deben ser incorporados para tener una mejor claridad del comportamiento de la concentración de fosfato, tales como la concentración de DBO (carbono), potencial de hidrógeno, disponibilidad de luz, tipo y población de bacterias, así como tipo y población de algas (González González, 2010, pág. 11).

La reducción de fosfato alcanzada en el presente estudio, se traduce en un mecanismo de mitigación a los procesos de eutrofización de los cuerpos de agua que reciben efluentes de estaciones depuradoras, dado que los aportes de nutrientes de éstas son una de las principales causas que potencian la eutrofización en lagos, según lo expresa Gallego Schmid (2008) al indicar que estas “contribuyen por arriba de un 55 % en la carga eutrofizante del agua” (págs. 7-20).

### Conclusiones

Los resultados obtenidos (concentraciones finales) para nitrógeno amoniacal, nitrito, nitrato y fosfato, se utilizan para la modelación estadística, a diferencia del trabajo realizado por Argueta, Blandón y Aguilar (2016), quienes proponen modelos estadísticos utilizando un análisis correlacional canónico con porcentajes de remoción, habiéndose obtenido en este estudio que ninguno de los modelos podría explicar el comportamiento de la concentración inicial de nutrientes.

El resultado de este estudio y el análisis realizado en el mismo, permiten establecer que la mejor manera de proponer un modelo de comportamiento de nutrientes es a través de un análisis de correlación múltiple, dado que lo que se busca es predecir el comportamiento de una variable dependiente a partir de múltiples variables independientes y no el comportamiento de un conjunto de variables

dependientes, a partir de un grupo de variables independientes.

Utilizando análisis de regresión múltiple para relacionar el comportamiento de las concentraciones finales de nitrógeno amoniacal, fosfato, nitrito, y nitrato con sus respectivas concentraciones iniciales, en cultivos mixtos de alga *Chlorella* con bacterias, se identifica que el modelo propuesto para fosfato define su variabilidad con un 96.55 % de confianza.

### Recomendaciones

1. Profundizar en el análisis de interrelación alga-bacteria, así como incorporar otras variables en los modelos de predicción, como oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno y potencial de hidrógeno.
2. Desarrollar estudios que permitan la implementación de reactores con cultivos de alga *Chlorella*, para la remoción de nutrientes en las estaciones depuradoras de agua residual.

### Referencias bibliográficas

- Argueta Gálvez, J. E., Blandón Blandón, R. A., & Aguilar Carrera, F. A. (2016). *Modelo matemático para determinar el nivel de eficiencia de remoción de nutrientes a través de algas clorofitas después de los filtros percoladores en tratamiento de aguas residuales*. Guatemala: Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria USAC.
- Gallego Schmid, A. (2008). *Diferenciación espacial en la metodología de análisis del ciclo de vida: desarrollo de factores regionales para eutrofización acuática y terrestre*. Santiago de Compostela: Universidad de Santiago de Compostela.
- González González, L. M. (2010). *Influencia de la deficiencia de nitrógeno y fósforo en las interacciones competitivas entre *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus**. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Guerra Quemé, H. D., Zea Cano, M. A., & Aguilar Carrera, F. A. (2015). *Identificación de pre-*

*sencia de algas generadas en los efluentes del sistema de filtros percoladores de la planta de tratamiento de la Universidad de San Carlos de Guatemala y de la planta de tratamiento*. Ing. Arturo Pazos Sosa. Guatemala: Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria USAC.

- Hernández Pérez, A., & Labbé, J. (2014). *Microalgas, cultivo y beneficios*. Revista de Biología Marina y Oceanografía, 157-173.
- Ruiz Martínez, A. (2011). *Puesta en marcha de un cultivo de microalgas para la eliminación de nutrientes de un agua residual urbana previamente tratada anaeróbicamente*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Salazar González, M. (2009). *Sistemas integrales de tratamiento de aguas residuales, mediante el uso combinado de digestión anaerobia y microalgas*. Contactos 73, 16-22.
- Sriram, S., & Seenivasan, R. (2012). *Microalgae cultivation in wastewater for nutrient removal*. Journal of algal biomass utilization, 9-13.

### Información del autor

- Ingeniero Civil, Félix Alan Douglas Aguilar Carrera, Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 1993.
- Maestro en Ciencias en Ingeniería Sanitaria, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 1996.
- Doctor en Cambio Climático y Sostenibilidad, Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2017.
- Afiliación laboral: Profesor titular de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria, Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.



# INGENIERÍA GEOTÉCNICA

ÁREA DE INFRAESTRUCTURA

# CLASIFICACIÓN DE CALIDAD DE ROCA CON EL MÉTODO SLOPE MASS RATING (SMR) EN UN TRAMO DE LA RUTA CA-9, PARA LA IDENTIFICACIÓN DE TALUDES INESTABLES Y HERRAMIENTA PARA ESTUDIO DIAGNÓSTICO

*Rock Quality Classification with the Slope Mass Rating (Smr) Method in a Section of Route Ca-9, for the Identification of Unstable Slopes and Tool for Diagnostic Study*

**Erick Noe Cacao Chiquin**

Mtro. en Ingeniería Geotécnica

Correspondencia al autor: noeggeon@gmail.com

Recibido: 03 de marzo 2018 | Revisado: 5 de marzo 2018 | Aprobado: 16 de marzo 2018

Asesorado por: Mtro. en Gestión de Riesgo **Bernie Gamaliel Castillo Moeschler** bernniec Castillo@gmail.com

## Resumen

Una correcta clasificación de la calidad de la roca guía a un análisis y diseño apropiado, además de un método de estabilización efectivo. El método utilizado es el SMR que es una modificación del RMR aplicado a taludes, adicionalmente se describen las rocas, se definen parámetros de GSI y se hacen análisis cinemáticos.

Se describen cinco tipos de roca, se establecen familias de discontinuidades y se analizan con relación a cada talud; se identifican los taludes más débiles y propensos a fallar. Se determina que los taludes en esquistos son los más inestables, debido a su más alta densidad de discontinuidades y a la más compleja historia geológica.

Aunque la mayoría de taludes se registran de calidad regular a buena, existen otros inestables debido a las discontinuidades, por lo que es importante siempre en taludes de roca, el análisis cinemático. Por economía en recursos y tiempo se considera como alternativa la utilización del GSI para determinar algunos parámetros guías necesarios.

## Palabras clave

RMR, SMR, GSI, análisis cinemático, ángulo de fricción.

## Abstract

*An appropriate rock quality classification guides to a proper analysis and design, in addition to an effective stabilization method. The method used is the SMR which is a modification of the RMR applied to slopes, additionally the rocks are described, GSI parameters are defined and kinematic analyzes are made.*

*Five types of rock are described, families of discontinuities are established and analyzed in relation to each slope, the weakest slopes and prone to failure are identified. It is determined that the slopes in schists are the most unstable due to their higher density of discontinuities and the more complex geological history.*

*Although the majority of slopes are registered of regular to good quality, there are unstable due to discontinuities, so it is always important in rock slopes perform a kinematic analysis. The use of the GSI is considered as an alternative to determine some necessary guide parameters, due to economy in resources and time.*

## Keywords

*RMR, SMR, GSI, kinematic analysis, friction angle.*

## Introducción

Guatemala está en una región afectada por fallas geológicas, derivado de eso se tiene varios tipos roca afectadas por diferentes procesos y una variedad de propiedades físicas y químicas a consecuencia de eso. (Donnelly, Horney, Finch, & López Ramos, 1990).

Debido a que toda infraestructura se asienta sobre roca o suelo, es necesario conocer su condición para evaluar su estabilidad y seguridad. En el caso específico de la carretera CA9 se evalúa la calidad de roca para reconocer los sectores inestables en los cuales se deben hacer estudios específicos.

En el tramo estudiado la mayoría de taludes se clasifican como roca, por lo que un análisis desde el punto de vista de mecánica de rocas es más acertado. Para ese fin se analizan los taludes por medio de la metodología del SMR (Slope Mass Rating), utilizando necesariamente el RMR (Rock Mass Rating), de forma adicional se realiza un análisis cinemático por geología estructural.

## Desarrollo del estudio

El estudio se realiza en el tramo del km 25+200 m a 36+300 m de la vía CA-9.

Se investigan los antecedentes geológicos de la zona, para determinar la problemática que pueden tener las rocas y determinar el orden estratigráfico de las unidades.

El trabajo de campo es el cartografiado geológico y geotécnico, el cual comprende: 1) descripción de las rocas de los taludes, 2) medición y descripción de las discontinuidades, 3) medición del RQD 4) observación de las condiciones de flujo de agua y 5) toma de muestras para determinar la resistencia de la roca (Cosillo Pinto, 1999). Datos adicionales son: 6) medición geológico estructural de las discontinuidades, 7) descripción de GSI (Geological Strength Index), 8) determinación en campo del ángulo de fricción por medio del método Tilt Test, 9) orientación del talud.

El SMR es una clasificación que toma de base el

RMR y la modifica ajustando el valor resultante con la orientación del talud y las discontinuidades.

Para la determinación del RMR se utilizan los ítems 1 a 5, para el SMR (González de Vallejo, 2003) y se adicionan el 6 y el 9. El dato 7 se toma a modo de referencia y el 8 para hacer el análisis cinemático.

La resistencia de la roca se determina por medio del ensayo de carga puntual y la utilización del martillo de Schmidt.

Los datos son tomados por estación y posteriormente visualizados por medio de mapas temáticos para su análisis.

Las mediciones geológicas estructurales son analizadas estadísticamente y se determinan los modos de rotura posibles con la geometría del talud particular para cada caso.

Se analiza la interrelación existente entre los datos obtenidos.

## Resultados obtenidos

Se describen las características de los macizos de roca presentes y se generan los mapas de cada propiedad para el análisis, produciendo al final el mapa de RMR y SMR.

Los tipos de roca que se encuentran en la zona son variados, existen ígneos, sedimentarios y metamórficos, siendo: I) Depósitos pomáceos y vulcano-sedimentarios, II) Granitos, III) Conglomerados y areniscas, IV) Esquistos cuarzo feldespáticos con clorita.

Los ángulos de fricción registrados varían entre 25° y 48° determinados mediante el método tilt test.

La resistencia de las rocas varía entre 9.8 y 497.0 MPa, siendo las más resistentes las rocas ígneas mientras que los valores bajos los registran conglomerados y areniscas.

Se realizan 592 mediciones estructurales de discontinuidades entre fallas, fracturas, estratificaciones y foliaciones. Posteriormente, se le da tratamiento estadístico (densidad de polos en estereogramas) para clasificar el tipo de rotura en las familias principales en función del talud y el círculo de fricción (figura 1).

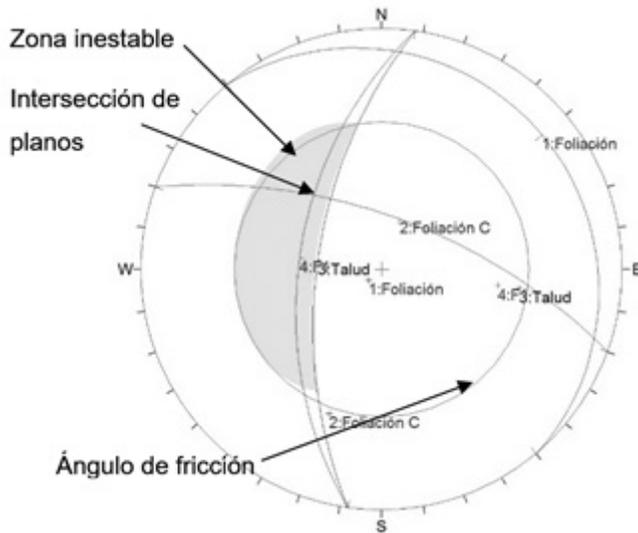


Figura 1. Ejemplo de análisis cinemático con los datos geológico-estructurales.

Los datos de RMR varían de muy bueno a regular y los del SMR que tienen de base el RMR ajustado con los datos de orientación de discontinuidades y talud; varían de muy bueno a muy malo.

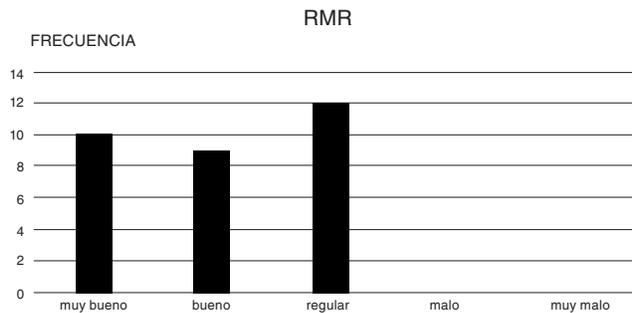


Figura 2. Dominios estructurales.

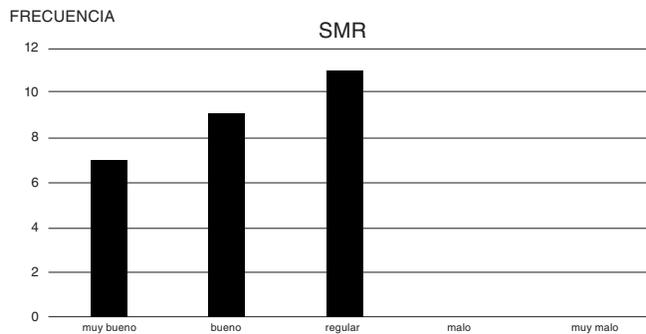


Figura 3. Frecuencia de valores resultantes de las clasificaciones geotécnicas.

### Discusión de resultados

En la figura 2 se muestra que los taludes tienen una tendencia hacia la clasificación buena, los datos de resistencia también son buenos. Se observa que el SMR tiene incursiones hacia el lado de clasificación de malo, producto del ajuste, cuando se toma en cuenta las discontinuidades.

Lo anterior refleja que aunque los taludes son estables de forma general, las roturas se generan por la presencia de discontinuidades que los afecten de forma local. Es por eso que es de gran importancia el análisis cinemático de los taludes, por ese medio se pueden establecer orientaciones de talud favorables en función de los dominios estructurales (figura 1).

Así mismo, el conocimiento geológico de la zona es importante, por ejemplo, para delimitar los cuerpos de roca y conocer los alcances de la alteración físico-química, a la que podrían haber estado sujetos y por lo tanto su resistencia y demás propiedades (esta distribución se observa por medio de los mapas multitemáticos). El conocimiento del entorno también ofrece información de tendencias estructurales.

Por ejemplo, la unidad IV ha sido plegada y alterada por lo que tiene mayor densidad de discontinuidades, la unidad II es más joven y ha sido poco afectada por la tectónica por lo que es altamente resistente.

### Conclusiones

1. La valoración de la calidad de roca (SMR) indica que la mayoría de taludes tienen clasificación regular a muy buena.
2. La distribución espacial de los datos utilizados para la clasificación es útil para caracterizar las zonas con menor calidad de roca, tal es el caso de la zona norte donde afloran los esquistos que en general son los de peor clasificación.
3. En las rocas estudiadas la característica dominante para la determinación de zonas con baja calidad es el grado de afectación tectónica, en estas zonas el RQD es más bajo (menor a 25 %), la cantidad de discontinuidades y familias de

discontinuidades es mayor. Además, pueden ser zonas más alteradas por acción hidrotermal o por la meteorización que minimiza su resistencia.

4. Por la experiencia de aplicación de los métodos RMR y SMR, se considera como mejor alternativa la utilización del RMR y la evaluación de roturas en macizos rocosos, mediante métodos geológico estructurales con análisis cinemáticos.
5. Los taludes estudiados en su mayoría corresponden a roca, sin embargo cuando la roca está muy alterada o fracturada se debe considerar analizar la estabilidad por medios de mecánica de suelos.

### Recomendaciones

1. En muchos casos se estudian los taludes como suelos aun cuando son predominantemente roca, se debe considerar en qué momento se aplican los métodos de mecánica de suelos o mecánica de rocas.
2. Después de realizar la presente investigación se sugiere como método rápido para determinación de taludes inestables lo siguiente:
  - a. Determinar el RMR clásico de los taludes.
  - b. En zonas con RMR muy bajo considerar aplicar mecánica de suelos.
  - c. Determinar el GSI y tomar datos para la clasificación de Hoek-Brown para estimar resistencia y ángulo de fricción, entre otros datos.
  - d. Analizar modos de rotura en macizos rocosos por geología estructural.

### Referencias bibliográficas

- Cosillo Pinto, A. (1999). *Consideraciones geológico-geotécnicas para el diseño de taludes en macizos rocosos*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Donelly, T., Horney, G., Finch, R., & López Ramos, E. (1990). North Central America: *The Mayan and Chortis Blocks. The Geology of North America* Vol. H. The Caribbean Region, 39.

González de Vallejo, L. (2003). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Educación.

### Información del autor

Ingeniero Geólogo, Erick Noe Cacao Chiquin, graduado de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2009.

Maestro en Ciencias en Ingeniería Geotécnica, egresado de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2018.

Afiliación laboral: Geólogo para la empresa Cementos Progreso, Guatemala, S.A.



# GEOMÁTICA

ÁREA DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

## DETERMINACIÓN DE LA PRECISIÓN DE LAS MEDIDAS OBTENIDAS POR MEDIO DE GPS DE DOBLE FRECUENCIA Y POST-PROCESADAS POR SERVICIOS EN LÍNEA COMO UNA OPCIÓN A LA RED DE APOYO CATASTRAL

*Determination of the Accuracy of the Measures Obtained Through Double Frequency GPS And Post-Processed by Online Services as an Option To the Cadastral Support Network*

**Aldo René González Quiñónez**

Mtro. en Ciencias en Geomática

Correspondencia al autor: real.gonzalez@gmail.com

Recibido: 03 de noviembre 2017 | Revisado: 20 de noviembre 2017 | Aprobado: 21 de noviembre 2017

Asesorado por: Mtro. en Ciencias en Administración de Tierras

para el Desarrollo Sostenible **Alan Boris Ayala Méndez** abam25@gmail.com

### Resumen

En la presente investigación se realiza una evaluación de las mediciones de GPS de doble frecuencia con post-proceso de datos en línea con el objetivo de prescindir del uso de la Red de Apoyo Catastral (RAC) del Registro de Información Catastral – RIC– de Guatemala.

Los resultados obtenidos muestran que las mediciones con GPS indicadas tienen la precisión necesaria que permite prescindir del uso de las RAC.

El Registro de Información Catastral puede invertir menos recursos en el establecimiento y mantenimiento de las RAC. Además, los agrimensores pueden evitar los costos que se generan cuando no se localizan en campo los monumentos de las RAC o cuando en gabinete se detecta que la posición de los mismos ha variado.

Se concluye que no tiene incidencia significativa en los resultados el sitio de procesamiento en línea que se elija, ni el tiempo de duración, ni el intervalo de captura en las mediciones.

### Palabras clave

GPS doble frecuencia, post-proceso en línea, RAC.

### Abstract

*In this work, an evaluation was made of the measurements of double frequency GPS with on line data post-processing, with the objective of omitting the use of the Network of Cadastral Support (RAC) of the Registry of Cadastral Information - RIC.*

*The results obtained show that the measurements with double frequency GPS are precise enough that allow leaving out the use of the RAC.*

*The Registry of Cadastral Information may invest fewer resources in the establishment and maintenance of the RAC. In addition, the country's surveyors can avoid the costs that are generated when the RAC monuments are not located in the field or when it is detected in office that the position has varied.*

*It is concluded that there is no significant impact on the results of the online processing site chosen, neither the duration time nor the capture interval in the measurements.*

### Keywords

*Dual frequency GPS, post-processing on line, RAC.*

## Introducción

El presente estudio tiene como propósito determinar la precisión de los equipos GPS de doble frecuencia con post-proceso de datos en línea como una opción a la Red de Apoyo Catastral del Registro de Información Catastral –RIC –, Guatemala. Las especificaciones de los equipos GPS ofrecen precisiones bajo ciertas condiciones, que por lo general, no corresponden a las condiciones en campo y los sitios de procesamiento en línea ofrecen mejorar las precisiones de las mediciones obtenidas por los GPS, por lo que se hace necesario verificar las precisiones que se pueden alcanzar con la combinación de ambos.

## Desarrollo del estudio

El presente estudio es de tipo explicativo y cuantitativo, tiene como variables el Error Medio Cuadrático EMC y la probabilidad (p) obtenida del análisis de varianza y como indicadores la duración y el intervalo de captura de las mediciones GPS.

Los datos de GPS se obtienen de las CORS (Continuously Operating Reference Station) de Guatemala, El Salvador y Tapachula, México, a través del sitio web de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

Los datos se procesan en 3 sitios en línea, siendo estos: “Precise Point Positioning” (PPP) de Natural Resources Canada (s.f), “AUSPOS Online GPS Processing Service” de Geoscience Australia (s.f) y “OPUS” de la National Geodetic Survey (s.f).

A los resultados que se obtienen se les realiza la corrección de desplazamiento por época y se aplica el Criterio de Chauvenet para sanear las muestras. Posteriormente se calcula el Error Medio Cuadrático y se realiza el análisis de varianza (p).

Para determinar cuál es el servicio en línea que ofrece mejor precisión se toman 12 muestras con rango de 2 horas e intervalo de 30 segundos de la CORS de ciudad de Guatemala (GUAT).

Para determinar la incidencia de la duración de las observaciones en la precisión de las mediciones se

toman 12 muestras de 2, 4 y 6 horas de duración con intervalos de 15 segundos de la CORS de la ciudad de San Salvador, El Salvador (SSIA).

Para determinar la incidencia del intervalo de captura en la precisión de las mediciones se toman 12 muestras con intervalos de captura de 1, 5, 15 y 30 seg de la CORS de la ciudad de Tapachula, Estado de Chiapas, México (MTP1).

Para todos los casos las 12 muestras se toman 1 cada 2 meses para abarcar un período de 2 años.

El RIC carece de una especificación de precisión posicional horizontal absoluta. Normativas internacionales como las de Canadá, Estados Unidos de América y México establecen una precisión posicional horizontal absoluta de 0.10 m para redes similares. El valor del Error Medio Cuadrático se compara con dicha normativa.

## Resultados obtenidos

Los resultados de EMC para la CORS GUAT son:

Tabla I. *CORS-GUAT*

	PPP	OPUS	AUSPOS
EMC (m)	0.022	0.020	0.018

Los resultados de EMC para la CORS SSIA son:

Tabla II. *CORS-SSIA*

	2 hrs	4 hrs	6 hrs
PPP (m)	0.032	0.030	0.031
OPUS (m)	0.028	0.024	0.025
AUSPOS (m)	0.025	0.025	0.025

Los resultados de EMC para la CORS MTP1 son:

Tabla III. *CORS-MTP1*

	1 s	5 s	15 s	30 s
PPP (m)	0.026	0.026	0.026	0.026

Se omiten los resultados de OPUS y AUSPOS para la CORS de MTP1, ya que son los mismos que los correspondientes intervalos de captura de 1, 5, 15 y 30 segundos.

Los resultados de “p” del ANDEVA, para las CORS de Guatemala, El Salvador y Tapachula son:

Tabla IV. ANDEVA para los CORS de Guatemala, El Salvador y Tapachula.

			p
CORS-GUAT			0.8493
CORS-SSIA-PPP			0.1641
CORS-SSIA-OPUS			0.1086
CORS-SSIA-AUSPOS			0.2883
CORS-MTP1			0.9983
$F_T=0.8492371$	$F_C= 3.2849$	$\alpha=5 \%$	

### Discusión de resultados

Los resultados de las tablas I, II y III muestran valores de EMC menores a 0.10 m, que corresponde a la precisión máxima permitida por la normativa internacional estudiada: Geodesia, Instituto Nacional de Estadística y Geográfica, México; Recursos Nacionales de Canadá; Servicio Forestal y Administración de Tierras, Estados Unidos, por lo que estas mediciones cumplen con la normativa y tienen la precisión necesaria para prescindir del uso de la RAC.

En la tabla IV se observan los resultados del análisis de varianza, ANDEVA, con valores de “p” mayores a 0.05 para los diferentes escenarios, lo cual indica que:

- a) No hay diferencias significativas de los resultados de las mediciones entre los 3 sitios de post-proceso en línea estudiados.
- b) No existe significativa entre las mediciones de 2, 4 y 6 horas de duración con post-proceso en línea en los sitios estudiados.
- c) No hay una diferencia significativa entre las mediciones de 1, 5, 15 y 30 segundos de intervalo de captura con post-proceso en línea en los sitios estudiados.

Con los resultados obtenidos, se puede comprobar la hipótesis, de que es posible determinar posicio-

nes de puntos aislados con gran precisión, haciendo uso de receptores GPS de doble frecuencia con post-proceso en línea, sin necesidad de utilizar los monumentos de las redes geodésicas disponibles (RAC), conforme lo sugiere las publicaciones de Wells *et. al.*, (1999), así como, el amplio desarrollo tecnológico del hardware y software de los GPS de doble frecuencia y el avance de los algoritmos de los sitios de post-proceso en línea.

### Conclusiones

1. Los sitios web de la Natural Resources Canada Precise Point Positioning PPP, el sitio de Geociencia de Australia “AUSPOS Online GPS Processing Service” y el servicio en línea OPUS de la NOAA no tienen diferencias significativas con respecto a la precisión de la medición con GPS de doble frecuencia.
2. El tiempo de duración de las observaciones de 2, 4 o 6 horas no tiene una incidencia significativa en la precisión de la medición con receptores GPS de doble frecuencia cuando se realiza el post-proceso en los sitios en línea estudiados.
3. El intervalo de captura de 1, 5, 15 ó 30 segundos no tiene incidencia en la precisión de la medición realizada con receptores GPS de doble frecuencia cuando se realiza el post-proceso en los sitios en línea estudiados.
4. Las mediciones realizadas con GPS de doble frecuencia con post-proceso de los datos por medio de los servicios en línea estudiados tiene la precisión necesaria para prescindir del uso de la Red de Apoyo Catastral.

### Recomendaciones

1. Al Registro de Información Catastral se recomienda promover el uso de mediciones con receptores GPS de doble frecuencia con post-proceso en los sitios en línea estudiados para prescindir del uso de la Red de Apoyo Catastral.
2. A los agrimensores se recomienda realizar investigaciones periódicas para evaluar los sitios

en línea propuestos, así como nuevos que surjan, ya que constantemente se realizan mejoras en los resultados.

3. A los agrimensores se recomienda realizar el post-proceso de los datos de las mediciones en 3 o más sitios en línea para comparar resultados y detectar posibles errores.

### Referencias bibliográficas

Geoscience Australia (s. f.). *AUSPOS - Online GPS Processing Service - Geoscience Australia*. Recuperado de <http://www.ga.gov.au/scientific-topics/positioning-navigation/geodesy/auspos> el 2 de noviembre de 2015.

National Geodetic Survey (s. f.). *OPUS: the Online Positioning User Service, process your GNSS data in the National Spatial Reference System*. Recuperado de <https://www.ngs.noaa.gov/OPUS/> el 2 de noviembre de 2015.

Natural Resources Canada (s. f.). *Precise Point Positioning. Natural Resources Canada Precise Point Positioning*. Recuperado de <http://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php> el 2 de noviembre de 2015.

Wells, D., Beck, N., Delikaraoglou, D., Kleusberg, A., Krakiwsky, E. J., Lachapelle, G., ... Vanicek, P. (1999). *Guide to GPS Positioning. Department of Geodesy and Geomatics*. University of New Brunswick. Canada.

### Información del autor

Ingeniero Civil, Aldo René González Quiñónez, graduado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 1989.

Maestro en Ciencias Geomática graduado de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Afiliación laboral: Registro de Información Catastral, Guatemala.



# ESTADÍSTICA APLICADA

ÁREA DE CIENCIAS APLICADAS

# APLICACIÓN DE MODELOS DE REGRESIÓN LINEAL EN PROYECCIONES DE LA COBERTURA BOSCOSA Y DE CAPTURA DE CO<sub>2</sub>, PARA LA VENTA DE CERTIFICADOS DE CARBONO EN GUATEMALA, PERÍODO 2017-2030

*Application of Linear Regression Models in Projections of the Wood Coverage and CO<sub>2</sub> Capture, for the Sale Of Carbon Certificates in Guatemala, Period 2017-2030*

**Víctor Manuel Aceituno Melgar**

Mtro. en Estadística Aplicada

Correspondencia al autor: victor.aceituno@yahoo.com

Recibido: 08 de marzo 2018 | Revisado: 14 de marzo 2018 | Aprobado: 16 de marzo 2018

Asesorado por: Mtro. en Economía Ambiental y de Recursos Naturales

**Víctor Manuel Aceituno Quezada** vimaceituzada@hotmail.com

## Resumen

Se estima el potencial de venta de certificados por fijación de carbono en bosques conservados de Guatemala según el modelo REDD+. Se aplican modelos de regresión con base en inventarios de cobertura boscosa, estimándose para 2030, un área forestal de  $2.67 \times 10^6$  hectáreas.

Se calcula un modelo lineal generalizado con esquema AR(1) sobre el área reforestada acumulada durante el período 1998 - 2016, según el Programa de incentivos forestales (PINFOR). Con esa tendencia, se estiman en  $2.39 \times 10^5$  hectáreas reforestadas en 2030, con costo promedio de Q14,362/ha, siendo insuficiente para compensar la pérdida de cobertura boscosa para ese año.

Si al 2030 se reforestan en el país como mínimo 43,806 hectáreas/año bajo el esquema REDD+, se estima una fijación de  $1.41 \times 10^8$  toneladas de CO<sub>2</sub> entre 2018 y 2030, con potencial financiero de Q5,308 millones para inversión en proyectos de reforestación y conservación de bosques.

## Palabras clave

Modelos de regresión, cobertura boscosa, captura de CO<sub>2</sub>, certificados de carbono, REDD+.

## Abstract

*The sales potential of carbon certificates through CO<sub>2</sub> forest absorption in Guatemala managed with the REDD+ model are estimated. Regression models based on forest coverage inventories are calculated. By 2030, the forest surface will have decreased to  $2.67 \times 10^6$  hectares.*

*In addition, a generalized linear model with the AR(1) scheme for the accumulated reforested area during the period 1998-2016 by PINFOR is calculated. If the observed trend continues,  $2.39 \times 10^5$  hectares will have been reforested by 2030, with cost of Q14,362/hectare. The current reforestation rate is insufficient to compensate the forest surface loss by 2030.*

*If a minimum of 43,806 hectares/year are reforested by 2030, operating with the REDD+ scheme, Guatemalan forests will be able to absorb  $1.41 \times 10^8$  tons of CO<sub>2</sub> during 2018-2030. That represents a potential of Q5,308 million, which can be invested in reforestation projects and forest conservation.*

## Keywords

*Regression models, CO<sub>2</sub> capture, carbon certificates, REDD+.*

## Introducción

El Protocolo de Kyoto, el Acuerdo de París y la Agenda 2030 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas buscan detener el cambio climático y mitigar sus efectos mediante la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>.

En Guatemala, se deforestan anualmente 132,137 ha. Los resultados de reforestación del PINFOR (93,432 ha/año), son insuficientes para compensar esa pérdida. Se desaprovecha la oportunidad de vender certificados de carbono a través del mecanismo REDD+, cuyos ingresos pueden invertirse en programas de reforestación y beneficiar económicamente a las comunidades rurales.

## Desarrollo del estudio

El estudio tiene un diseño no experimental. Se utiliza información de dinámica forestal en Guatemala, publicada por el Instituto Nacional de Bosques, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y el Instituto Nacional de Estadística, durante 1991, 1996, 2001, 2006, 2010 y 2012.

Con esa información, se estiman modelos de regresión de la cobertura boscosa a través del método de mínimos cuadrados cuyos residuos cumplen con los supuestos de normalidad, homocedasticidad y ausencia de autocorrelación serial. Con los modelos obtenidos, se estima el área con cobertura forestal en Guatemala para el período 2018-2030.

Las pruebas usadas para verificar los supuestos del modelo son: Shapiro-Wilk para normalidad, Brown-Forsythe para la homogeneidad de varianza y la prueba de rachas para la autocorrelación.

A partir del modelo de cobertura boscosa en el tiempo y de la fijación de CO<sub>2</sub>, se proyecta el modelo de captura de carbono en el país, considerando que una hectárea de bosques absorbe 392 toneladas de CO<sub>2</sub> (Castellanos, 2011).

La tasa de deforestación se estima con la primera derivada del modelo de cobertura forestal con respecto al tiempo. La emisión del CO<sub>2</sub> por deforestación se calcula al multiplicar la tasa de defo-

restación anual por el factor de absorción del gas por hectárea de bosque. Dicho valor constituye la línea base del proyecto REDD+. Con el plan de reforestación que se propone hasta el año 2030, se estima el CO<sub>2</sub> fijado hasta ese año, donde la pérdida neta de bosque es cero. La diferencia entre el área boscosa al conservar el bosque y la línea base (sin intervención) representa una cantidad de CO<sub>2</sub> no emitido, constituyendo el potencial de venta de certificados de carbono del proyecto.

La venta total de carbono se estima al multiplicar el precio histórico de los certificados por la masa de CO<sub>2</sub> fijada con el manejo de bosques REDD+. El análisis estadístico se realiza con SigmaPlot10, Eviews9, Microsoft Excel y Matlab.

## Resultados obtenidos

### a. Modelos de regresión de la cobertura boscosa

La proyección de área forestal al año 2030, se estima en  $2.67 \times 10^6$  hectáreas distribuidas en 58.6 % de bosques latifoliados, 25.4 % de coníferas y 16.0 % de mixtos. Su tendencia se muestra en la figura 1.

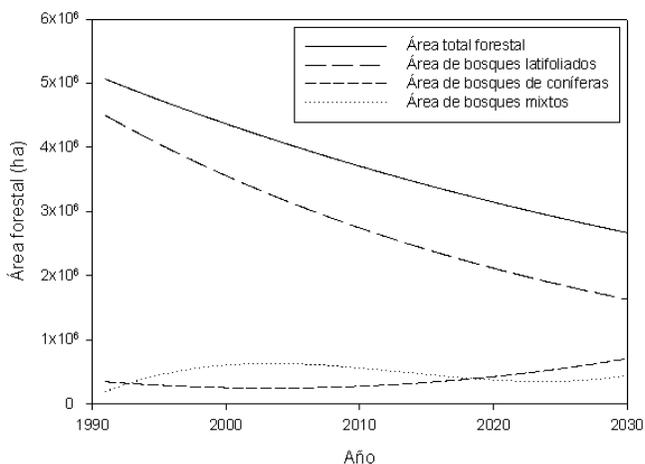


Figura 1. Área forestal de Guatemala por clase de bosque al año 2030

Las curvas de la figura 1 son la representación de los modelos que se presentan a continuación:

Modelo del área forestal total ( $R^2=0.97$ ):

$$y=5063689\exp[-0.02(x-1991)] \quad (1)$$

donde es el área forestal estimada y es el año.

Modelo del área de bosques latifoliados ( $R^2=0.98$ ):

$$y=4496640\exp[-0.03(x-1991)] \quad (2)$$

Modelo del área de bosques de coníferas ( $R^2=0.99$ ):

$$y=347475 - 1588(x-1991) + 643(x-1991)^2 \quad (3)$$

Modelo del área de bosques mixtos( $R^2=0.999$ ):

$$y=194297 - 81169(x-1991) - 4520(x-1991)^2 + 67(x-1991)^3 \quad (4)$$

**b. Modelo de regresión de la reforestación**

El modelo lineal generalizado para la reforestación con el esquema AR(1) es ( $R^2=0.998$ ):

$$y_t=0.89y_{t-1}+577+7320[(x_t-1998)-0.89(x_t-1997)] \quad (5)$$

Si persiste la tasa de reforestación del PINFOR, al 2030 se estiman 239,154 ha reforestadas.

**c. Modelo de la fijación de CO<sub>2</sub> por bosques**

El modelo del CO<sub>2</sub> fijado ( $R^2=0.97$ ) es:

$$y=1984966045\exp[-0.02(x-1991)] \quad (6)$$

**d. Estimación de la venta de certificados de carbono**

Operar con REDD+ evitaría la emisión de  $1.41 \times 10^8$  toneladas de CO<sub>2</sub>, equivalentes a Q5,308 millones. La tabla I muestra el modelo de reforestación para que la pérdida neta de la cobertura boscosa sea cero.

Tabla I. *Tasa de reforestación necesaria para detener la pérdida neta de bosque al 2030*

Año	Pérdida bosque (ha/año)	Tasa de reforestación (ha/año)	Pérdida neta bosque (ha/año)
2018	53,334	11,596	41,738
2021	50,774	19,649	31,125
2024	48,336	27,701	20,635
2027	46,015	35,754	10,262
2030	43,806	43,806	0

**Discusión de resultados**

Los modelos (1-4) son significativos ( $p<0.05$ ) para estimar el área forestal total, y por tipo de bosque al 95 % de confianza. Dichos modelos cumplen con los supuestos del modelo de regresión clásico ( $p>0.05$ ), por lo tanto, pueden usarse para realizar proyecciones quinquenales hasta el año 2030.

El comportamiento modelado para las clases de bosques concuerda con lo reportado en publicaciones (IARNA, 2012). Se observa una mayor tendencia de pérdida de bosques latifoliados, seguido por bosques mixtos. A diferencia de esos bosques, los de coníferas tienden a aumentar. Esa tendencia fue reportada por Redo, Grau, Aide y Clark en 2012. La pérdida de bosques latifoliados se puede explicar por la disminución de bosques en Petén (mayoritariamente latifoliados). Por el contrario, el aumento de coníferas, se presenta principalmente por la reforestación a través del PINFOR, en las verapaces.

De no aumentar los esfuerzos para detener la pérdida de cobertura boscosa, se proyecta que el área forestal del país en 2030 sea sólo el 52.75 % del área forestal con respecto a 1991.

Para modelar el área reforestada acumulada por el PINFOR entre 1998 y 2016 se usa el modelo lineal generalizado (5), pues el método de mínimos cuadrados no satisface los supuestos de homocedasticidad y ausencia de autocorrelación. La tasa actual de reforestación es insuficiente para detener la pérdida de bosque al año 2030. Como mínimo, deben reforestarse 43,806 ha/año (tabla I). El modelo (6) muestra que cada año disminuye el CO<sub>2</sub> fijado por causa de la deforestación.

En la figura 2, se comparan dos escenarios: en el escenario base, se estiman las emisiones de CO<sub>2</sub> si no se buscan mecanismos para detener la pérdida de cobertura boscosa. En el escenario de operación de un proyecto REDD+, se tiene un objetivo para disminuir esa deforestación. La diferencia entre el área boscosa al conservar el bosque y la línea base (sin intervención) representa una cantidad de CO<sub>2</sub>

que no se emite constituyendo el potencial de venta de certificados de carbono del proyecto.

Se proyecta que la venta sea de  $1.41 \times 10^8$  toneladas de  $\text{CO}_2$  entre 2018 y 2030 al operar con un proyecto REDD+. Si el precio es de \$5/tonelada de  $\text{CO}_2$ , \$705.8 millones se podrían utilizar en planes de reforestación y conservación de bosques.

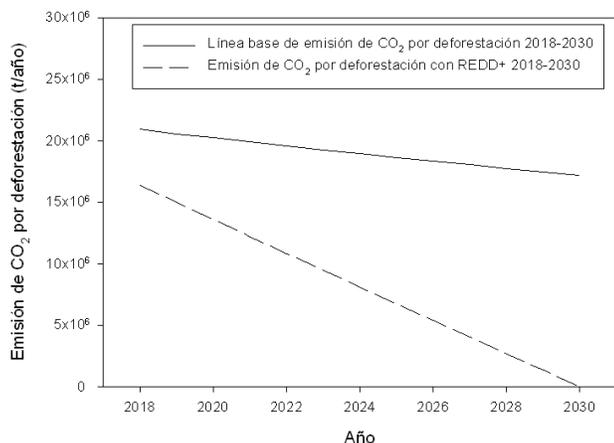


Figura 2. Emisión de  $\text{CO}_2$  con REDD+

## Conclusiones

1. En el 2030, el área forestal de Guatemala se estima en  $2.67 \times 10^6$  hectáreas, distribuidas así: bosques latifoliados (58.6 %), bosques de coníferas (25.4 %) y bosques mixtos (16 %).
2. Para detener la pérdida de la cobertura boscosa del país en el 2030, se debe reforestar a una tasa mínima de 43,806 hectáreas/año.
3. De mantenerse la tasa de deforestación proyectada para 2030, se estima la emisión de  $1.72 \times 10^7$  toneladas de  $\text{CO}_2$ .
4. Se estima que la conservación boscosa con un proyecto REDD+ permite la fijación y venta de  $1.41 \times 10^8$  toneladas de  $\text{CO}_2$  entre 2018 y 2030, con un potencial de Q5,308 millones destinados para inversión en proyectos de reforestación, mantenimiento y conservación de bosques.

## Recomendaciones

1. El INAB debe actualizar con mayor frecuencia las estadísticas de la dinámica forestal del país.
2. Los modelos que se presentan en esta investigación deben actualizarse a medida que se generen más estadísticas del área forestal.

## Referencias bibliográficas

- Castellanos, E. (2011). *Elaboración del primer mapa nacional sobre el carbono capturado por plantaciones y bosques naturales de Guatemala*. Proyecto FODECYT No. 08-2008.
- Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar, (2012). *Análisis sistémico de la deforestación en Guatemala y propuesta de políticas para revertirla*. Guatemala. Serie técnica No. 38.
- Redo, D., Grau, H., Aide, M. y Clark, M. *Asymmetric forest transition driven by the interaction of socioeconomic development and environmental heterogeneity in Central America*. *Proceeding of the National Academy of Science*. 109 (2012), 8839-8844. doi: 10.1073/pnas.1201664109.

## Información del autor

Ingeniero Químico, Víctor Manuel Aceituno Melgar, egresado de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2010.

Maestro en Artes en Estadística Aplicada, Escuela de Estudios de Postgrado, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2018.

Afiliación laboral: CEMEX, Guatemala, S.A.

# DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE VARIANZA APLICADOS A LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO Y OXÍGENO DE UN REACTOR ELECTROLÍTICO, MODIFICANDO TEMPERATURA Y COMPOSICIÓN QUÍMICA, PARA ESTIMAR SUS CONDICIONES ÓPTIMAS DE FUNCIONAMIENTO

*Experimental Design and Variance Analysis Applied to the Production of Hydrogen and Oxygen of an Electrolytic Reactor, Modifying Temperature and Chemical Composition, to Estimate their Optimum Conditions of Operation*

**William Eduardo Fagiani Cruz**

Mtro. en Estadística Aplicada

Correspondencia al autor: wefagiani@ing.usac.edu.gt

Recibido: 21 de febrero 2018 | Revisado: 28 de febrero 2018 | Aprobado: 06 de marzo 2018

Asesorado por: Dr. en Química Orgánica **Adolfo Narciso Gramajo Antonio** angramajo@ing.usac.edu.gt

## Resumen

El objetivo de este estudio es evaluar el comportamiento del flujo de hidrógeno y oxígeno producido en un reactor electrolítico, al modificar la temperatura y la concentración de su medio acuoso, para generar datos que permitan establecer el diseño experimental más apropiado. Se utiliza un diseño anidado, porque permite ahorrar tiempo y materiales durante las mediciones de producción gaseosa al controlar la temperatura. El experimento detecta significativamente las diferencias en el flujo al modificar los factores, sin embargo, una de las covariables (conductividad y corriente eléctrica) al incluir sus interacciones es irrelevante en la explicación de la variabilidad.

Como producto de la experimentación se ha generado un modelo matemático que explica aproximadamente un 85.86 % de la variación presentada por la producción gaseosa del reactor, y su tendencia creciente muestra que las condiciones óptimas son los valores máximos de temperatura y concentración.

## Palabras clave

Hidrógeno, reactor, combustión, experimental, variación.

## Abstract

*The main goal of this study is to evaluate the behavior of the hydrogen and oxygen flow produced in an electrolytic reactor, by modifying the temperature and the concentration of its aqueous medium, in order to generate data and from this data establish the most appropriate experimental design. A nested design is used, as this saves time and materials during gaseous production measurements when controlling temperature. The experiment significantly detects differences in flow by modifying the factors, however, one of the covariates by including (conductivity and electric current) interactions is irrelevant in explaining the variability.*

*As a result of the experimentation a mathematical model has been generated that explains approximately 85.86 % of the variation presented by the gaseous production of the reactor, and its increasing tendency shows that the optimum conditions are present in the maximum temperature values and concentration.*

## Keywords

*Hydrogen, reactor, combustion, experimental, variation.*

## Introducción

La combustión, como proceso de transformación energética, permite aprovechar el potencial químico de un combustible en forma de transferencia de calor. La composición del combustible afecta directamente la calidad del proceso y, por consiguiente, la cantidad de subproductos no deseados que pueden causar contaminación ambiental; este fenómeno depende de tantas variables, que deben ser aisladas para predecir su comportamiento.

Un reactor electrolítico es un dispositivo que puede generar un aditivo instantáneo para el combustible, hidrógeno gaseoso, en el momento de llevarse a cabo sus reacciones y adicional a esto un combustible, el oxígeno, que mejora la eficiencia del proceso.

El estudio estadístico del funcionamiento de un reactor electrolítico es importante para generar información sobre sus posibles ventajas, mediante un experimento que cuantifica su comportamiento al controlar los parámetros de entrada para optimizar su producción gaseosa.

## Desarrollo del estudio

La evidencia cuantitativa se recauda con un reactor electrolítico de uso común en vehículos, que se adapta para su monitoreo en el laboratorio.

El sistema utilizado es el que se muestra en la figura 1, y consta de una fuente (+/-) que alimenta el reactor a un voltaje constante de 20V, con un medidor de amperaje ( $i/mA$ ) colocado en serie. La producción de gases se realiza mediante un reflujio con un depósito elevado para aprovechar la gravedad y la convección impulsada por el potencial eléctrico. En dicho depósito se mide la temperatura ( $T/^{\circ}C$ ) y la conductividad eléctrica [ $k_E/(mS/cm)$ ] a intervalos de tiempo en los que el reactor está desactivado. Finalmente, el flujo de gases es cuantificado, luego de un filtrado, mediante un medidor de flujo [ $V/(dm^3/min)$ ].

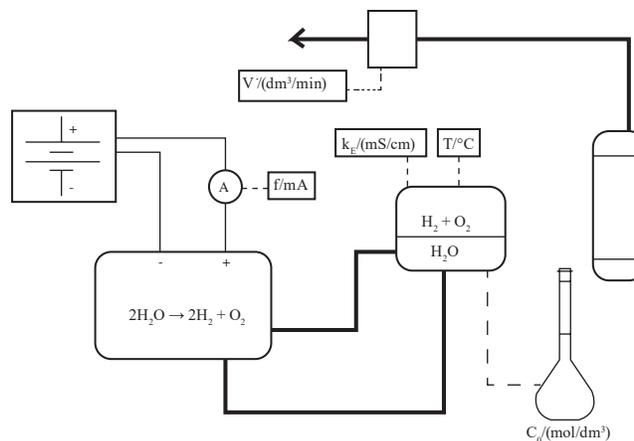


Figura 1. Funcionamiento del equipo experimental utilizado.

El diseño experimental consiste, convenientemente, en dos bloques (Montgomery, 2004, p. 127) representados por la identidad de la sustancia que sirve de electrolito conductor dentro del reactor, con dos variantes, hidróxido de sodio (NaOH) e hidróxido de potasio (KOH).

Los factores principales de influencia son la temperatura y la concentración de dicho electrolito, para los que se establecen 5 niveles a intervalos consistentes con los resultados de pruebas previas sobre las condiciones de funcionamiento, dentro de un vehículo.

Los niveles son aleatorizados, de tal manera que se reduzca la influencia de variables no controladas en el entorno del experimento, pero se anidan para minimizar el tiempo en que las mediciones se realizan al modificar la temperatura y para ahorrar materiales.

El experimento cuenta, además con dos covariables asociadas (conductividad eléctrica y corriente eléctrica de paso) y los bloques establecidos son las sales disueltas (hidróxido de sodio y potasio). Los datos obtenidos se ponen a prueba mediante el análisis de varianza, transformando las variables mediante el modelo teórico de Arrhenius para el efecto de la temperatura, una ley de velocidad para el efecto directo de la concentración, el modelo de Ohm para la corriente eléctrica y la teoría de Debye-Hückel para la relación entre la conductividad y la concentración.

### Resultados obtenidos

El comportamiento generalizado es ascendente para la producción de hidrógeno y oxígeno, cómo se muestra en la figura 2:

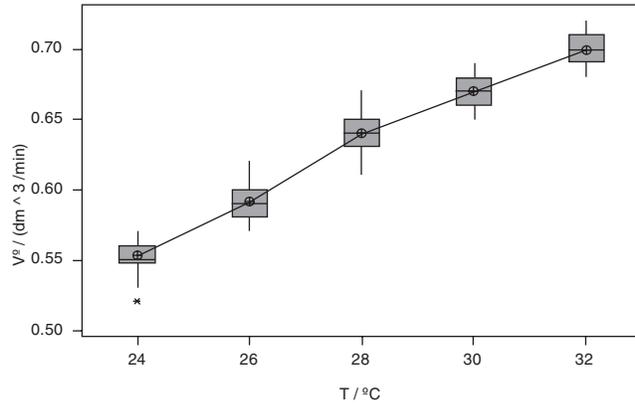


Figura 2. Tasa de hidrógeno y oxígeno en función de la temperatura con una concentración 0.4M de KOH

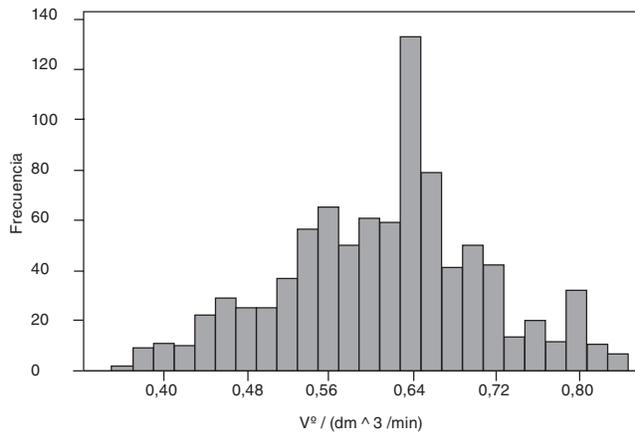


Figura 3. Distribución global de flujo volumétrico de gases producidos.

El análisis de varianza para el experimento evalúa la significancia sobre la producción gaseosa utilizando el estadístico F de Fisher.

Tabla I. *Análisis de varianza transformado.*

Fuente de variación	F	P
Electrolito (bloque)	541.28	<0.0001
Concentración	61.35	<0.0001
Temperatura	499.5	<0.0001
Corriente eléctrica	0.77	0.3797
Conductividad eléctrica	97.08	<0.0001

Los valores de F y su probabilidad permiten discriminar los factores que no presentan efecto significativo, en este caso la corriente eléctrica es eliminada y el modelo de predicción obtenido presenta dos ecuaciones para cada soluto en solución, KOH y NaOH respectivamente:

$$\left(\frac{\dot{V}}{\text{dm}^3/\text{min}}\right) = K * e^{\left(\frac{-1745}{T/K}\right)} * \left(\frac{C_0}{\text{mol}/\text{dm}^3}\right)^{-5.5 + \frac{1643}{(T/K)}} * \left(\frac{\frac{k_E}{\text{mS}/\text{mm}}}{\sqrt{\frac{C_0}{\text{mol}/\text{dm}^3}}}\right)^{0.7379}$$

donde:

V : flujo de oxígeno e hidrógeno en dm<sup>3</sup>/min

T : temperatura en grados Kelvin

C<sub>0</sub> : concentración inicial de electrolito en mol/dm<sup>3</sup>

k<sub>E</sub> : conductividad eléctrica en ms/mm

K : constante empírica de 251.14 para el KOH y 233.2 para NaOH

### Discusión de resultados

El experimento diseñado describe aceptablemente el comportamiento de la producción de hidrógeno y oxígeno del reactor, con una potencia significativa en el rango de temperaturas y concentraciones antes expuesto. Las variaciones muestran hipotéticamente que la temperatura afecta al acelerar las partículas contra las placas del reactor y la presencia del electrolito aumenta la velocidad del proceso. El modelo de Arrhenius (Atkins, 1991, p. 863) y el de Debye-Hückel (Levine, 2004, p. 365) postulan suposiciones que no provocan desviaciones impor-

tantes del comportamiento experimental, ya que están basadas en la probabilidad de colisión exitosa para una transformación molecular.

El análisis gráfico y algunas pruebas sobre los residuos del modelo de predicción (Navidi, 2006, p.634) muestran que estos se comportan en forma significativamente normal y homosedástica, lo que le confiere validez. La co-variable de la corriente eléctrica es considerada un factor irrelevante posiblemente porque se asocia al paso de cargas por el circuito del reactor, lo que también es descrito numéricamente por la conductividad eléctrica del medio acuoso, que es la principal resistencia.

### Conclusiones

Para los intervalos establecidos en cada factor se puede afirmar lo siguiente para el reactor analizado.

1. El efecto de la temperatura y la concentración son significativos y presentan una mayor producción gaseosa en sus valores máximos.
2. El diseño anidado con dos covariables y un bloqueo en la identidad de la sustancia, permite describir diferencias significativas en la producción de hidrógeno.
3. Las transformaciones logarítmicas e inversas para los modelos de Arrhenius y Debye-Huckel, presentan un mejor ajuste para las ecuaciones de predicción que un modelo lineal generalizado, explicando hasta un 85.78% de su variabilidad.

### Recomendaciones

Para continuar una investigación más profunda, se recomienda lo siguiente:

1. Introducir la temperatura como una co-variable más, ya que el reactor presenta un calentamiento natural de sus conductores.
2. Adicionar al modelo experimental diferentes variables de diseño, que puedan optimizar el uso de materiales y factores de forma.

### Referencias bibliográficas

- Atkins, P., (1991). *Fisicoquímica*. (3ª ed.). Delaware, E.U.A.: Editorial Addison-Wesley Iberoamericana.
- Levine, I., (2004). *Fisicoquímica*. (5ª ed.). Madrid, España: Editorial McGraw-Hill.
- Montgomery, D. (2004). *Diseño y análisis de experimentos*. (2ª ed.). México D.F., México: Editorial Limusa Wiley.
- Navidi, W. (2006). *Estadística para ingenieros y científicos*. (1ª ed.). México D.F., México: Editorial McGraw-Hill.

### Información del autor

Ingeniero Químico, William Eduardo Fagiani Cruz, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2011.

Maestro en Artes en Estadística aplicada, Escuela de Estudios de Postgrado, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2018.

Afiliación laboral: Área de Fisicoquímica de la Escuela de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

# ANÁLISIS DE LOS INDICADORES DEL RENDIMIENTO ACADÉMICO EN LOS CURSOS A CARGO DE LA ESCUELA DE CIENCIAS DURANTE EL PERÍODO 2010 AL 2015, EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA, USAC.

*Analysis of the Indicators of Academic Performance in the Courses in Charge of the School of Science During the Period 2010 To 2015, in the Faculty Of Engineering, USAC.*

**Mayra Virginia Carvajal Castillo**

Mtra. en Estadística Aplicada

Correspondencia al autor: mayracarvajalcastillo91@gmail.com

Recibido: 13 de marzo 2018 | Revisado: 14 de marzo 2018 | Aprobado: 16 de marzo 2018

Asesorado por: Mtro. en Investigación de Operaciones

**Edwin Adalberto Bracamonte Orozco** edwinbracamonte@yahoo.com

## Resumen

La Escuela de Ciencias de la Facultad de Ingeniería es la encargada de la formación básica de los estudiantes de todas las carreras de ingeniería. Como parte de la búsqueda de la excelencia académica y en apoyo a los procesos de acreditación de las carreras, se realiza una evaluación profunda sobre el rendimiento académico en el área básica.

Se determinan los mejores indicadores del rendimiento académico en los cursos complementarios con relación a los de ciencias básicas. El área de Química tiene el menor promedio mientras el mayor corresponde a Técnica Complementaria. La carrera de Ingeniería Química tiene el mayor promedio mientras la carrera de Ingeniería en Ciencias y Sistemas tiene el menor.

## Abstract

*The School of Sciences of the Faculty of Engineering is responsible for the basic training of students of all engineering careers. As part of the search for academic excellence and in support of the processes of accreditation of careers, an in-depth evaluation of the academic performance in the basic area is made.*

*It is determined that complementary courses have better indicators of academic performance in relation to those of basic sciences. The Chemistry area has the lowest average while the highest corresponds to Complementary Technique. The Chemical Engineering degree has the highest average while the Science and Systems Engineering degree has the lowest.*

## Palabras clave

Análisis paramétrico y no paramétrico, rendimiento académico, parámetros poblaciones, porcentaje de aprobación.

## Keywords

*Parametric and non-parametric analysis, academic performance, population parameters, approval percentage.*

## Introducción

La Escuela de Ciencias de la Facultad de Ingeniería tiene a su cargo 39 cursos del área básica de diez carreras de ingeniería, los cuales corresponden a ciencias básicas y áreas complementarias, variando en su carácter obligatorio u optativo en función de la carrera.

Los procesos de acreditación que se impulsan en la Unidad Académica, requieren estudios integrados del comportamiento de los indicadores del rendimiento académico, cuyos resultados orienten la toma acertada de decisiones tendientes a su mejoramiento.

El estudio brinda una perspectiva del comportamiento de los indicadores de rendimiento académico en el período comprendido entre 2010 y 2015.

## Desarrollo del estudio

El estudio es de tipo cuantitativo, porque se basa en mediciones del rendimiento académico, su alcance es descriptivo y correlacional; mientras que el diseño es no experimental, pues se analiza la información sobre notas finales tal como la proporciona el Centro de Cálculo e Investigación de la Facultad de Ingeniería, para semestres regulares, retrasadas y cursos de vacaciones, (escala de 0 a 100 puntos).

El estudio se fundamenta en los aportes de Garbanzo (2007), Pizarro (1985) y Guzmán (2012). Las variables que se estudian son: porcentaje de aprobación y reprobación, nota promedio y varianza por curso y área; género y carrera de los estudiantes; año, naturaleza y obligatoriedad del curso.

A partir de 272,449 registros de calificaciones se calculan parámetros poblacionales y se aplican pruebas de normalidad. Para identificar diferencias entre los indicadores del rendimiento académico, se realizan pruebas de hipótesis para medias y varianzas, análisis Post Hoc; además se realizan pruebas de independencia y homogeneidad, análisis de regresión, entre otras. Dichos cálculos se realizan con el apoyo de Excel 2013 y SPSS 23.

## Resultados obtenidos

En coherencia con los objetivos propuestos, el estudio se divide en seis fases para un análisis detallado de la situación del rendimiento académico.

### a. Relación entre rendimiento académico y la carrera de ingeniería

Al aplicar una prueba de independencia se determina que el rendimiento académico en los cursos de la etapa básica, depende de la carrera de ingeniería. ( $\alpha=5\%$ ,  $X^2_T=386.125$ ,  $X^2_P=46,987$ ).

### b. Incidencia de la repitencia en el rendimiento académico

Por medio del análisis de regresión simple se establece la relación entre la nota promedio (y) en una materia y el número de veces que un estudiante la cursa, del cual se obtiene el modelo  $y=61.43 - 4.63x$

### c. Rendimiento académico de acuerdo a la carrera del estudiante

Con base en un análisis de varianza ( $F=83.305$ ,  $F_T=18,799$ ,  $\alpha=5\%$ ) y una prueba Post Hoc de Games-Howell se identifican diferencias significativas entre carreras, como se muestra.

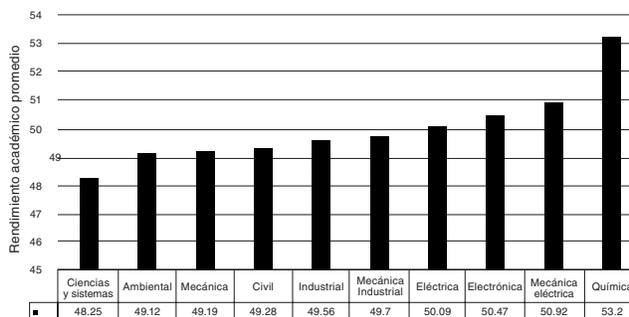


Figura 1. Rendimiento académico promedio por carrera de ingeniería en el período 2010-2015.

### d. Comparación del rendimiento académico entre áreas y departamentos

El promedio global más bajo es de 40.47 puntos y corresponde al Área de Química, mientras que el mayor corresponde a Técnica Complementaria, siendo éste de 62.61 puntos.

### e. Análisis de acuerdo al género

Se determina homogeneidad de varianzas con  $\alpha=5\%$ ,  $F_{0.975}=1.9070$ ,  $F_{0.025}=0.5244$  y  $F_c=0.086$ .

Luego, a partir de una prueba de hipótesis para diferencia de medias, se establece que el rendimiento académico del grupo femenino de estudiantes es de 55.20 puntos, el cual es significativamente mayor que el promedio del grupo masculino, que se determina en 52.27 puntos.

#### **f. Análisis de acuerdo al área a la que pertenece el curso y a su obligatoriedad**

Los 39 cursos se clasifican en dos categorías: Ciencias básicas (Matemática, Física, Estadística y Química) y Complementarios (Deportes, Técnica Complementaria, Idioma Técnico y Social Humanística). Por medio de una prueba de hipótesis de diferencia de medias se determina que en los cursos complementarios los alumnos muestran un mejor rendimiento académico ( $\mu_{cc} = 57.9$ ) que en los de ciencias básicas ( $\mu_{cb} = 50.2$ ).

### **Discusión de resultados**

La relación entre el rendimiento académico en los 39 cursos del área básica y la carrera de los estudiantes se analiza por medio de una prueba de independencia.

Dado que el valor crítico de la distribución de Chi cuadrado es mayor que el estadístico de prueba, se determina que existe una relación entre el rendimiento en los cursos y la carrera del estudiante.

La relación entre la repitencia y el rendimiento académico se expresa por medio de un modelo de regresión lineal simple, el cual presenta una pendiente negativa, lo cual indica que al aumentar el número de veces que se repita un curso, el rendimiento del estudiante disminuye.

Al analizar el rendimiento académico entre las carreras de ingeniería se identifican diferencias entre ellas. Al aplicar pruebas Post Hoc, las 10 carreras se agrupan en 4 grupos homogéneos, identificando que la carrera de Ingeniería Química presenta el rendimiento promedio más alto, equivalente a 53.2 puntos.

Se determina que el rendimiento académico entre las áreas y departamentos de la Escuela de Ciencias no es igual, al aplicar pruebas Post Hoc se identifican 8 grupos homogéneos, es decir, todas las áreas

presentan rendimientos distintos.

Además, se encuentra evidencia de que el rendimiento académico diferenciado por género, por tipo de curso y por obligatoriedad de un curso no es el mismo para cada variable. En términos de género se determina que las mujeres tienen un mejor rendimiento promedio que los hombres; aunque la subpoblación femenina constituye solamente el 20 % de la población en estudio, estos resultados coinciden con lo reportado en otras investigaciones. (Oyarzún et al., 2012; Di Gresia 2007). Los cursos complementarios tienen mejor rendimiento promedio que los cursos de ciencias básicas. Este hecho es preocupante si se considera la importancia que tiene la formación en ciencias básicas en todas las carreras de ingeniería.

También se determina que existe diferencia en el rendimiento académico en cursos obligatorios y cursos optativos para algunas de las carreras de ingeniería: Eléctrica, Mecánica Eléctrica, Ciencias y Sistemas, Electrónica y Ambiental.

Como resultado global de la investigación, se establece que el comportamiento evolutivo de los indicadores del rendimiento académico en los cursos administrados por la Escuela de Ciencias, en el período de 2010 a 2013, es estable pero bajo. Por lo cual existen muchas oportunidades de mejora de dichos indicadores.

### **Conclusiones**

1. Existe relación entre los indicadores del rendimiento académico en los 39 cursos administrados por la Escuela de Ciencias y la carrera de ingeniería a la que pertenecen los estudiantes.

Por medio del modelo de regresión simple dado por  $y=61.44 - 4.63x$ , se determina que al aumentar el número de veces que un estudiante cursa una materia a cargo de la Escuela de Ciencias, su rendimiento académico en la misma disminuye. La relación lineal entre la nota final y el número de veces que se repite un curso no es fuerte y causa una alta variabilidad.

2. El rendimiento académico promedio es diferente para todas las carreras de la Facultad de Ingeniería, las cuales se asocian en 4 grupos homogéneos. La carrera de Ingeniería Química presenta el rendimiento promedio mayor de todas las carreras.
3. El rendimiento académico es distinto en todas las áreas de la Escuela de Ciencias, siendo el área de Química General, la que presenta el rendimiento promedio más bajo y el área de Técnica Complementaria, el más alto.
4. Se determina que existen diferencias en el rendimiento académico promedio de hombres y mujeres, de acuerdo al estadístico de prueba, las mujeres presentan un rendimiento promedio mayor que los hombres.
5. El rendimiento académico promedio es menor en los cursos de ciencias básicas que en los cursos complementarios. De manera análoga, en los cursos optativos el rendimiento académico es mejor que en los cursos obligatorios, especialmente las carreras de Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas, Ingeniería Electrónica e Ingeniería Ambiental.

### Recomendaciones

1. El modelo lineal que se deduce puede predecir hasta cierto punto el rendimiento académico del estudiante. Es pertinente que se realice otro estudio para identificar otras variables que puedan afectar el rendimiento y calcular un modelo lineal multivariante.
2. Realizar un estudio para determinar qué características tienen los estudiantes de las distintas carreras que influyan en que los indicadores de su rendimiento académico sean parecidos o distintos.
3. Investigar los factores que determinan las diferencias observadas en los indicadores del rendimiento académico en las áreas de la Escuela de Ciencias.

### Referencias bibliográficas

- Di Gresia, L (2007). *Rendimiento académico universitario*. Universidad Nacional de la Plata. Recuperado de Internet. <http://www.aeo.org.ar/anales/works/works2007/digresia.pdf>.
- Garbanzo, G. M. (2007) *Factores asociados al rendimiento académico en estudiantes universitarios, una reflexión desde la calidad de la educación superior pública*. Revista Educación 31(1), 43-63, ISSN: 0379-7082.
- Guzmán, M. P. (2012). *Modelos predictivos y explicativos del rendimiento académico universitario: caso de una institución privada en México*. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- Oyarzún, G., Estrada, C., Pino, E. y Oyarzún, M. (2012). *Habilidades sociales y rendimiento académico: una mirada desde el género*. Acta Colombiana de Psicología, volumen 15 (2), 21-28.
- Pizarro, R. (1985). *Rasgos y actitudes del profesor efectivo*. Tesis para optar el Grado de Magister en Ciencias de la Educación Pontificia. Universidad de Chile. Chile.

### Información del autor

Ingeniera Industrial, Mayra Virginia Carvajal Castillo, graduada de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2016.

Maestra en Artes en Estadística Aplicada, Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2018.

Afiliación laboral: Profesora del Área de Estadística de la Escuela de Ciencias de la Facultad de Ingeniería, USAC.

# ANÁLISIS DE LOS INDICADORES DEL AVANCE ACADÉMICO EN LOS CURSOS DE LA ESCUELA DE CIENCIAS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, DEL 2010 AL 2015

*Analysis of the Indicators of the Academic Advance in the Courses of the School of Sciences of the Faculty of Engineering of the University of San Carlos De Guatemala, From 2010 To 2015*

**Adonai Navas García**

Mtro. en Estadística Aplicada

Correspondencia al autor: adonai\_navas@yahoo.com

Recibido: 09 de marzo 2018 | Revisado: 10 de marzo 2018 | Aprobado: 16 de marzo 2018

Asesorado por: Mtro. en Investigación de Operaciones

**Edwin Adalberto Bracamonte Orozco** edwinbracamonte@yahoo.com

## Resumen

El presente estudio de graduación es una propuesta de solución al problema de medición del avance académico a través de créditos obtenidos, centrándose en los cursos que administra la Escuela de Ciencias de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Se realiza un diseño de indicadores para formar un índice del avance académico de la Escuela de Ciencias, a través de promedios ponderados y para cada desagregación de la base de datos dada por el Centro de Cálculo de la Facultad de Ingeniería.

Se obtienen indicadores para la Escuela de Ciencias con un índice de avance académico real de 48 %. También se logra determinar que el avance académico real para el género femenino es del 45.59 % y para el masculino del 44.88 %, no representando diferencias significativas. Se determina el avance por áreas cuyos resultados van desde 74.06 % hasta 34.14 %. Por carrera, desde 43.76 % hasta 49.19 %, cuyas diferencias sí resultan ser significativas.

## Palabras clave

Índice de avance académico, indicadores de avance académico, créditos académicos.

## Abstract

*The present graduation essay is a solution proposal to the academic progress measurement through the academic credits obtained, focus on the courses administrated by the Sciences School of the Engineering Faculty of University of San Carlos of Guatemala.*

*It's realized an indicators design to create an index for the Sciences School, through weighted averages and for each possible disaggregation of the data base given by the Data Center of the Engineering Faculty.*

*Then, it is obtained indicators for the Sciences School with an academic progress real index of 48 %. Also it's determined that the female academic progress is 45.59 % and for the male 44.88 %, with no significant statistic differences. It's determined the academic progress by area from a 74.06 % down to 31.14 %. By career, from 43.76 up to 49.19 % with significant statistics differences.*

## Keywords

*Academic progress index, academic progress indicators, academic credits, academic progress.*

## Introducción

El presente estudio consiste en una primera aproximación para describir el avance académico real de los estudiantes, dentro del pensum correspondiente para una cohorte completa, entendiendo como avance académico real, la obtención de créditos académicos asignados versus créditos obtenidos. El estudio se centra en los cursos que administra la Escuela de Ciencias para cada una de las carreras que se imparten en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Se aportan metodologías específicas para la creación de indicadores del avance académico que pueden ser utilizados para hacer mediciones periódicas, como una herramienta de apoyo para los procesos de acreditación y re-acreditación de las carreras de la Facultad que se gestionan desde las instancias académicas y administrativas, (COPAES, 2002; Sierra, 2012; Kena *et. al.*, 2016 y Murduchowicz, 2016).

## Desarrollo del estudio

El estudio es longitudinal y se clasifica como cuantitativo, descriptivo y correlacional. El diseño es no experimental, pues se analiza la base de datos oficial del Centro de Cálculo de la Facultad de Ingeniería, con 272,449 registros de estudiantes asignados a los cursos que administra la Escuela de Ciencias. Tales registros representan la información exacta de la cantidad de estudiantes asignados a los 38 cursos de la Escuela de Ciencias, subdivididos en 4 áreas y 4 departamentos, durante el período 2010 – 2015.

Para el cálculo del avance académico se toma como base lo propuesto por Carot (2012), para la “tasa de rendimiento de titulación”, a la cual se le llama porcentaje de Avance Académico y se define de la siguiente manera:

$$\% \text{ Avance Académico} = \left( \frac{\text{Nro. de créditos superados}}{\text{Nro. de créditos programados}} \right) * 100$$

En el caso de estudio, se aplica específicamente para el avance real de los estudiantes, es decir, los créditos académicos asignados en lugar de los programados.

$$\% \text{ avance académico real} = \left( \frac{\text{Nro. de créditos aprobados}}{\text{Nro. de créditos asignados}} \right) * 100$$

Se aplican pruebas de normalidad, pruebas de homogeneidad de varianzas, pruebas paramétricas y no paramétricas, análisis de correlación, creación de indicadores e índices, así como pruebas Post Hoc tales como Tukey, Games-Howell, t de Student, en función de los resultados de la prueba de Fisher, el estadígrafo de Levene, y el ANOVA correspondiente.

## Resultados obtenidos

Para describir el avance académico por cohorte se aplican técnicas de regresión lineal simple y se obtiene el modelo con las siguientes características:

$R^2 = 0.8537$ , Error típico = 1.7214,  $F = 23.6323$ , Valor crítico de  $F = 0.0046$  y coeficiente de correlación de Pearson = 0.908.

A partir de lo anterior, se construye el modelo de regresión dado por  $AA = 1.58 X - 3134.99$ , donde AA es avance académico y X representa la cohorte.

El avance por área se muestra en la tabla siguiente:

Tabla I. *Índice de Avance académico por área durante el período 2010 – 2015.*

Área	Avance Académico
Técnica Complementaria	74.06 %
Idioma Técnico	66.92 %
Social Humanística	55.56 %
Deportes	53.48 %
Matemática	44.35 %
Estadística	44.13 %
Física	38.53 %
Química	34.14 %

Tabla II. *Índice de avance académico por carrera durante el período 2010 – 2015.*

Carrera de ingeniería	Avance Académico
Ambiental	43.76 %
Civil	44.56 %
Eléctrica	45.64 %
Electrónica	46.99 %
Ciencias y Sistemas	43.26 %
Industrial	44.01 %
Mecánica	44.62 %
Mecánica Eléctrica	47.22 %
Mecánica Industrial	45.46 %
Química	49.19 %

Para el avance académico por género, se determina que para el grupo femenino el índice es de 45.59 %, y para el grupo masculino de 44.88 %. En cuanto a la clasificación de los cursos de la Escuela de Ciencias agrupados en ciencia básica y cursos complementarios, los índices son 41.25 % y 59.90 %, respectivamente. Para la clasificación de los cursos de la Escuela de Ciencias agrupados en cursos obligatorios y cursos optativos, los índices son 44.44 % y 53.82 %, respectivamente. El índice global de avance es I.G.E.C. = 48 %.

### Discusión de resultados

El índice de avance académico real promedio durante las cohortes en el período del año 2010 a 2015 es de 48 %. Esto puede interpretarse como que si solo el 48 % de los alumnos avanza, el 52 % no avanza (índice de no avance que no es más que  $100\% - 48\% = 52\%$ ).

El análisis de regresión que se aplica para el modelo de dependencia entre avance académico y cohorte, resulta teóricamente adecuado, explica el 85.37 % del fenómeno del avance académico en la etapa básica.

En cuanto al avance académico real por área, se determina que el mayor avance es en Técnica Complementaria con un 74.06 % y la de menor avance es Química, con un 34.14 %. Los resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov indican que existe normalidad en los datos (significación asintótica

bilateral de 0.20 a un nivel de significancia del 5 %). No hay homogeneidad de varianzas, según la prueba de Fisher (significación de 0.00 con el mismo nivel de confiabilidad). Las diferencias se tratan vía la prueba de Games-Howell cuyos resultados indican la formación de cuatro grupos homogéneos.

En cuanto a las diferencias en el avance académico por carrera se tiene nuevamente que no hay homogeneidad de varianzas y la prueba de Games-Howell identifica dos grupos homogéneos, siendo las carreras más disímiles Ingeniería Química e Ingeniería en Ciencias y Sistemas.

A través de la prueba t de Student para dos muestras independientes se analizan las diferencias por género y los resultados muestran que no hay diferencia en el avance académico ( $M_f=45.59\%$   $M_m=44.88\%$ ).

Con relación al avance académico en los cursos de la Escuela de Ciencias, según la clasificación dada, se tiene que para las ciencias básicas es de 42.13 %, mientras que para los cursos complementarios es de 60.42 % y, aplicando una prueba t de Student se tiene que hay diferencias significativas en la clasificación Ciencia Básica – Cursos Complementarios.

Se determina además que los cursos obligatorios tienen un avance del 44.44 %; mientras que los cursos optativos tienen un 53.82 % de avance. Los resultados que se obtienen de un análisis de correlación muestran que están directamente relacionados entre sí y por tener promedios distintos se realiza una prueba t de Student, cuyo resultado es que las diferencias de promedios si son estadísticamente significativas.

Para la construcción del índice global de avance académico real en la etapa básica por carrera se realiza un promedio ponderado entre el promedio de Ciencias Básicas y Cursos Complementarios.

$$I.G.E.C = \frac{(ACB)(\#asignaciones aprobadas CB) + (ACC)(\#asignaciones aprobadas CC)}{\text{Total de asignaciones aprobadas}}$$

donde, ACB es el avance académico en los cursos de ciencias básicas, CB es la clasificación de ciencia básica, ACC es avance académico en los cursos complementarios, CC es nomenclatura de cursos complementarios e IGEC es el Índice Global de la Escuela de Ciencias en el período 2010-2015.

Es decir,

$$I.G.E.C = \frac{(41.25\%)(82,182) + (59.90\%)(46,631)}{128,813} \cong 48\%$$

## Conclusiones

1. A partir de los cálculos que se realizan se obtiene un índice general de avance académico para la Escuela de Ciencias de la Facultad de Ingeniería de 48 %.
2. Del análisis de regresión entre la cohorte y el avance académico resulta obvio que las cohortes han ido mejorando en cuanto a su avance académico en el período estudiado, desde 39.89 % a 49.95 %.
3. Los indicadores de avance académico por área, carrera y género resultan normales a través de la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Existiendo diferencias estadísticamente significativas por área y carrera, mientras que por género, las diferencias no son significativas.
4. En cuanto a los cursos de la Escuela de Ciencias clasificados como Ciencias Básicas y Cursos Complementarios, se tiene que el avance académico real es de 41.25 % en Ciencia Básica y de 59.90 % en los Cursos Complementarios.
5. Los cursos obligatorios tienen un avance promedio de 44.44 % y los optativos de 53.82 %, siendo estas diferencias estadísticamente significativas.

## Recomendaciones

A la Escuela de Ciencias y a la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería

1. Realizar un análisis conjunto entre avance académico, rendimiento académico y la eficiencia terminal de los cursos de la Escuela de Ciencias

de la Facultad de Ingeniería.

2. Dar seguimiento al presente análisis para calibrar y corroborar el modelo regresor entre cohorte y avance académico a lo largo del tiempo.
3. Dar continuidad al análisis del avance académico real, para ver posibles diferencias futuras por área, carrera, género, ciencia básica y cursos complementarios, así también por obligatoriedad de los cursos.
4. Realizar análisis cruzados con proyecciones de ingreso y de eficiencia terminal para ver el efecto del avance académico real y tomar medidas para mejorar los indicadores involucrados.

## Referencias bibliográficas

- COPAES (Consejo para la Acreditación de la Educación Superior). (2002) *Desarrollo de criterios, indicadores y parámetros para cada categoría o factor del Marco General para los Procesos de Acreditación de Programas Académicos de Nivel Superior*. México.
- Kena, G., et. al. (2016). *The Condition of Education 2016* (NCES 2016-144). U.S. Department of Education. Washington, DC.
- Morduchowicz, A. (2006) *Los indicadores educativos y las dimensiones que los integran*. IIPE - UNESCO - Sede Regional Buenos Aires; Argentina.
- Sierra, J. M. (2012). *Sistema Básico de Indicadores para la Educación Superior de América Latina*. Editorial Universitat Politècnica de Valencia: España.

## Información del autor

Licenciado en Matemática, Facultad de Matemática y Computación, Universidad de la Habana, 2008.

Maestro en Artes en Estadística Aplicada de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2018.

Afiliación laboral: Profesor interino de la Maestría en Estadística Aplicada de la Escuela de Estudios de Posgrado, USAC.

## EVALUACIÓN DE INDICADORES DE RENDIMIENTO ACADÉMICO EN LOS CURSOS PROFESIONALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA, USAC 2010-2015.

*Evaluation of academic performance indicators IN professional courses of the career of Civil Engineering of the Faculty of Engineering, USAC 2010-2015.*

**Francisco Bernardo De La Rosa**

Mtro. en Estadística Aplicada

Correspondencia al autor: franciscodelarosa.3@gmail.com

Recibido: 17 de marzo 2018 | Revisado: 19 de marzo 2018 | Aprobado: 21 de marzo 2018

Asesorado por: Mtro. en Investigación de Operaciones

**Edwin Adalberto Bracamonte Orozco** edwinbracamonte@yahoo.com

### Resumen

Desde el año 2009, la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se ha sometido a un proceso de acreditación ante la Agencia Centroamericana de Acreditación de Programas de Arquitectura y de Ingeniería ACAAI (2016). El proceso de acreditación debe ser renovado periódicamente. Uno de los requisitos necesarios para solventar el proceso es contar con información cuantitativa precisa de los cursos, que permitan evaluar la efectividad del proceso de enseñanza aprendizaje. Se analiza el comportamiento de los indicadores de rendimiento académico tales como nota promedio, porcentaje de aprobación y avance por créditos de los cursos correspondientes a las 5 áreas profesionales de la carrera. Se muestran las diferencias que existen en dichos indicadores dependiendo del ciclo lectivo al que correspondan, ya sea semestre regular o curso de vacaciones.

### Palabras clave

Indicador, rendimiento académico, gráfico lexis.

### Abstract

*Since 2009, the Civil Engineering degree at the Faculty of Engineering of the University of San Carlos of Guatemala has undergone an accreditation process before the Central American Agency for the Accreditation of Architecture and Engineering Programs ACAAI (2016). The accreditation process must be renewed periodically. One of the necessary requirements to solve the process is to have precise quantitative information of the courses, which allow evaluating the effectiveness of the teaching-learning process. The behavior of the indicators of academic performance such as average grade, percentage of approval and advance by credits of the courses corresponding to the 5 professional areas of the career are analyzed. The differences that exist in said indicators are shown depending on the school year to which they correspond, whether it is a regular semester or a vacation course.*

### Keywords

*Indicator, academic performance lexis graphic.*

## Introducción

En este artículo se analiza y compara el comportamiento de la nota final y el porcentaje de aprobación de los cursos profesionales de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, del año 2010 a 2015. Existen otros posibles indicadores de rendimiento académico tal como lo indica Castañeda (2016), sin embargo, se eligen a estos por ser los más conocidos en el medio nacional. Contar con este tipo de información es importante para analizar el comportamiento del rendimiento académico a lo largo de un cierto período y explorar la existencia de patrones. Además, se pueden realizar comparaciones de los valores de dichos indicadores correspondientes a ciertos grupos de interés, por ejemplo, comparar si existen diferencias significativas entre el rendimiento de mujeres y hombres, áreas de estudio, cursos, año, entre otros.

En Yalibat (2016) también se analiza el rendimiento académico en la Facultad de Ingeniería. Sin embargo, en dicho estudio se analizan los factores que inciden en el rendimiento y además se restringe a un sólo indicador (el promedio) y un año de la carrera de Ingeniería Civil. Por otra parte, se trabaja con una muestra y no la población.

## Desarrollo del estudio

El estudio es cuantitativo en su enfoque, pues se basa en el cálculo de ciertas cantidades que representan a los indicadores. Por otra parte, se limita a mostrar el comportamiento de los indicadores y no se intenta explicar las razones de dicho comportamiento, por ello su alcance es descriptivo. La información que se utiliza para los cálculos procede del Centro de Cálculo de la Facultad y no se manipularon los datos, de manera que el diseño de la investigación es no experimental. Por otra parte, es un estudio longitudinal, pues el análisis abarca un período de cinco años. La base de datos está constituida por la totalidad de estudiantes de los cursos profesionales de la carrera de Ingeniería Civil del año 2010 a 2015.

Las variables que representan a los indicadores son porcentaje de aprobación, el cual se calcula de la siguiente forma:

$$\frac{(\text{No. estudiantes aprobados}) * 100}{(\text{No. total de estudiantes asignados})}$$

Por su parte, la nota final equivale a la nota sobre 100 puntos obtenida por el estudiante al final de curso. En el análisis se consideran cuatro períodos, los cuales son: primer semestre, vacaciones primer semestre, segundo semestre, vacaciones segundo semestre. En el caso del porcentaje de aprobación, se representa de forma gráfica para poder establecer su comportamiento a lo largo de los cuatro períodos mencionados anteriormente. Con respecto a la nota final, el interés se centra en comparar las distribuciones de ésta entre ciertos grupos de interés como mujeres y hombres, áreas de estudio.

Se establece por medio de la prueba de Kolmogorov Smirnov que la nota final no se ajusta a una distribución normal, por lo cual se aplican las pruebas de U de Mann-Whitney y Kruskal-Wallis para dos y más de dos poblaciones, respectivamente.

Al aplicar las pruebas anteriores es posible comparar las medias de los grupos siempre y cuando exista igualdad de varianzas. En este caso, por medio de la prueba de Levene se establece esto y se determina que no existe igualdad de varianzas. Por lo cual al aplicar dichas pruebas, lo único que se puede afirmar es si las distribuciones de los grupos analizados son iguales o no de manera general y no respecto a ningún parámetro en particular. Para poder apreciar estas diferencias, se recurre al análisis de los valores de la mediana y los respectivos cuartiles correspondientes a mujeres y hombres.

## Resultados obtenidos

En la figura 1 y 2 se muestra el comportamiento del porcentaje de aprobación de dos áreas profesionales. En la primera no existen datos correspondientes a cursos de vacaciones; mientras en la segunda, sí los hay. En la figura 3, se observa la distribución de frecuencias de la nota final.

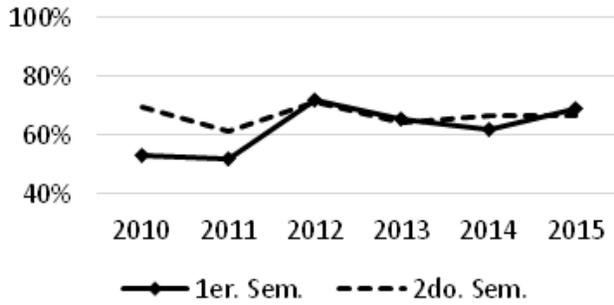


Figura 1. Porcentaje promedio de aprobación estudiantil en los cursos del área de Topografía y Transportes de 2010 a 2015, por semestre.

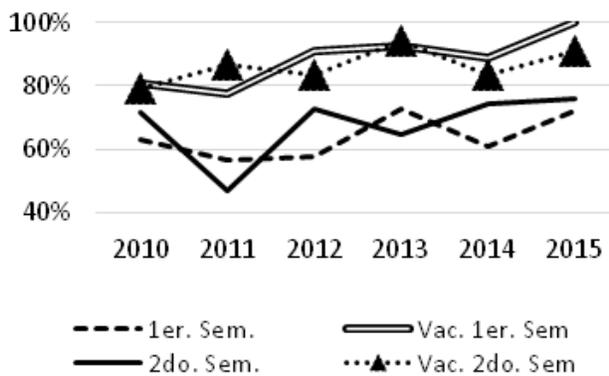


Figura 2. Porcentaje de aprobación de los cursos profesionales del Área Planeamiento.

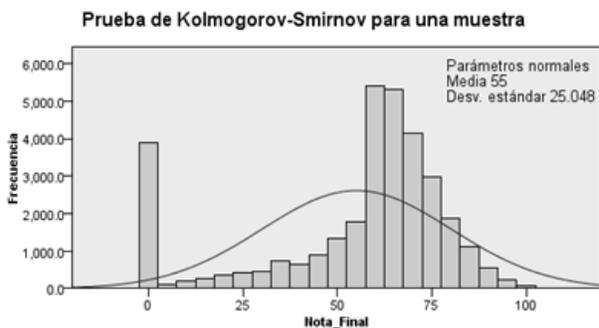


Figura 3. Histograma Nota Final

En la tabla I, se muestran los resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas. Dado que la significancia (Sig.) es menor que 0.05, no hay homogeneidad entre las varianzas.

Tabla I. Prueba Levenne entre mujeres y hombres

Nota final			
Estadístico Levenne	gl1	gl2	Sig.
38.855	1	3278	0.000

En la figura 4 se muestra el comportamiento del avance por créditos de las diferentes cohortes

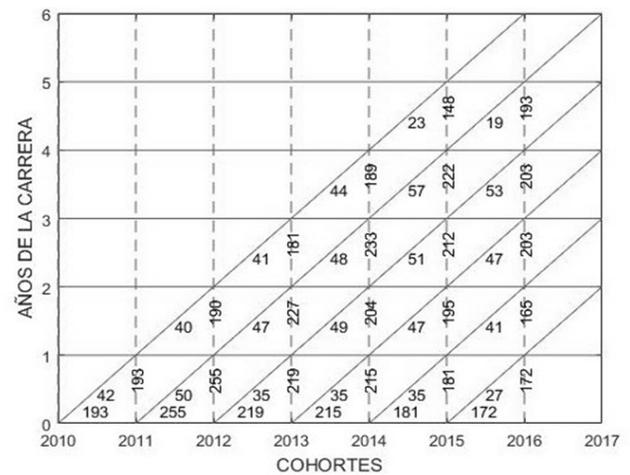


Figura 4. Lexis Gráfico

Tabla II. Cuartiles mujeres y hombres

	Mujeres	Hombres
<b>Mediana</b>	63.00	62.00
<b>Percentiles</b>		
25	51.00	48.00
50	63.00	62.00
75	72.00	70.00

### Discusión de resultados

En la figura 1, se puede apreciar que los porcentajes de aprobación del área de Topografía y Transporte tienen valores parecidos, sobre todo a partir del año 2012. No aparecen valores correspondientes a los cursos de vacaciones, pues se carece de los datos

respectivos, lo que es posible que se deba a que no se imparte dicho curso en esos períodos.

Por su parte, la figura 2 muestra los resultados correspondientes al área de Planeamiento. Se observa que los valores de los cursos de vacaciones son más altos que los valores de los semestres regulares a lo largo de los años analizados. En el resto de áreas examinadas se observa una situación similar.

Con respecto a la nota final, en la figura 3 se muestra el histograma donde se observa que la distribución carece de normalidad, además se evidencia la apreciable cantidad de notas igual a cero.

Sin embargo, dado que no existe igualdad de varianzas (tabla I) la prueba solamente informa acerca de las diferencias entre mujeres y hombres de manera general. Para apreciar estas diferencias se recurre a la tabla II.

En dicha tabla se observa que las medianas son similares en ambos grupos, Además, se observa que, el 50 % de la nota de las mujeres se encuentra entre 51 y 72 puntos y en el caso de los hombres se encuentra entre 48 y 70 puntos. Por lo que puede afirmarse que las mujeres tienen un desempeño ligeramente mejor que los hombres. Una situación análoga se presenta en el resto de áreas analizadas.

En la figura 4 se puede apreciar el comportamiento del avance por créditos de las cohortes estudiadas. Por ejemplo, respecto a la cohorte 2010, iniciaron 193 estudiantes de los cuales 42 cumplieron con el requisito mínimo de créditos al final del primer año. Al final de los 5 años de estudio, solamente 23 concluyeron con el mínimo de créditos requerido.

## Conclusiones

1. El porcentaje de aprobación en los cursos de vacaciones es mayor que en los semestres regulares en el Área de Planeamiento.
2. Solamente 23 de 193 estudiantes finaliza los 5 años de estudio con el mínimo de créditos requerido.
3. Existe una diferencia en la nota final entre mujeres y hombres, donde el 50 % de la nota de las mujeres se encuentra entre 51 y 72 puntos.

## Recomendaciones

1. Que las Direcciones de las Escuelas realicen análisis periódicos, con el fin actualizar los indicadores y evaluar los cambios ocurridos.

## Referencias bibliográficas

- ACAAI (2017). *Agencia Centroamericana de acreditación de programas de Arquitectura e Ingeniería. Programas de acreditados*. Ciudad de Panamá, Panamá. Recuperado de <http://acaai.org.gt/programas-acreditados/>
- Castañeda, E. (2016). *Rendimiento académico de los estudiantes en el primer semestre: Facultad de Ingeniería cohortes 2016-1 y 2015-1. Ingeniería y Sociedad, (11), 27-33*. Recuperado de <https://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/ingeso/article/view/327005/20784224>
- Yalibat, A.(2016) *Estudio para Determinar Factores que Inciden en el Rendimiento de los Estudiantes del Programa de Ingeniería Civil, Fiusac*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería, USAC. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/5323/1/Ana%20Lucia%20Yalibat%20Rojas.pdf>

## Información del autor

Licenciado en Matemática Aplicada, Francisco De La Rosa, graduado en la Facultad de Ingeniería Universidad de San Carlos de Guatemala, 2005.

Maestro en Artes en Estadística Aplicada. Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2018.

Afiliación laboral: Profesor titular de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

# ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL RENDIMIENTO ACADÉMICO EN LOS CURSOS PROFESIONALES DE LOS ESTUDIANTES DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, DURANTE LOS AÑOS 2010 A 2015

*Statistical Analysis of Academic Performance in Professional Courses of The Students of Mechanical Engineering of the University of San Carlos de Guatemala, During the Years 2010 to 2015*

**Luis Carlos Bolaños Méndez**

Mtro. en Estadística Aplicada

Correspondencia al autor: lclbm80@gmail.com

Recibido: 17 de marzo 2018 | Revisado: 19 de marzo 2018 | Aprobado: 21 de marzo 2018

Asesorado por: Mtro. en Investigación de Operaciones

**Edwin Adalberto Bracamonte Orozco** edwinbracamonte@yahoo.com

## Resumen

La FIUSAC cuenta con diversas carreras, una de estas es Ingeniería Mecánica, la que carece de estudios recientes del rendimiento académico de sus estudiantes, por lo que el presente trabajo investiga este problema. Para ello se analizan las notas de los estudiantes del año 2010 a 2015 de dicha carrera, se tienen 9282 registros, se calculan las calificaciones promedio, porcentajes de estudiantes aprobados e índices de avance por créditos acumulados; se aplican pruebas paramétricas para encontrar diferencias y similitudes, y se determina que el rendimiento académico es distinto en diferentes cursos, el mismo para los diferentes géneros, el mismo para las cohortes del 2010 al 2015; el rendimiento académico de los estudiantes no es igual en los diferentes ciclos lectivos y el avance de los estudiantes en la carrera no es similar para las diferentes cohortes.

## Palabras clave

Índices de avance, rendimiento académico, Kruskal-Wallis, Kolmogorov - Smirnov.

## Abstract

*The FIUSAC has several careers, one of which is Mechanical Engineering, which lacks recent studies of the academic performance of its students, so the focus on the investigation is to analyze the academic performance. To reach the investigation objectives, the students' grades from 2010 to 2015 are analyzed, 9282 records are taken, average grades are calculated, percentages of students are approved, and advance rates for accumulated credits; parametric tests are applied to find differences and similarities, and it is determined that the academic performance is different in distinct from courses to courses, the same for the different genders, the same for the cohorts from 2010 to 2015; the academic performance of the students is not the same in the different school cycles and the advance of the students in the career is not similar for the different cohorts.*

## Keywords

*Indices of progress, academic performance, Kruskal-Wallis, Kolmogorov-Smirnov.*

## Introducción

En el presente estudio se entiende como rendimiento académico un constructo muy amplio sujeto a adoptar valores cuantitativos como lo explica Edel Navarro (2003), el cual se puede describir mediante las calificaciones de los estudiantes, la nota promedio y los porcentajes de estudiantes aprobados como lo indican Di Gresia y Porto (2004). El estudio no investiga los factores que intervienen en dicho constructo, solamente describe el rendimiento mediante las calificaciones promedio y el porcentaje de estudiantes aprobados por materia. También se calculan los índices de avance por créditos acumulados como lo establecen Rodríguez y Ruiz (2011). Todos estos valores se organizan de acuerdo a las siguientes categorías: género, año de ingreso a la Facultad, ciclos lectivos y cursos de la carrera; se analiza la distribución de los datos para verificar normalidad, con lo que luego se determina que la estadística a utilizar debe ser no paramétrica; se utiliza la prueba de Kolmogorov-Smirnov y la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, se calculan también las estadísticas descriptivas y con estos resultados se identifican las diferencias y similitudes en el rendimiento académico bajo los criterios mencionados anteriormente.

## Desarrollo del estudio

El enfoque del estudio es cuantitativo, ya que se analizan los valores de las notas finales de los cursos profesionales, el alcance es descriptivo, dado que se caracteriza el rendimiento académico y su tendencia, el diseño adoptado es no experimental, además es longitudinal de tendencia de evolución, pues se analizan los cursos del período del año 2010 al 2015. La población son los estudiantes de Ingeniería Mecánica que se asignaron cursos profesionales del año 2010 al 2015, las variables del estudio son: año, carné, género, curso, período lectivo.

Para efectuar el estudio se revisan varias fuentes bibliográficas referentes al rendimiento académico, así como a las pruebas estadísticas paramétricas y no paramétricas existentes para el análisis de da-

tos. Posteriormente, se solicita la base de datos al Centro de Cálculo de Ingeniería, por medio de la Escuela de Ciencias de la Facultad, y finalmente la información es depurada, organizada y analizada mediante el paquete computacional Matlab. Las técnicas estadísticas utilizadas son: estadísticas descriptivas, gráficos de cajas, prueba de Kolmogorov-Smirnov y prueba de Kruskal-Wallis.

## Resultados obtenidos

Se determina que las notas de los estudiantes no siguen una distribución normal, de acuerdo a la prueba de Kolmogorov-Smirnov con un valor  $p < 0.5$ .

### a) Contraste por cursos

Se aplica la prueba de Kruskal-Wallis a las notas en los diferentes cursos profesionales, y al porcentaje de estudiantes aprobados en los diferentes cursos, se obtienen valores de  $p$  iguales  $2 \times 10^{-7}$  y  $8 \times 10^{-7}$ , menores a 0.05, por lo que se determina que los estudiantes en los diferentes cursos no alcanzan el mismo rendimiento académico. El curso con rendimiento más alto es Procesos de Manufactura 2 y el curso con el rendimiento más bajo es Refrigeración.

### b) Contraste por períodos lectivos

Los cursos profesionales de la carrera inician en el cuarto semestre y terminan en el décimo, por lo que hay una cantidad de cursos profesionales en cada semestre, se aplica la prueba de Kruskal-Wallis a las notas y porcentajes de estudiantes aprobados, diferenciando la información por semestre y se obtienen valores de  $p$  de 0.01 y 0.001, por lo que se descarta igualdad en el rendimiento académico en los diferentes períodos lectivos. Se identifica el octavo semestre de la carrera como el período en el que los estudiantes presentan el rendimiento académico más alto y el sexto semestre el período en el que el rendimiento académico es más bajo.

### c) Contraste por género

Se aplica la prueba de Kruskal-Wallis a las notas y porcentajes de estudiantes aprobados agrupándolos por género, el valor de  $p$  es 0.52 que es mayor que 0.05, esto muestra la igualdad en el rendimiento académico de hombres y mujeres.

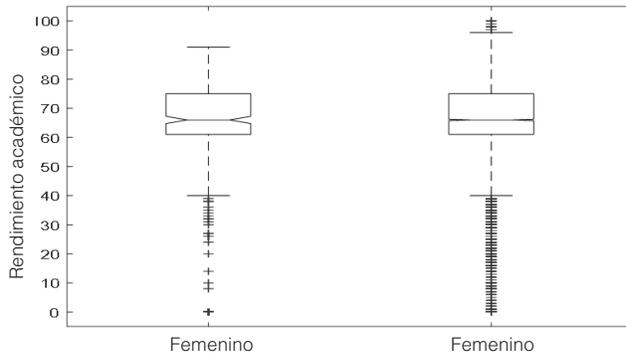


Figura 1. Rendimiento académico promedio por género de estudiantes de Ingeniería Mecánica del año 2010 a 2015.

**d) Análisis por año de ingreso a la Facultad**

Se agrupan las notas y porcentajes por cohortes de 2010 a 2015 y en otro grupo las cohortes inferiores al 2010, se aplica la prueba de Kruskal- Wallis a estos datos, y se obtienen valores p iguales a 0.03 y 0.04 cuando se incluye la cohorte inferior al 2010, pero se obtienen valores de  $p=0.39$  cuando no se incluye. Véase el siguiente gráfico.

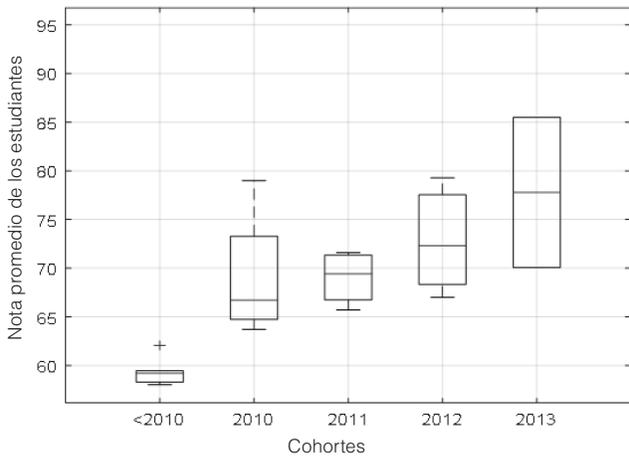


Figura 2. Rendimiento académico promedio por cohortes para estudiantes de Ingeniería Mecánica del año 2010 al 2015.

**e) Avance en la carrera**

Se calcula el índice de avance por créditos acumulados por cada uno de los estudiantes y se contrastan con la prueba de Kruskal-Wallis para las diferentes cohortes del 2010 al 2015, desde el tercer al quinto año y se obtienen valores de p iguales a 0.01 y 0.001, lo que muestra un avance académico desigual para las diferentes cohortes.

**f) Análisis longitudinal del avance académico**

Se calcula el número de estudiantes asignados en cada año y luego se establece el número de estudiantes que avanzan de acuerdo al pensum de la carrera, véase la siguiente figura.

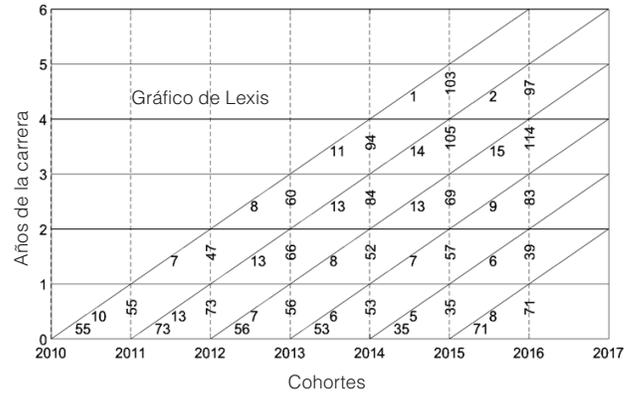


Figura 3. Avance académico de las cohortes del 2010 a 2015 de estudiantes de Ingeniería Mecánica.

En el eje horizontal se colocan las cohortes y en el eje vertical los años de la carrera. Para ver el avance de una cohorte hay que seguir las diagonales. Se observa que en el quinto año de la carrera la cohorte del 2010 tiene 103 estudiantes asignados, de los cuales solamente uno alcanza los créditos correspondientes a ese periodo.

**Discusión de resultados**

Luego de analizar la distribución de los datos y aplicar la prueba de Kolmogorov-Smirnov, se determina la no normalidad de la distribución, por lo que el camino a seguir para verificar igualdad de medias es la estadística no paramétrica. Se utiliza la prueba de Kruskal Wallis, la cual es una extensión de la prueba no paramétrica de Mann-Whitney y es el equivalente a la prueba ANOVA no paramétrica.

Cabe mencionar que no se efectúan análisis de homogeneidad de varianzas por lo que los resultados con la prueba de Kruskal-Wallis no verifican igualdad de distribución, solamente igualdad de medias, por lo que con los resultados anteriores no se comprueba si el rendimiento es estrictamente igual, solamente si los valores promedio del rendimiento académico son los mismos.

También hay que aclarar que no se considera necesario aplicar pruebas posteriores a la de Kruskal Wallis, pero esto puede efectuarse con la prueba no paramétrica de Dunn, si se quisiera ahondar más en el problema.

### Aportes adicionales

De manera simultánea, se elabora un programa de análisis estadístico utilizando el paquete Matlab, el cual implementa los siguientes cálculos: filtrado de la base de datos, resúmenes automatizados de la información, pruebas de normalidad; Smirnov-Kolmogorov, Anderson-Darling, Jarque-Bera, Lilliefors, adicional a esto calcula índices de avance, realiza gráficos de distribución y diagramas de supervivencia de cohortes.

### Conclusiones

1. Los cursos del área profesional de la carrera muestran rendimientos estadísticamente diferentes, el curso con el rendimiento más alto es Procesos de Manufactura 2 y el que tiene el rendimiento académico más bajo es Refrigeración.
2. No existen diferencias significativas en el rendimiento académico promedio de los estudiantes de las cohortes del 2010 al 2015.
3. El rendimiento académico en cada uno de los períodos es diferente, siendo el octavo semestre de la carrera el que tiene el mejor rendimiento, y el sexto, el más bajo.
4. Los hombres y las mujeres muestran un rendimiento académico similar.
5. Un estudiante de 55 y dos de 73 de las cohortes 2010 y 2011 alcanzaron la meta de obtener 250 créditos en los 5 años de su carrera.

### Recomendaciones

Que la Facultad de Ingeniería de la USAC, tome las siguientes medidas:

1. Implementar una forma automatizada de medir el rendimiento global de sus estudiantes de forma periódica.

2. Investigar de forma periódica, cuáles son los factores que hacen que los estudiantes tengan bajo rendimiento en los cursos básicos.

### Referencias bibliográficas

- Di Gresia, L., & Porto, A. (2004). *Dinámica del desempeño académico: Seguimiento de la cohorte 2000 de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad Nacional de La Plata*. Documento de Trabajo Nro, 49.
- Edel Navarro, R. (2003). *El rendimiento académico: concepto, investigación y desarrollo*. REICE: Revista Electrónica Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación.
- Rodríguez Ayán, M. N., & Ruiz Díaz, M. Á. (2011). *Indicadores de rendimiento de estudiantes universitarios: calificaciones versus créditos acumulados*. Revista de Educación.

### Información del autor

Ingeniero Electrónico, Luis Carlos Leonardo Bolaños Méndez, graduado de la Facultad de Ingeniería, USAC, 2005.

Maestro en Artes en Estadística Aplicada. Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2018.

Afiliación laboral: Profesor titular del departamento de Matemática de la Facultad de Ingeniería, USAC.



# ENERGÍA Y AMBIENTE

ÁREA DE DESARROLLO SOCIO AMBIENTAL Y ENERGÉTICO

# COORDINACIÓN DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS DE TRANSFORMADORES DE UNA PLANTA CEMENTERA

*Coordination of Electrical Protections of Transformers of a Cement Plant*

**Orlando José Paez Rodríguez**

Mtro. en Energía y Ambiente

Correspondencia al autor: orla87@gmail.com

Recibido: 17 de marzo 2018 | Revisado: 19 de marzo 2018 | Aprobado: 21 de marzo 2018

Asesorado por: Mtro. En Economía Aplicada y Administración de Negocios

**Juan Sebastián De León Regil Wald** sdeleonregil@yahoo.es

## Resumen

Las protecciones eléctricas resguardan a los equipos y procesos de fallas de energía internas como externas. Una industria cementera donde ocurren cambios repentinos de energía por arranque de equipos de gran dimensión debe tener una coordinación apropiada que pueda distinguir entre arranques de equipos y una falla real del sistema eléctrico. A través del análisis de mediciones eléctricas en los puntos de interés, se evalúan los valores máximos que alcanzan los equipos durante su arranque y los valores promedio de operación continua. Utilizando el software para coordinación eléctrica ETAP, se grafican las curvas de disparo configuradas actualmente en los equipos para analizarlas contra los valores de operación de la planta. Se modifican los parámetros de configuración de los dispositivos de protección para optimizar el monitoreo de las curvas de disparo. Se presentan las mejoras de esta nueva disposición al optimizar el tiempo de reacción de los dispositivos ante fallas reales.

## Palabras clave

Carga conmutada, curvas de disparo, transformadores, software para coordinación eléctrica.

## Abstract

*Electrical protections safeguard equipment and processes from internal and external power failures. A cement plant where sudden changes of energy occur due to the startup of large equipment must have an appropriate coordination that can distinguish between startup of equipment and a real failure of the electrical system. Through the analysis of electrical measurements at the points of interest, the maximum values reached by the equipment during its start and the average values of continuous operation are evaluate. Using the software for electrical coordination ETAP, the tripping curves currently configured in the equipment are plotted against the operating values of the plant. The configuration parameters of the protection devices are modified to optimize the monitoring of the tripping curves. The improvements of this new arrangement are presented by optimizing the reaction time of the devices against real faults.*

## Keywords

*Electrical protections, tripping curves, transformers, electric coordination software.*

## Introducción

De acuerdo con Aguirre (2008), un transformador se define como un dispositivo electromagnético que permite transformar la magnitud del voltaje, a través de inducción magnética. Se analiza el comportamiento de operación de una planta industrial de elaboración de cemento, a través de la recopilación de historiales de mediciones eléctricas, para interpretar cómo influyen los equipos de grandes dimensiones en la coordinación de protecciones. Se presentan los conceptos de un sistema eléctrico y los resultados de la recolección de datos históricos de los dispositivos de protección.

Utilizando métodos estadísticos para compilar y procesar los valores obtenidos, se muestran de forma coherente para interpretar el comportamiento del sistema eléctrico y sus equipos. Se examina la información con el software de computación especializado en protecciones eléctricas ETAP, para el análisis gráfico de la información, donde se presenta de forma más puntual. Se indica un incremento en la eficiencia energética al mejorar la coordinación de curvas de disparo actual. Con esto se disminuyen los tiempos de arranque del proceso y la necesidad de trabajar en períodos donde el costo de energía es superior para cumplir plazos de entrega según Lejarraga (2008).

## Desarrollo del estudio

El sistema consiste en tres transformadores de similar capacidad que dan energía a la planta de producción de cemento. La carga de cada transformador es similar y puede ser conmutada de uno hacia otro. Por dicha razón las protecciones eléctricas deben asimilar la carga nominal como también cargas especiales que puedan ser agregadas en un tiempo determinado. Cada transformador tiene un equipo de protección que monitorea sobre corrientes en el lado primario y secundario de los devanados, de marca General Electric Multilin 745, que abren un interruptor de alta tensión que desconecta el transformador de la red. Los interruptores del lado de baja tensión poseen un equipo de protección de marca General Electric Multilin 750, que monitorea

la corriente circulante a la carga. Los tres transformadores son trifásicos de 22.4 MVA inmersos en aceite y refrigeración con aire forzado, manejan un voltaje de transformación de  $669 \pm 2.5 \% / 4.16y \pm 0.625 \% \text{ kV}$ , según la capacidad de los transformadores se ubican en categoría III. La corriente máxima nominal que se recomienda para el manejo de los transformadores es de 3,200 amperios para conservar la integridad. Por tanto, este valor es el máximo a tomar como operacional y un máximo de 3,700 amperios por un tiempo de 2 segundos, según lo recomendado por las ecuaciones de la curva ANSI. (Mendoza Ventura, 2009).

Los valores eléctricos de corriente de los transformadores se resumen en la Tabla I, los cuales se recopilan durante un mes. recomendado por las ecuaciones de la curva ANSI. (Mendoza Ventura, 2009, p 45)

Tabla I. *Valores eléctricos de operación de transformadores.*

Operación	Variable	Transformador		
		1	2	3
Nominal de dos cargas conmutadas	Corriente Promedio (A)	2940	3020	3012
Falla	Corriente máxima (A)	3325	3580	3489
Arranque de equipos	Corriente máxima (A)	589	560	535

Según García (2000), se puede decir que se encuentra en estado estable si las variables eléctricas del sistema permanecen constantes con el tiempo y en un rango de valores aceptable. Mediante la utilización del software para coordinación de protecciones eléctricas ETAP, se analizan los parámetros de configuración actual. El monitoreo del lado de alta tensión de los transformadores se encuentra con diferentes parámetros entre ellos. Se tiene un disparo por sobre corriente en un rango entre 250 y 300 amperios. Los tiempos de reacción del disparo tienen una demora de entre 56 a 196 segundos.

## Resultados obtenidos

Los parámetros de los dispositivos de protección se modifican de tal forma que puedan compartir similares valores de disparo, tomando en cuenta sus transformadores de medición de distintas capacidades. Se añade a las configuraciones de sobre corriente “P” disparos instantáneos de corrientes de grandes magnitudes y cortos tiempos, protegiendo a los equipos de calentamientos y deterioro de aislamientos. Se visualiza la tendencia en las curvas de disparo en la figura 1, que asegura la protección de los embobinados primarios y secundarios de los transformadores.

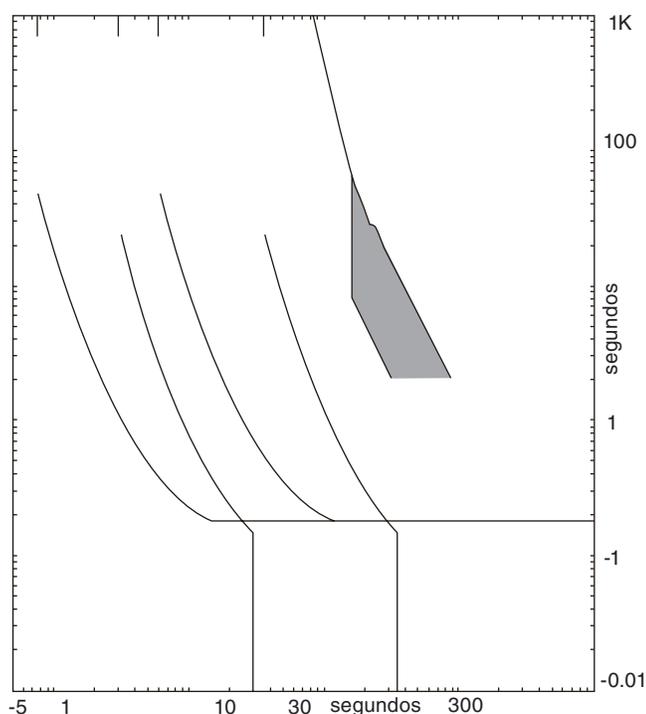


Figura 1. Curva de protección final.

Se asegura la operación nominal de la carga con valores de disparo que permiten el arranque de motores de gran magnitud sin superar los valores de disparo. Al comparar las curvas de disparo con la curva destructiva de los transformadores, se observa que existe un rango óptimo que asegura el funcionamiento sin ningún riesgo de fallas eléctricas o mecánicas.

## Discusión de resultados

Realizando una coordinación de protecciones eléctricas se elabora un conjunto de curvas de disparo. Anteriormente no estaban estandarizadas entre sí y no había certeza en el accionamiento correcto de todas las protecciones ante una falla real en el sistema eléctrico.

Usando como referencia los valores nominales de operación y arranques de equipos se estandariza un punto máximo para las condiciones de los transformadores que permite asegurar su integridad. Esta coordinación es aceptable para las condiciones actuales en la planta de cemento, de existir una modificación en la operación de equipos o maniobrabilidad de los transformadores, se requiere hacer un nuevo monitoreo de valores eléctricos por un tiempo prudente para realizar nuevamente una coordinación de las protecciones.

Con una reducción de paros de producción por accionamiento incorrecto de las protecciones, se eliminan aproximadamente 2 horas de operación sin producción de cemento, debido al reinicio del proceso y calentamiento de equipos. Esto representa en promedio un ahorro energético de 10,000 kWh improductivos, que según estudios ambientales, reducen toneladas métricas de CO<sub>2</sub> al ambiente.

## Conclusiones

1. Entre los principales factores técnicos identificados para la modificación de parámetros de las protecciones eléctricas, se encuentran los transformadores de medición de corriente y voltaje, valores máximos de corriente de operación de los transformadores de potencia, medida de monitoreo, tipo de curva y tiempo de respuesta.
2. Comparando los equipos de protección se determina que se emplean dos tipos, uno dedicado al monitoreo de alta y baja tensión del transformador y otro a la carga en baja tensión. Los transformadores de potencia tienen similares capacidades, por lo tanto, se toma un valor promedio de corriente máxima operativa y de

máxima instantánea.

3. Se modifican los parámetros de los equipos para establecer una curva de disparo extremadamente inversa con tiempos de retardo entre 1.5 y 3 segundos con referencia a los valores máximos de operación.

### Recomendaciones

1. Actualizar periódicamente el software para incluir nuevas librerías de equipos recientes, mejoras en las exactitudes de las curvas de protección y calibraciones de los equipos.
2. Revisar de forma periódica las protecciones eléctricas de las instalaciones.
3. Aplicar las bases de este trabajo en industrias que sean afectadas por problemas en protecciones eléctricas por desbalance de cargas, equipos de grandes dimensiones o falta de actualización de parámetros en sus equipos de protección.
4. El estudio tiene relevancia para tener protecciones adecuadas que prevengan el paro incorrecto de equipos en la industria y aumento de costo de productos elaborados.

### Referencias bibliográficas

- Aguirre Cárdenas, C. W. (2008). Estudios eléctricos de sistemas de potencia para la carrera de ingeniería eléctrica utilizando el software Power Factory 13.1 de DlgSilent. Quito, Perú: Escuela Politécnica Nacional. p. 1, 71, 72, 290, 303
- García González, H. (2000). Protección contra sobretensiones de una subestación eléctrica en 400KV localizada en la planta de HYLSA. Monterrey, México: Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. p. 7, 16, 20
- Lejarraga, A. B. (2008). Minimización de los efectos de las perturbaciones eléctricas en los procesos industriales. Madrid, España: Universidad Pontificia Comillas, Master en el sector

eléctrico. p. 37, 45, 79, 83, 85, 90

- Mendoza Ventura, J. A. (2009). Coordinación de protecciones de sobre corriente de la subestación eléctrica de la planta industrial Kimberly Clark. Morelia, Michoacán, México: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Ingeniería. p.45

### Información del autor

Ingeniero Mecánico Eléctrico, Orlando José Paez Rodríguez, graduado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 2013.

Maestro en Artes en Energía y Ambiente egresado de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2018.

Afiliación laboral: ECONOVA, Cementos Progreso, Guatemala, S.A.



# GESTIÓN INDUSTRIAL

ÁREA DE GESTIÓN Y SERVICIOS

# IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN Y MANEJO DE INVENTARIOS EN LA BODEGA DE MATERIA PRIMA DE UNA EMPRESA PRODUCTORA DE AGROQUÍMICOS MEDIANTE UN SISTEMA ABC

*Implementation of an Administration and Management System of Inventories in the Bodega of Raw Material of a Production Company of Agrochemicals by an ABC System*

**Menphis Sofonias Reyes Mazariegos**

Mtro. en Gestión Industrial

Correspondencia al autor: mreyesm\_gt@hotmail.com

Recibido: 15 de julio 2017 | Revisado: 17 de julio 2017 | Aprobado: 22 de septiembre 2017

Asesorado por: Mtra. en Administración de Empresas **Olivia Dorandina Malin Leonardo** olymalin@yahoo.com

## Resumen

La adopción de un sistema incorrecto de gestión de inventarios de la empresa en estudio, ocasiona retrasos en producción y una serie de costos innecesarios. Se busca implementar un sistema de administración y manejo de inventarios que permita mejorar la gestión de las materias primas disponibles en la bodega, donde mediante la utilización de un sistema ABC, basado en la clasificación del costo de los inventarios, se construyen las bases para el sistema de gestión propuesto Granda (2013). Permitiendo en conjunto con el establecimiento de pronósticos de la demanda, la creación de sistemas de conteo cíclico, la parametrización de inventarios y contar con la certeza de los niveles de inventario necesarios para evitar los costos innecesarios asociados. Se logra minimizar el indicador de paros de producción, un indicador indirecto del desaprovisionamiento, con lo cual la producción fluye con mejor exactitud y los costos incurridos por paros de producción bajan. También se garantizan los stocks necesarios para el flujo correcto de los requerimientos de producción.

## Palabras clave

Inventarios, sistema ABC, pronósticos, parametrización, desaprovisionamiento.

## Abstract

*The use of an incorrect system of inventory management of the company in study, has caused delays in production and a series of unnecessary costs. The solution is to implement a system of management that would improve the management of the raw materials available in the warehouse, where by using an ABC system based on the classification of the cost of inventories, the bases were built for the system Management Granda (2013). Allowing in conjunction with the establishment of demand forecasts, the creation of cyclical counting systems and the parameterization of inventories, to be certain of the levels of inventory necessary to avoid the associated unnecessary costs. The production stoppage indicator, an indirect indicator of deprovisioning, was minimized, so that production flowed with better accuracy and costs incurred due to production stoppages fell. The stocks necessary for the correct flow of the production requirements were also guaranteed.*

## Keywords

*Inventories, ABC system, forecasts, parameterization, deprovisioning.*

## Introducción

La gestión de inventarios es el factor clave para la correcta operación de las empresas productivas Ortega (2011), debido a que permite contar con los insumos necesarios para el cumplimiento de las demandas de productos. La empresa en estudio necesita un sistema de gestión que permita el correcto aprovechamiento de los recursos disponibles, y que al mismo tiempo refleje el cumplimiento de las demandas de insumos por parte de producción para no afectar el flujo y garantizar el cumplimiento de las entregas.

Mediante la ejecución de un sistema de ABC y la utilización de herramientas como la parametrización indicada por Pérez (2010), los pronósticos y los inventarios cíclicos descritos por Flores (2010), se logra crear e implantar un sistema de gestión de los inventarios para la bodega de materias primas que garantiza la fluidez de la producción y el cumplimiento de las demandas de producto en tiempo.

## Desarrollo del estudio

Se busca mejorar el sistema de control y manejo de inventarios con base en la clasificación ABC, para una posterior parametrización de los inventarios obtenidos a partir de los modelos de predicción de la demanda que permitan calcular las fluctuaciones de cada insumo; y finalmente, establecer los métodos de conteo que permitan mantener la exactitud y el control de los insumos.

Para realizar la investigación se utiliza la información concerniente de la bodega de materias primas de la empresa en mención, donde se implementa el sistema propuesto basado en el establecimiento de los pronósticos de la demanda, mediante un modelo de suavizado exponencial.

Seguidamente, utilizando una clasificación ABC de inventarios se clasifica de los insumos para dar mayor prioridad y frecuencia de inventarios a los insumos catalogados como A, posteriormente B y consecuentemente C.

Para la implementación del sistema propuesto se desarrollan diferentes metodologías de traslado de

información y capacitación. Finalmente, mediante la ejecución de un sistema de clasificación de inventarios basado en el conteo ABC y la utilización de herramientas como la parametrización de inventarios, los pronósticos de la demandas y los inventarios cíclicos, se logra crear e implantar un sistema de gestión de los inventarios para la bodega de materias primas de la empresa bajo estudio que garantiza la fluidez de la producción y el cumplimiento de las demandas de producto en su tiempo.

## Resultados obtenidos

Para proyectar las demandas de producción, se realiza un análisis de las demandas históricas, teniendo una serie de ciclos correspondientes a los resultados de las fluctuaciones en ciertos meses; sin embargo, en términos generales se observa un crecimiento.

Los pronósticos son calculados mediante el modelo de suavizado exponencial.

Uno de los componentes importantes de todo manejo de inventarios resulta ser la parametrización; es por ello que mediante el comportamiento de las demandas proyectadas, se logra calcular los parámetros de tamaño de inventario, los inventarios de seguridad, punto de pedido, existencia máxima, existencia media y ciclo de reaprovisionamiento.

La propuesta consiste en la implementación de un nuevo sistema de gestión de inventarios para la bodega de materias primas de la empresa en estudio, la cual se describe a continuación. En primer lugar se tiene la etapa del análisis donde mediante la determinación de las demandas históricas de producción y la adaptación a un modelo de predicción, se obtienen los datos necesarios para parametrizar. A continuación, la etapa de diseño donde se calculan los diferentes valores de parametrización de inventarios y los modelos de clasificación de cada ítem a modo de obtener un sistema de gestión.

Seguidamente, durante la etapa de adaptación, se crean las bases de utilización del modelo que se adopta mediante el establecimiento de los métodos de conteo necesarios (Granda, 2013).

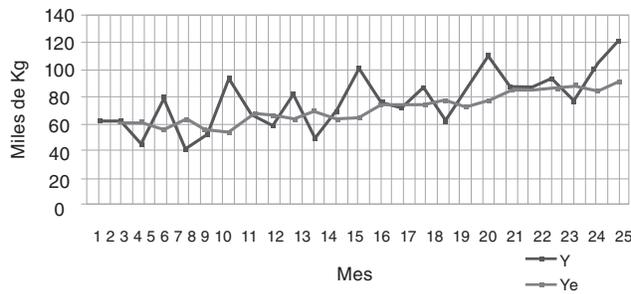


Figura 1. Modelo de demandas históricas y proyectadas con suavizado exponencial.

Uno de los principales inconvenientes previos a la realización del estudio, son los paros de producción no programados, debido a la falta de materiales e insumos, como consecuencia de descuadres en el sistema y registros poco confiables. Por ello se utiliza el indicador de gestión de paros de producción que describe el porcentaje de producción no efectuado por falta de materiales correspondiente a la bodega de materias primas, mostrado en la figura 2.

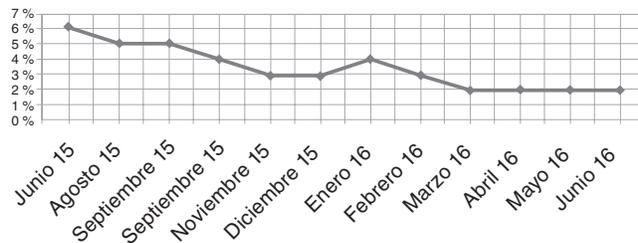


Figura 2. Comportamiento del indicador de paros de producción.

### Discusión de resultados

Al analizar el modelo de predicción de demandas de la figura 1, se puede establecer que las variaciones en los datos pronosticados pueden tener un error mínimo utilizando un valor de alfa de 0.2667, mismo que permite pronosticar fluctuaciones de la demanda para el modelo de consumo de la planta.

Los parámetros obtenidos a partir de las demandas pronosticadas son el tamaño del lote, el inventario de seguridad, punto de pedido, existencia máxima, existencia media y el ciclo de reaprovisionamiento.

Estos parámetros permiten controlar de mejor manera cada uno de los ítems que comprenden la bodega de materias primas, para establecer la cantidad necesaria que debe comprender un lote del pedido a realizar.

Mediante la realización del diagrama de Pareto se clasifican los productos en las tres categorías descritas, siendo la categoría A los productos de mayor influencia del costo, seguida de la categoría B, y finalmente la categoría de los productos C de menor influencia en el costo.

De acuerdo a los parámetros de inventarios obtenidos, se puede decir con certeza que el manejo de los mismos, mediante las consideraciones del mantenimiento de un inventario de seguridad y los demás parámetros establecidos, que la gestión de inventarios en general es la adecuada.

Finalmente, para la validación del sistema propuesto se implementa el indicador de paros de producción, el cual evidencia una disminución considerable luego de implementar el sistema de gestión.

### Conclusiones

1. La implementación de un sistema ABC en la bodega de materias primas permite crear un sistema de gestión que garantiza la fluidez de la producción y el cumplimiento de las demandas de producto en su tiempo.
2. Se analiza el comportamiento de las fluctuaciones de la demanda mediante la utilización de un modelo de suavizado exponencial con un valor de  $\alpha = 0.2667$ , logrando predecir con la menor cantidad de error los datos de proyecciones de demanda de producción.
3. Se clasifican las diferentes materias primas de acuerdo a su influencia del costo, para centrar la atención en los productos tipo A de mayor influencia en el costo, posteriormente en los productos B y C.
4. Se establece un sistema de conteo cíclico de inventarios que permite mantener la exactitud de los inventarios.

## Recomendaciones

1. El analista de inventarios debe tomar en cuenta el análisis de la clasificación, parametrización, modelado y ciclos de conteo, de lo contrario los costos incurridos en el manejo no reflejarán un sistema de gestión beneficioso para la empresa.
2. El analista de inventarios debe tomar en cuenta que ningún modelo de predicción otorga valores exactos de la demanda real.
3. La empresa debe centrarse en la atención de aquellos insumos que son también importantes en el inventario, independientemente de su influencia en el costo.
4. La empresa debe saber que la implementación de sistemas de conteos cíclicos, no sustituye la serie de controles que deben mantenerse en bodega para garantizar la exactitud de los inventarios.

## Referencias bibliográficas

- Flores, A. (2010). *Gestión de Inventario con Pronóstico de Demanda*. Santiago, Chile: Universidad de Chile - Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Recuperado el 13 de marzo de 2016 de <http://www.repositorio.uchile.cl/handle/2250/103755>
- Granda, G., Rodríguez, R. (2013). *Diseño de un sistema de control basado en el Método ABC de gestión de inventarios, a través de indicadores de medición, aplicado a un estudio fotográfico en la ciudad de Machala* (Tesis de grado) Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Ortega, J., Vidal, C. (2001). *Aplicación de modelos de inventarios en una cadena de abastecimiento de productos de consumo masivo con una bodega y N puntos de venta* (Tesis de maestría) Universidad el Valle, Santiago de Cali, Colombia.
- Pérez, M. (Ed). (2010), *Introducción a la gestión de stocks: El procesos de control, valoración y gestión de stocks*. México DF, México: Ideas-propias Editorial.

## Información del autor

Ingeniero Químico e Industrial, Memphis Sofonias Reyes Mazariegos, graduado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 2009.

Maestro en Artes en Gestión Industrial de la Escuela de Estudios de Postgrado de Ingeniería, EEPI de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 2017.

Especialización en Administración industrial de la Escuela de Estudios de Postgrado de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería, USAC, 2016.

# Instrucciones para Autores

---

La Revista de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería publica trabajos de investigación de los diferentes campos de la ingeniería. Los artículos enviados para su publicación deberán cumplir con los lineamientos establecidos. Al ser aceptados por el Consejo Editorial, son sometidos a un proceso de revisión y arbitraje por pares externos. Lo que ofrece al lector y autores un alto nivel académico.

## Resumen

Extensión máxima de 150 palabras, se sugiere utilizar para ello el contador de palabras disponible en Word. Describir el problema que originó la investigación, la solución ensayada, método de trabajo. Describir los principales resultados obtenidos, así como sus impactos a nivel técnico, económico, social, ambiental u otros.

## Abstract

Traducir al idioma inglés, el resumen redactado en la columna de la izquierda de la página.

La traducción debe ser revisada con un profesional con amplios conocimientos del idioma inglés, en caso que el autor no los posea.

Evitar la utilización del traductor de google u otra similar.

## Palabras clave

Máximo cinco palabras que servirán para identificar el estudio realizado.

## Keywords

Traducción al idioma inglés de las palabras clave.

## Introducción

Brindar un panorama general del tema estudiado, su importancia, aspectos relevantes para comprender el contexto en el cual se desarrolló el estudio, bases teóricas o perspectivas adoptadas y otros referentes que sustenten la investigación.

Debe contener un máximo de 150 palabras.

## Desarrollo del estudio

Describir la forma en la que se realizó el estudio. Esta sección es muy importante para que el lector se entere de las técnicas de investigación aplicadas y las actividades que se realizaron. Por ejemplo: el tipo de estudio, su alcance y diseño, variables estudiadas y forma de evaluarlas.

Además, describir si se realizaron visitas de campo, encuestas, mediciones, ensayos de laboratorio, análisis de bases de datos u otros.

Es mejor escribir en párrafos cortos.

En lo posible agregar un diagrama de flujo para resumir en mayor parte el desarrollo del proceso.

Agregar citas bibliográficas acorde a normas APA.

## Resultados obtenidos

Esta es una sección muy importante, donde deben incluirse los resultados derivados del estudio.

Los subtítulos deben diferenciarse del encabezado de la sección.

En el caso de inclusión de figuras, deben ser nítidas, legibles en blanco y negro. Se denomina figuras a gráficas, esquemas, fotografías u otros elementos gráficos.

Todas las figuras deben ir enumeradas, nombradas y referenciadas, según el formato de normas APA.

En el caso de inclusión de tablas, éstas deben incluirse de acuerdo a normas APA.

Es conveniente describir brevemente el contenido de una tabla, evitando los aspectos obvios.

En el caso de inclusión de fórmulas, éstas deben elaborarse utilizando el editor de ecuaciones disponible en Word, indicando el significado de cada una de las variables o parámetros que se incluyen. Deben enumerarse entre paréntesis para poder hacer referencia de las mismas.

### Discusión de resultados

Esta sección debe contener el análisis e interpretación de los resultados presentados, en cuanto a parámetros técnicos, valores de referencia, avances en la solución del problema que se buscaba resolver.

También debe orientarse la discusión a mostrar evidencia de los conocimientos generados, aportes, logro de los objetivos y si da el caso, posible relación con hipótesis formuladas o líneas de investigación posterior.

### Conclusiones

Deben derivar de los resultados presentados en el artículo, mostrando clara evidencia del logro de los objetivos propuestos para el estudio. Deben ser claras y precisas. Enumerarlas sin dejar espacio entre ellas.

### Recomendaciones

Indicar a quién o a quiénes van dirigidas, deben derivar del estudio realizado.

### Referencias bibliográficas

Citar con Normas APA y orden alfabético.

Mínimo 5 referencias y máximo 7.

### Información del autor

Grado académico a nivel de licenciatura, nombre completo, Facultad de la que egresó, Universidad dónde estudió, año en que se graduó.

Grado académico de Maestría y Doctorado (si lo posee).

Lugar donde trabaja.

### Aspectos de estilo

Título centrado a 16 pts en Arial con negrilla, con un máximo de 35 caracteres.

Traducción del título al idioma inglés, times new roman a 10 pts en cursiva, centrado

Nombre completo de los autores..

Correo electrónico de los autores.

Márgen superior: 2.7 cm

Márgen inferior: 2.5 cm

Márgen izquierdo: 1 cm

Márgen derecho: 2 cm

Extensión máxima de 4 páginas para tesis o trabajos de graduación de maestría, 6 páginas para otros estudios y 8-10 para tesis de doctorado.

