

# Modelo analítico para la determinación de la velocidad de desgaste en motores de combustión interna mediante análisis de lubricante

H. Espinoza

Y. Lara

Centro de Termofluidodinámica y Mantenimiento (CTYM).  
Universidad de Oriente.  
Fax: 0281-4203271, Apartado: 4653.  
Puerto La Cruz, Venezuela.  
VENEZUELA.

correo electrónico: yamilelara@gmail.com

Recibido el 11 de mayo de 2007; aceptado el 10 enero de 2008.

## 1. Resumen

La optimización del comportamiento de las máquinas y de los materiales con el objetivo de reducir costos, ha estimulado al área de mantenimiento predictivo, específicamente la de análisis de lubricante, a elaborar aproximaciones matemáticas que determinen la velocidad de desgaste de los componentes de los equipos con el fin de predecir su vida útil. El modelo propuesto por Espinoza [12], plantea la relación existente entre la velocidad de desgaste de las máquinas y la concentración de contaminantes que teóricamente se mide en el aceite que las lubrica, considerando efectos como, la retención del filtro, la reposición de aceite, concentraciones iniciales y geometría del carter. Debido a que la verificación experimental de los modelos analíticos es de vital importancia para determinar la confiabilidad de sus resultados y así obtener una valoración de su nivel de precisión, se realizó un estudio experimental del modelo de velocidad de contaminación constante en un motor de combustión interna y encendido por chispa de 1.3 litros. La contaminación se midió con un espectrómetro de emisión atómica. Se comprobó que los resultados experimentales se ajustan muy bien al modelo desarrollado por Espinoza [12] de velocidad constante, confirmando su hipótesis de este comportamiento para el desgaste normal de los componentes de máquinas.

**Palabras clave:** partículas de desgaste, monitoreo de la condición, modelo analítico, análisis de lubricante.

## 2. Abstract

The optimization of the behavior of the machines and materials to reduce costs has stimulated to the area of predictive maintenance, specifically the used oil analysis, to elaborate analytical approaches that determine the wear rate of the components of the equipments with the purpose of predicting their availability. The model proposed by Espinoza [12], show the existing relation between the wear rate of the machines and the concentration of contaminants that theoretically are measurement in the oil, considering effects like, the filtering effect, adding of refresh oil, initial concentrations, and oil-pan geometry. Because the experimental verification of the analytical approaches is very important to determine the reliability of its results based on obtaining a valuation of its precision level, an experimental study of the model of constant contamination speed was made in a spark-ignition engine of 1.3 liters. The contamination was measurement with a atomic emission spectrometer. The experimental results adjust very well to the model developed by Espinoza [12] of constant speed, confirming his hypothesis of this behavior for the normal wear of the components of machines.

**Key words:** wear debris, condition monitoring, analytical approaches, used oil analysis.

## 3. Introducción

La práctica de analizar aceites ha estado presente desde 1940. En sus inicios estaba dirigida, solamente, a evaluar la condición de lubricante [1], pero en las últimas décadas ha ampliando su campo de aplicación a la obtención de valiosa información sobre el desgaste de componentes de sistemas tribológicos [2][3][4]. Esto ha sido posible debido al vertiginoso desarrollo en sus técnicas y procedimientos [1], constituyéndose en una técnica altamente eficaz en la detección de fallas durante su etapa de gestación, cuando el nivel desgaste producido es aún tan pequeño (partículas de desgaste de 1 micra) que a otras técnicas, como el análisis de vibración, le es difícil determinar [2][5][6].

Debido a la importancia de las maquinas rotativas en los procesos industriales, el comportamiento de sus componentes y materiales necesitan ser optimizados en función de reducir los costos de operación y mantenimiento asociados a tales procesos, dirigiendo la atención a la búsqueda de altos estándares de confiabilidad industrial, que sólo se logra con la minimización de sus tiempos fuera de servicio (mantenibilidad).

Bajo el conocimiento de que el desgaste es el principal mecanismo de generación de condiciones de avería en estos equipos. Es obvio comprender, que muchas fallas catastróficas se evitarían determinando qué piezas presentan deterioro y sustituyéndolas antes de que ocurra la falla. Esto es posible, sólo si se posee una comprensión de la naturaleza del desgaste que reduzca la incertidumbre en las decisiones de mantenimiento, lo cual se consigue a través del análisis cuantitativo "real" del mismo, lo que es un problema complejo y difícil.

La determinación del desgaste a partir del análisis de partículas contaminantes en el lubricante, aun es una técnica que esta en desarrollo y requiere de mucha investigación. En cuanto a los antecedentes, varios investigadores entre los que se pueden nombrar Rigaux [7], Pérez [8], Kjer y Hubert [9][10], Stodola [11], Espinoza [12], Fygueroa [13] y Macian *et al.* [5] desarrollaron y presentaron aproximaciones analíticas, donde se modelaron algunos aspectos que influyen en la determinación de la condición de desgaste de motores, basados en diversas metodologías que se extienden desde los análisis estadísticos, corrección y normalización de los efectos particulares de la condición de funcionamiento (modelo de la corrección de la pérdida del volumen) y determinación de índices de desgaste, hasta la búsqueda de concentraciones de referencia que permitieran caracterizar el grado de contaminación de aceite y generar escalas comparativas confiables.

A partir de lo anteriormente expuesto y destacando que uno de los aspectos más importantes por investigar del análisis del lubricante se refiere a la cuantificación real de la velocidad del desgaste, la verificación experimental de los modelos analíticos es de vital importancia para determinar la confiabilidad de los resultados obtenidos en función de garantizar su aplicabilidad en el sector industrial.

En este orden de ideas, la presente investigación, está dirigida a la evaluación del modelo analítico para cuantificación del desgaste propuesto por Espinoza [12], mediante el estudio del desgaste generado en los componentes de un motor de combustión interna y encendido por chispa usando datos

experimentales y análisis teórico bajo condiciones de operación a velocidad variable de un motor.

#### 4. Materiales y métodos

Para el presente estudio se utilizaron principalmente dos equipos:

- Un banco de prueba para estudio de motor de combustión interna y encendido por chispa de 1,3 litros de cilindrada total (Toyota Starlet)(véase figura 1).
- Un espectrómetro de emisión atómica (Spectroil M).

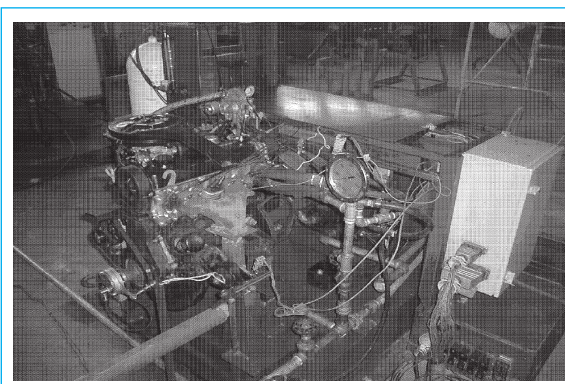
El banco de prueba se conforma por un motor de combustión interna con alimentación de combustible dual (gasolina- gas natural) y un freno dinamómetro tipo Eddy Current. El motor tiene las siguientes especificaciones: modelo Toyota 2E, 4 cilindros en línea. 1296cc de cilindrada, diámetro del pistón: 73 mm, carrera: 77.4 mm, potencia máxima: 72 Hp, torque máximo: 101 Nm alimentado mediante carburador dos bocas para gasolina con mezclador de gas natural colocado encima.

Para los ensayos, se utilizó como combustible gasolina y se usó como lubricante aceite comercial SF, SAE 20W-50, con TBN 7.

##### 4.1 Metodología utilizada

*Procedimiento experimental para la obtención de la data experimental en condiciones de velocidad variable del motor de encendido por chispa.*

- Se colocó la válvula de selección de combustible en la posición de gasolina y se encendió el motor del banco de prueba.



**Fig. 1.** Banco de prueba usado para la obtención de datos experimental.

- Luego, se esperó hasta que la temperatura de salida del refrigerante se estabilizara a velocidad de ralentí, posteriormente se aceleró hasta colocarlo a 1500 revoluciones por minuto (RPM).
- Se aceleró y desaceleró 20 veces el motor cada 15 minutos, de 1500 a 2800 RPM.
- Se tomaron muestras de aceite (5 ml) cada 5 horas de funcionamiento y (100 ml) cada 20 horas de funcionamiento, a través del medidor de nivel del lubricante.
- La prueba se detuvo cuando el motor alcanzó 100 horas de funcionamiento.

### Técnica de medición indirecta del desgaste

El estudio se basó en las concentraciones de los elementos: hierro, plomo, cobre, aluminio. Estos elementos se seleccionaron debido a que son representativos de los principales componentes del motor sometido a desgaste.

Para medir los elementos de desgaste en el aceite se utilizó la data experimental de concentración de elementos medidas en el aceite y obtenida por espectrometría de emisión. Los análisis espectrométricos se realizaron cada 5 horas.

Para la medición de la velocidad de desgaste se parte del principio, que la velocidad de contaminación del aceite es igual a la velocidad de desgaste del motor.

### Modelo analítico de la velocidad de desgaste propuesto por Espinoza [12]

Este modelo se basa en la solución de la ecuación diferencial obtenida al aplicar el principio de la conservación de la masa sobre el sistema de lubricación para un volumen de control definido.

El cálculo de la concentración corregida se hace en dos etapas. Primero se calcula la velocidad de contaminación del lubricante por elementos de desgaste y luego se calcula la concentración corregida. La concentración corregida es la cantidad real de partículas contaminantes que entraron al lubricante debido al desgaste. Es decir; la concentración de partículas que existirían en el aceite, si no hubiese fugas, añadidos ni filtrado en el tiempo  $t$ .

*Cálculo de la velocidad de desgaste:* La ecuación (1) establece que la concentración medida ( $C_m$ ), es consecuencia de la suma de la concentración inicial de partículas ( $C_{mo}$ ) más el efecto de la contaminación por desgaste (primer término), menos el efecto de las pérdidas de elementos a través de

**Tabla 1.** Resumen de valores de correlación de curvas exponencial y lineal por elemento estudiado.

Elemento	Valor de correlación lineal	Valor de correlación exponencial
Hierro (Fe)	0.94	0.88
Plomo (Pb)	0.79	0.67
Cobre (Cu)	0.87	0.80
Aluminio (Al)	0.91	0.82

fugas, añadido de aceite no contaminado y retención del filtro (segundo término de la ecuación 1).

$$C_m(t) = \frac{P}{Z*Vo} (C_{mo} - \frac{P}{Z*Vo}) * e^{Zt} \quad (1)$$

donde

$$Z = \frac{Qa}{Vo} \quad (2)$$

En las ecuaciones (1) y (2),  $P$  es la velocidad de contaminación constante del lubricante,  $Vo$  es el volumen de aceite,  $Qa$  es la tasa promedio de añadido en el tiempo ( $t$ ).

Como  $C_m$ ,  $C_{mo}$ ,  $Vo$  y  $t$  son conocidos, con la ecuación (1) se determina la velocidad de contaminación ( $P$ ). En este estudio no se considera el efecto del filtro, debido a que los espectrómetros de emisión no detectan partículas de tamaños superiores a 8 micras, que son las retenidas por los filtros comerciales [5][12][13].

*Cálculo de las concentraciones corregidas de elementos de desgaste ( $C_c$ ):* La ecuación de concentración corregida (3) considera las partículas iniciales en el aceite (primer término) mas el efecto de la contaminación proveniente del desgaste en el intervalo ( $t - t_0$ ) (segundo término).

$$C_c = C_o + \frac{P}{Vo} (t - t_0) \quad (3)$$

## 5. Discusión de resultados

### Correlaciones de gráficos de desarrollo y tendencias

Con el fin de determinar el comportamiento de la data espectrométrica, en la tabla 3 se presenta los valores de correlaciones lineales y exponenciales generadas por las graficas de tendencia de las concentraciones medidas de los elementos de desgaste.

En base a esto, se concluye que el modelo que mejor se ajusta a las condiciones de operación del equipo es el lineal, correspondiendo al modelo de velocidad de desgaste constante propuesto por Espinoza.

### Estudio de las concentraciones experimentales y las concentraciones corregidas

La figura 2 muestra comparativamente los valores promedio de las concentraciones experimentales, emitidas por el espectrómetro, y las corregidas a través del modelo. En la misma, se observa que los valores calculados se acercan mucho a los medidos siendo el error máximo menor de 5%, por lo que puede considerarse que el modelo se ajusta a la realidad y por lo tanto la ecuación (3) correspondiente a la concentración corregida se puede utilizar para la compensación de las concentraciones de los contaminantes metálicos.

Es importante destacar el comportamiento del elemento de desgaste plomo, de acuerdo a la composición química de las piezas lubricadas debería provenir de los cojinetes, pero como los resultados del cobre no se corresponden con este comportamiento, se concluye que el origen del mismo es la gasolina, la cual usa como aditivo antidetonante el tetraetilo de plomo y que pasa al lubricante a través del conjunto pistón anillos y camisa por el soplado de los gases producto de la combustión. Por lo tanto, el análisis de este elemento no tiene importancia para el desgaste, pero sí demuestra el efecto que puede producir el combustible sobre la contaminación del lubricante.

### Estudio de las velocidades experimentales y las velocidades calculadas

Se calculó la velocidad experimental (ppm/h) (velocidad de contaminación másica), a través de las gráficas concentración (ppm) vs. tiempo (horas) al multiplicar la pendiente de esos

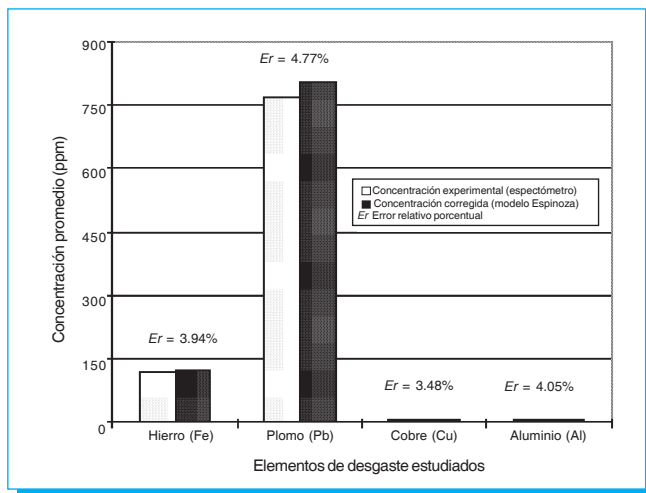


Fig. 2. Comparación entre las concentraciones de elementos de desgaste experimental y las corregidas por el modelo.

datos por el volumen de aceite contenido en el carter, que para este caso será constante, siendo el objetivo de este cálculo observar los errores en que se incurriría si solo se consideran los datos espectrométricos y no se compensan con el modelo.

En la figura 3 se compara la velocidad experimental de los componentes hierro, cobre y aluminio con las velocidades calculadas por el modelo; se observa que la velocidad experimental difiere de la calculada, siendo esta última mayor en todos los casos. Esto tiene su explicación en qué, en el cálculo de las velocidades teóricas (modelo) se considera el consumo por fugas y los añadidos de aceite que se hacen al carter.

El elevado valor de la velocidad de desgaste de hierro respecto a los otros dos elementos, es normal y esperado pues a diferencia del plomo, aproximadamente el 60% de las piezas del motor están constituidas con este elemento de desgaste.

Es importante destacar, que en el cálculo se pueden presentar velocidades negativas de algunos elementos de desgaste, algo que debería ser imposible. La explicación de esto podría ser que se está considerando una tasa de desgaste media que representan físicamente, de acuerdo con la ecuación (1), que en ese punto la concentración disminuye con respecto al punto de muestreo anterior, la situación puede deberse a un desgaste que deja de producirse, con lo cual hay un efecto de dilución más importante que se produce por los añadidos. Aunado a esto, el efecto que produce la variabilidad del instrumento etc., por lo que se requiere mayor investigación sobre este fenómeno ya que es un aspecto a considerar en el diagnóstico.

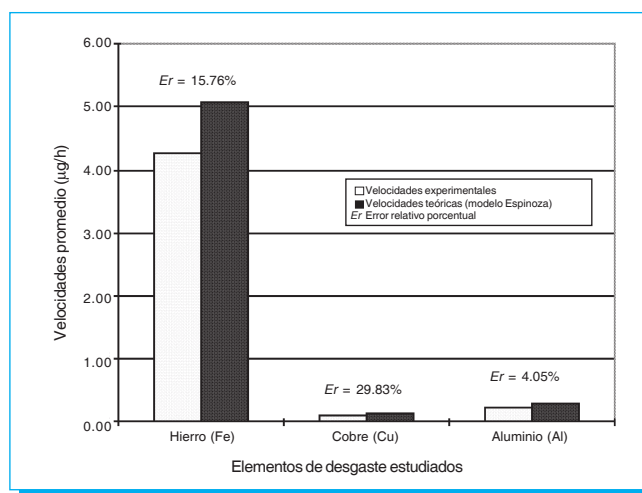
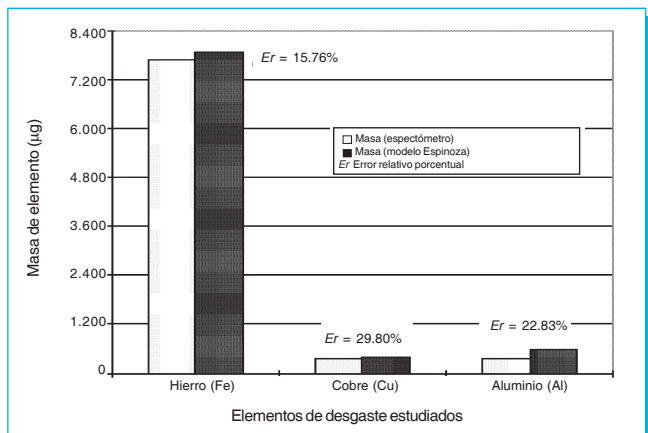


Fig. 3. Variación entre las velocidades de los elementos de desgaste experimental y las corregidas por modelo.



**Fig. 4.** Variación entre las masas de los elementos de desgaste experimental y las corregidas por modelo.

#### Determinación de la cantidad de materia de desgaste contaminante a través del modelo

Se determinaron las cantidades de materia de desgaste de cada uno de los elementos (microgramos) presentes en las 100 horas de operación a través de las concentraciones calculadas y se compararon con la cantidad de materia que se generó de las concentraciones experimentales, con el objetivo de determinar por diferencia, la cantidad de masa perdida y que no se consideraría si se trabaja directamente con los datos emitidos por el espectrómetro.

Debido a la variabilidad de los datos, esta determinación se hizo, ajustando las curvas con polinomios de orden superior y su posterior integración se realizó a través de integración de Romberg.

En la figura 4 se presentan los resultados, observándose que las masas calculadas a través de las concentraciones corregidas (ecuación 3), son mayores que las calculadas de los datos espectrométricos, esto es un resultado esperado, pues como se ha dicho en el desarrollo de este análisis, las concentraciones calculadas representan las concentraciones reales, sin fugas, consumos y añadidos.

El elevado valor de la cantidad de materia contaminante de hierro proveniente del desgaste respecto a los otros dos elementos, es normal y esperado pues como se planteó en la gráfica anterior, aproximadamente el 60% de las piezas del motor están constituidas con este elemento de desgaste.

#### 5. Conclusiones

- Los resultados experimentales se ajustan muy bien al modelo desarrollado por Espinoza [12] de velocidad constante,

lo que corrobora su hipótesis de este comportamiento para el desgaste normal de los componentes de máquinas.

- Las velocidades de desgaste calculadas a partir de concentraciones medidas por espectrometría de emisión, es inferior a la real, ya que la espectrometría solo detecta una fracción del desgaste total.
- La velocidad de desgaste calculada a través del modelo de Espinoza, usando datos espectrométricos puede usarse para evaluar la criticidad del desgaste de una máquina.
- El monitoreo de la aceleración de las concentraciones calculadas es útil para detectar condiciones anormales en la máquina, las cuales pueden deberse a errores de medición o problemas de desgaste anormal.
- Hay un efecto importante del error de medida en el cálculo de la velocidad de contaminación instantánea, que puede producir diagnósticos errados.

#### 6. Referencias

- [1] Memon, A and Mohammad, S. Laghari. 2006. «Building Relationship Network for Machine Analysis from Wear Debris Measurements». *International Journal of computational intelligence*, volume 3 number 2, 2006 ISSN 1304-2386.
- [2] Espinoza, Henry. 1990. *Monitorizado del estado y funcionamiento global del motor de encendido por compresión*. Trabajo de ascenso no publicado, Universidad de Oriente núcleo Anzoátegui.
- [3] Dempsey P; Lewicki D; Harry D. 2004. *Investigation of Gear and Bearing Fatigue Damage Using Debris Particle Distributions* NASA/TM-2004-212883.
- [4] Macián, V; Tormos, B; Olmeda, P; Montoso, L and Anubla, E. 2003. «Results and benefits of an oil analysis programme for railway locomotive diesel engines». *Insight* Vol 45 No 6 June.
- [5] Macián, V; Tormos, B; Olmeda, P; Montoso, L. 2003. «Analytical approach to wear rate determination for internal combustion engine condition monitoring based on oil analysis». *Tribology International* 36 (2003) 771-776.
- [6] Vähäoja, P. 2006. *Oil Analysis in machine diagnostics*. ACTA UNIVERSITATIS OULUENSIS A Scientiae Rerum Naturalium 458. Academic Dissertation to be presented with the assent of the Faculty of Science, University of Oulu, for public discussion in Raahensali (Auditorium L10), Linnanmaa, on June 9th, 2006, at 12 noon OULUN YLIOPISTO, OULU 2006. ISBN 951-42-8076-8 (PDF)
- [7] Rigaux, J. 1961. *Le controle des [5] diesel par la spectrographie des hulies de graissage*. Dunop. Paris.

- [8] Pérez, R. 1976. *Control de desgaste y diagnosis anticipada de averías en motores por medio del análisis de aceite*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid UPM.
- [9] Kjer, T. 1982. *Wear rate and concentration of wear particles in lubricating oil*. WEAR.
- [10] Hubert, B y Johnson. 1982. *A model and the methodology for determining wear particle generation rate and filter efficiency in a diesel engine using ferrography*. Sae paper 821195.
- [11] Stodola, J. 1990. *Tribo-Technical Diagnostics of Combustion Engine*. XXIII FISICA Congress, Sae paper 905152.
- [12] Espinoza, H. 1990. *Diagnóstico de fallos en motores de encendido por compresión de automoción*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, España.
- [13] Figueroa, S. 1994. *Diagnóstico del desgaste y el estado de motores de encendido por compresión*. Universidad Politécnica de Valencia. SPUPV-94.2044.

# ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA UNIDAD CULHUACÁN

## SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

Algunas de las líneas de investigación que se cultivan en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME Culhuacán son:

- Procesamiento de señales (voz e imágenes)
- Diseño de circuitos integrados (analógicos, digitales)
- Diseño de sistemas digitales con lógica reconfigurable
- Control
- Seguridad informática
- Sistemas biomédicos
- Reconocimiento de patrones
- Diseño de turbinas
- Diseño de sistemas microelectromecánicos (MEMS)
- Física de semiconductores

**Instituto Politécnico Nacional**  
**Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**

revista  
**Científica**

**CUPÓN DE SUSCRIPCIÓN**

NOMBRE: \_\_\_\_\_  
DIRECCIÓN: \_\_\_\_\_  
CIUDAD: \_\_\_\_\_ ESTADO: \_\_\_\_\_  
CP.: \_\_\_\_\_ TELÉFONO(S): \_\_\_\_\_  
CORREO ELECTRÓNICO: \_\_\_\_\_  
INSTITUCIÓN O EMPRESA: \_\_\_\_\_

Publicación trimestral  
Suscripción por 1 año \$ 400.00

Deposite en cualquier sucursal del banco **BBVA Bancomer** a la cuenta  
núm. **01340 31954** a nombre de la **Escuela Superior de Ingeniería  
Mecánica y Eléctrica Zacatenco IPN (ESIME Zacatenco IPN)**  
y envíe un facsímil de este cupón con sus datos en forma legible.  
Posteriormente comuníquese por teléfono o correo electrónico  
para verificar que su solicitud de suscripción fue debidamente registrada.

Edificio 1, planta baja, Dirección de la ESIME Zacatenco  
Unidad Profesional Adolfo López Mateos  
Col. Lindavista, CP 07738, México, DF.  
Tel. 5729 6000 ext. 54518  
Fax 5729 6000 ext. 54510  
revistacientifpn@yahoo.com.mx  
revistaesimez@ipn.mx

# Indicaciones para los investigadores que deseen publicar en la revista Científica

La revista *Científica* ESIME es una publicación trimestral editada por la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), que presenta trabajos de investigación o propuestas originales en el área de la Ingeniería Electromecánica y sus ciencias afines.

Los artículos se reciben en la Coordinación Editorial de manera personal con una copia del archivo digital del trabajo y una copia impresa en el Edificio I, Planta Baja, Dirección de la ESIME Zacatenco, Col. Lindavista, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, CP. 07738, México, DF; o por medio de correo electrónico: [revistacientifipn@yahoo.com.mx](mailto:revistacientifipn@yahoo.com.mx), [revistaesimez@ipn.mx](mailto:revistaesimez@ipn.mx). Para aclaraciones se puede comunicar al teléfono 5729 6000 con las extensiones 54518 y 54555.

Los trabajos recibidos son revisados por los miembros del Comité Editorial quienes designan a un Editor Asociado de acuerdo a la disciplina que cubren los artículos. El Editor Asociado selecciona dos árbitros o más para que evalúen el escrito, quien recibe las observaciones de éstos e informa al Comité sobre los resultados de la revisión. Los trabajos pueden ser aceptados para su publicación, aceptados si se realizan modificaciones necesarias o rechazados. Los trabajos deben ser investigaciones o propuestas originales inéditas, sin excepción, sobre las áreas mencionadas.

## Estructura de los artículos

Dentro del artículo la numeración comienza a partir del 'Resumen' o el 'Abstract', según sea el caso. Ésta continúa de acuerdo a los siguientes elementos: 1. Resumen, 2. Abstract, 3. Introducción, 4. Desarrollo, 5. Conclusiones y 6. Referencias.

## Título

El título debe ser lo más corto posible (de preferencia sin utilizar abreviaciones) y no exceder de tres líneas.

## Datos del autor

Éstos muestran el o los nombres de los autores, la dirección de la institución a la cual pertenecen, el teléfono, fax y correo electrónico (de contar con ellos).

## Resumen

Debe contener 200 palabras como máximo. Consiste en una pequeña descripción de la investigación y una breve información de los resultados del trabajo que permite a los lectores identificar con rapidez los aspectos fundamentales del artículo y discernir la relevancia de éste.

## Abstract

Se incluye un resumen en inglés si el artículo está en español o viceversa. Éste aparece inmediatamente después del resumen en inglés o español, según sea el caso.

## Introducción

Expresa los antecedentes, límites, alcances y relevancia del problema. Plantea las premisas del mismo, y expresa el objetivo del trabajo. Se sugiere no extenderla como si fuera una exposición analítica.

## Desarrollo

Se refiere al desarrollo del tema que puede ser teórico, experimental, teórico-experimental o la descripción de un nuevo diseño. Es la parte medular y está compuesta por el planteamiento del problema y análisis del mismo, mencionando los materiales, métodos y técnicas. Las subdivisiones de este apartado se dejan al criterio del autor.

## Conclusiones

Establece la respuesta global del problema, son los objetivos alcanzados, las hipótesis comprobadas, modificadas o rechazadas.

## Referencias

Es la lista de fuentes bibliográficas: libros, artículos, manuales, memorias, etcétera. Deben aparecer en el orden en el cual se mencionan dentro del artículo con las siguientes especificaciones:

### Libros:

- [1] Autor, *Título*, número de edición, editorial, ciudad, año de publicación, número de páginas.
- [2] Autor, "Capítulo del libro", *Título*, número de edición, editorial, ciudad, año de publicación, número de páginas.

Ejemplo:

- [1] Kays, W.M. y Crawford, M.E., *Convection Heat and Mass Transfer*, 2ª ed., McGraw-Hill, New York, 1993, 324 p.

### Revistas:

- [1] Autor, "Título del artículo", *Revista*, **volumen** (número), año, páginas.

Ejemplo:

- [1] Lara, J.C., Hernández, D.G. y Alonso-Vanegas, M.A., "Desarrollo de un aparato estereotáctico con arco centrado", *Arch Neurocién.*, **10**(3), 2005, pp. 196-202.

## Anexos

Los agradecimientos, simbología, notación y otros anexos, se consideran dentro del cuerpo del artículo y se dejan a consideración del autor. Se debe indicar si el trabajo ha sido previamente presentado en alguna institución científica o realizado con la ayuda de una subvención o fondo especial.

## Consideraciones sobre el formato general

Para obtener la mejor calidad al realizar la edición de los manuscritos en el formato de la revista, se recomienda que: *a*) el texto se capture en un procesador de textos (*word*); *b*) el tipo de letra del texto sea Times de 10 puntos, en una página con márgenes superior e inferior y derecho de 2.5 cm, margen izquierdo de 3 cm a dos columnas con espaciado de 0.77 cm entre ellas; *c*) las ecuaciones y fórmulas numeradas para mayor claridad, acrónimos y abreviaciones deben definirse la primera vez que sean usados en el texto; *d*) los pies de las figuras deben estar debajo de éstas con la indicación 'Fig. 1'; además, el título de los ejes de las figuras a menudo es causa de confusión, por lo que se sugiere usar palabras en lugar de símbolos. Los encabezados de las tablas deben estar arriba de éstas; *e*) las figuras y tablas en el documento deben entregarse en archivos por separado (.tif, .jpeg), es importante que al pasar cualquier imagen por un escáner debe hacerlo con una resolución de 300 ppp (puntos por pulgada). De antemano gracias.