

Análisis Comparativo de Esfuerzos en Álabes de Caudalímetros para Líquidos con Densidades Cercanas al del Agua

Comparative Analysis of Forces in Flowmeter Blades for Liquids with Densities Close to Water

Alfredo Carrasco Aráoz¹, Luis Manuel García Martínez²

¹ Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán

² Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán

***Corresponding author:** alfredo.ca@teziutlan.tecnm.mx

Resumen

El presente trabajo expone los resultados comparativos entre dos tipos de rotores aplicados en sensores de caudal. El primero de ellos, denominado rotor estándar que se instala en dispositivos de paletas comerciales y el segundo, una propuesta de diseño para un rotor con álabes helicoidales, como respuesta para atender a la problemática del tiempo de vida relativamente corto, que presentan los rotores comerciales. Por tanto, con la innovación se pretende alargar la vida útil del dispositivo; es importante hacer notar que el rotor se posicionará de forma axial y en la periferia del fluido. El estudio se realizó mediante un análisis estático imitando la condición crítica del sistema que ocurre cuando el rotor se encuentra sujeto firmemente quedando inmóvil y es en ese momento, que el álabe se ve sujeto al mayor esfuerzo. El diseño y análisis se desarrolló con una herramienta CAD, para la simulación se utilizó el mismo material en ambos modelos pues solo interesa comparar la magnitud de los esfuerzos y deformaciones para comprobar la ventaja mecánica del diseño propuesto. Los resultados ponen de manifiesto las ventajas mecánicas de la propuesta sobre el diseño convencional por sus características de resistencia, incrementando así, la vida útil, pues los esfuerzos en el álabe son menores debido a las características geométricas, produciendo en consecuencia una fatiga menor.

Palabras clave: Caudalímetro, álabe, Análisis estático.

Abstract

Abstract: This paper presents the comparative results between two types of rotors applied in flow sensors. The first of them, called a standard rotor that is installed in commercial vane devices and the second, a design proposal for a rotor with helical blades, as a response to address the problem of the relatively short life time that commercial rotors present. Therefore, innovation is intended to extend the useful life of the device; It is important to note that the rotor will be positioned axially and at the periphery of the fluid. The study carried out a static analysis, imitating the critical condition of the system that occurs when the rotor is firmly held and remains immobile and it is at that moment that the blade is subjected to the greatest effort. The design and analysis were developed with a CAD tool, for the simulation the same material was used in the models since it is only interesting to compare the magnitude of the stresses and deformations to check the first mechanics of the proposed design. The results show the mechanical advantages of the proposal over the conventional design due to its resistance characteristics, thus increasing the useful life, since the efforts in the blade are lower due to the geometric characteristics, consequently producing less fatigue.

1. Introducción

En México, la industria de la confección se ha visto en la necesidad de importar la tecnología que requiere para realizar sus procesos productivos, debido que en el país se carece de dicha tecnología. Esto ha traído como consecuencia que industria tenga rezagos en su tecnificación, por la razón de que los repuestos son de elevado costo o bien no se encuentran en el país y se tiene la necesidad de importarlos lo que aumenta su costo.

Una forma de solucionar este tipo de problemas, es el desarrollo de tecnología propia con los recursos con los que cuenta la nación. Es el objetivo del presente trabajo el de generar un dispositivo que sea capaz de solucionar el problema que presenta la empresa ZAFRE S.A. de C.V.

El problema consiste en que la maquinaria actualmente no cuenta con un dispositivo con el cual cuantificar la cantidad de líquido que entra en la lavadora, por lo que se propone el desarrollo de un dispositivo que permita medir el volumen de agua en el interior.

Para realizar medidas de caudal existen en el mercado diferentes opciones, la más común es un caudalímetro electromecánico, en el dispositivo señalado, el elemento que cuantifica el paso del fluido, es un pequeño rotor con aletas dispuesto de forma normal al flujo para que lo haga rotar, la desventaja que presenta este dispositivo es la ruptura de los álabes ya sea por el impacto del líquido a la apertura de la válvula o por el golpe de ariete generado por el cierre de la misma. Para la solución al problema se ha pensado en el desarrollo de un dispositivo que sea capaz soportar los esfuerzos a los que se ve sometido el instrumento para así prolongar la vida útil del sistema, siendo el objetivo principal del presente trabajo, realizar el análisis de esfuerzos a los que se ven sometidos los dos elementos (el estándar que utilizan los instrumentos comerciales y el elemento propuesto) y realizar el comparativo, a fin de emitir un juicio.

2. Metodología

2.1 Fundamentos teóricos

En la región de Teziutlán la industria que sobresale es la industria del vestido, en sus diferentes vertientes, de esta la más destacada es la que produce pantalón de mezclilla de importación. Durante la fabricación de jeans, es necesario que la terminación de las prendas se realice, mediante procesos de lavado.

Para que la maquinaria de lavado brinde resultados de calidad, es preciso que se controle el nivel de líquido que entra a la lavadora industrial, ya que si el volumen no es el adecuado la disolución de los químicos no es la correcta. Para tal actividad los equipos contaban con instrumentos de medición, pero a causa del uso y de un inadecuado control de mantenimiento la instrumentación se dañó.

Los costos actuales de las refacciones y el corto periodo de vida de los dispositivos de medida, han hecho que estas empresas operen de forma empírica trayendo con esto que sus procesos no estén dentro de los estándares exigidos.

Debido a que la industria a la que nos referimos es pequeña, los costos de las piezas de cambio resultan incosteables, esto genera en consecuencia que los elementos que se encargan de medir el volumen de agua se dañan con mucha frecuencia luego de 1000 a 1500 horas de uso, de acuerdo con los registros de mantenimiento de las diferentes empresas que fueron visitadas. Como consecuencia, las empresas no tienen la capacidad financiera para absorber los gastos del mantenimiento correctivo.

Las posibles soluciones que se podrían dar a la problemática son dos: la primera cambiar el tipo de sensor por uno del tipo electromagnético en el que no existen partes mecánicas móviles, la segunda diseñar un nuevo tipo de sensor de bajo costo y de vida útil prolongada. En el primero de los casos el costo de las unidades los hace prohibitivos para la mayoría de las compañías, por lo que la segunda propuesta es la más viable, y por la que se inclina la empresa con la que se está trabajando.

2.2 Materiales

Los medidores volumétricos que se están tomando como referencia para el presente análisis, son los que utilizan un dispositivo de paletas para medir el volumen de agua que pasa a través de ellos, como se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Caudalímetro de paletas (GFSIGNET Instrumentos medición de caudal Caudalímetros Volumetricos NIKRON automatización Argentina. (s. f.), 2021)

El material con que están fabricados dichos elementos es un tipo de plástico cuyas propiedades mecánicas las reserva el fabricante, por tal motivo el análisis comparativo se realizara utilizando plástico PET para los dos elementos rotores, con el fin de medir la deformación, desplazamiento y esfuerzos que se presentan en los álabes, con el objetivo de observar cual elemento soporta mejor el estrés y así poder demostrar la ventaja mecánica que ofrece el nuevo diseño

2.2.1 Diseño del rotor

Para el diseño del rotor del sensor se partió de las condiciones de operación que rigen en la planta ZAFRE S.A. de C.V. lugar donde se instalará el dispositivo, estas variables tienen las siguientes características:

- Presión estática en las líneas de agua fría y agua caliente 3 Kg/cm².
- Presión dinámica en las líneas de agua fría y agua caliente 1 Kg/cm².
- Temperatura de la línea de agua caliente 50° Centígrados.
- Diámetro de la línea suministro 4 pulgadas.
- Diámetro de la tubería de alimentación a la maquina 2 pulgadas.

El trabajo en esta fase se divide en dos partes, la primera, que busca determinar la forma que tendrá el rotor y la segunda se centrará en el análisis de la referida parte.

Para reducir el los daños por los golpes de ariete se propone un diseño, en el cual el rodete se encuentra alineado en la dirección al flujo, con álabes helicoidales para descomponer el vector fuerza y así reducir los escuerzos sobre el material, la Figura 2 muestra la propuesta de rotor.

Para alargar más la vida útil de él dispositivo se propone construir el rotor en aluminio, este tipo de material tiene buenas propiedades mecánicas, es de fácil maquinado teniendo un acabado liso, además de tener una excelente resistencia a la corrosión en ambientes no salinos.

Para el cálculo del rotor se toma como presión de diseño la presión de 3 kg/cm² por ser la presión mayor a la que se verá sometido.

Para alimentar la línea de agua se utilizan dos bombas marca de 5 HP de potencia que suministran 608 l/min cada una según datos proporcionados por el fabricante (BONASA, 2021).

Para el diseño del rotor del sensor es necesario determinar si el flujo es laminar o turbulento, este dato nos muestra como es el perfil de velocidad del fluido, como es sabido un flujo laminar tendrá perfil de velocidad donde la velocidad del fluido en las paredes es lenta y la velocidad en el centro del fluido es mayor, no así en el caso de un flujo turbulento en este el perfil de velocidad es más uniforme (Montilva, 2021).

$$y = 0.216 r_0 \quad (1)$$

Donde y representa la distancia con respecto a la pared donde se encuentra la velocidad promedio del flujo y r₀ el radio de la tubería. Realizando los cálculos necesarios, los resultados arrojan que la velocidad promedio del fluido se encuentra a una distancia con respecto a la pared del tubo de 5.24 mm. Este resultado determina el diámetro que deberá tener el rotor del sensor.

Para que el rotor realice su función debe contar con álabes helicoidales, con la finalidad de que el movimiento del agua a través del cuerpo de cuenta litros, proporcione la energía mecánica requerida para que el elemento rote sobre su eje. El movimiento de la pieza es el resultado de la descomposición vectorial del parámetro de velocidad generando por el álabes. Estos dos vectores ortogonales entre sí son la velocidad del fluido y la velocidad lineal del rotor, como se muestra en la Figura 3, donde se muestran dichas componentes vectoriales, cuya resultante es el movimiento de rotor.



Figura 2.
Propuesta de rotor
(Fuente propia 2021)

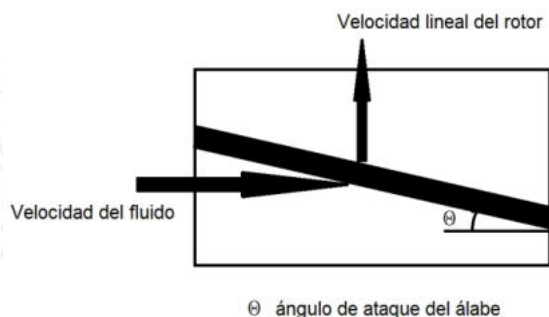


Figura 3. Descomposición vectorial de la velocidad del fluido (Fuente propia 2021).

Para determinar el ángulo de ataque del álabe se partió de la premisa de obtener la mayor sustentación posible. Con base en la teoría consultada, se propone el ángulo de mayor rendimiento, es decir, aquel que minimice el efecto de arrastre, por lo que se propone una magnitud de 20° respecto a su eje longitudinal (Gordillo & Riboux, 2017).

Utilizando las relaciones apropiadas y haciendo el análisis matemático correspondiente, se obtiene que el fluido sobre la pieza ejerce una fuerza de sustentación de 25 N por álabe que se encuentre sumergido. Dicha magnitud es suficiente para desplazarlo y hacerlo rotar ya que la pieza terminada tiene un peso de 0.012 kg.

El rotor con el que se comparara la propuesta de álabes helicoidales, es el rotor de cuatro paletas, que es el más utilizado en caudalímetros de marcas existentes en el mercado.

La Figura 4 ilustra un rotor de paletas, donde se observa que dichas paletas, se encuentran ubicadas de forma normal al flujo. Para ser detectados por el sensor que registra su movimiento están dotados de un pequeño imán permanente en cada paleta. El material con el que están fabricados es plástico de alta densidad del cual se desconocen sus propiedades y características mecánicas.

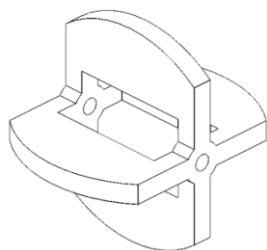


Figura 4. 4 Rotor de paletas (Fuente propia 2021).

2.3 Análisis

Las dimensiones para realizar el ensayo fueron tomadas de un rotor de un caudalímetro comercial, con la mayor precisión para reducir el error de medida y no afectar el análisis.

Para realizar el estudio se propone utilizar un material plástico para los dos rotores. Se utiliza el mismo material a fin de conocer únicamente las magnitudes de los esfuerzos y deformaciones ocurridas en los elementos de forma comparativa.

El análisis se desarrollará mediante el uso de un software especializado, particularmente, SolidWorks 2015, apoyado en el complemento Simulation, cuya licencia se encuentra vigente en el Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán.

2. Resultados

Los resultados de las pruebas de esfuerzos y de formaciones ponen de manifiesto las debilidades y fortalezas de los modelos de rotores confrontados. El haber realizado la prueba con el mismo material permite observar resultados objetivos y cuantitativos.

Los datos arrojados por el software de simulación utilizado en las pruebas ponen de manifiesto que el rotor de álabes helicoidales tiene ventajas mecánicas sobre el rotor de paletas, ya que demostró tener mayor resistencia a los esfuerzos, deformaciones y desplazamientos.

El estudio se realizó mediante un análisis estático (Celigueta 2011), aplicando como carga de prueba, aquella de mayor magnitud a la que se enfrentará el mecanismo en situaciones reales. Esta condición ocurre cuando la válvula realiza la apertura, pues en este momento recibe el rotor toda la carga de presión modificando abruptamente su estado de equilibrio. Así la válvula de control al ser accionada por un actuador neumático permite que la respuesta de accionamiento sea rápida. Esta misma condición ocurre al cierre, generando golpes de ariete, que repercuten en los elementos de la red de suministro.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en las pruebas, para tales efectos se utilizó como material de prueba plástico del tipo PET.

Los resultados obtenidos, como primer punto se muestran la comparativa de los esfuerzos realizados con la Prueba de Cramer-von Mises, la Figura 5 muestra los valores de los esfuerzos en el rotor de 4 palas en esta pieza el valor es de 9.77×10^7 N/m². El mismo estudio se practicó al diseño propuesto arrojando un valor de 6.337×10^6 N/m². Comparando los valores resultantes, se puede apreciar que el esfuerzo menor es el correspondiente al rotor propuesto, estos valores se pueden apreciar en la Figura 6.

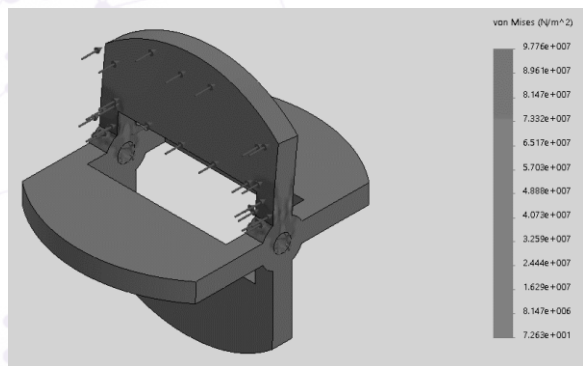


Figura 5. Esfuerzos de von Mises en rotor de paletas valor máximo 9.77×10^7 N/m² (Fuente propia 2021).

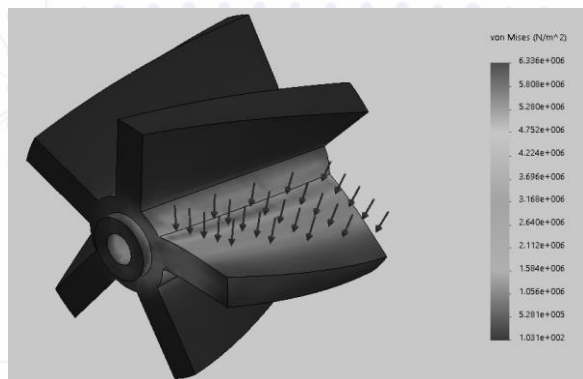


Figura 6. Esfuerzos de von Mises en rotor de álabes helicoidales valor máximo 6.337×10^6 N/m² (Fuente propia 2021).

Con los mismos modelos se realizó el análisis de deformaciones y desplazamientos, los resultados muestran nuevamente que la pieza propuesta tiene un mejor desempeño mecánico. Los resultados de las deformaciones y los desplazamientos son los que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Tabla comparativa de los resultados del análisis (Fuente propia 2021).

Tipo de prueba	Rotor de paletas	Rotor helicoidal
Esfuerzo de von Mises (N/m ²)	9.776×10^7	6.337×10^6
Desplazamiento Máximo (URES) (mm)	1.205	4.905×10^{-2}
Deformaciones unitarias (ESTRN)	2.531×10^{-2}	1.618×10^{-3}

Los valores de las deformaciones unitarias en el álabe helicoidal son 15 veces menores que el del álabe del caudalímetro comercial; de igual manera el desplazamiento del nuevo diseño es mucho menor.

Con el conocimiento de los resultados del comportamiento mecánico del material se procede a realizar el ensayo, solo que en esta ocasión el material que se dispuso para la prueba es una aleación de aluminio (6061) que es el material con que se maquinará el elemento. Los resultados se pueden apreciar en la Tabla 2, así mismo, en la Figura 7 se muestra la gráfica de desplazamientos a causa de la deformación.

Los valores de las deformaciones unitarias en el álabe helicoidal son 15 veces menores que el del álabe del caudalímetro comercial; de igual manera el desplazamiento del nuevo diseño es mucho menor.

Con el conocimiento de los resultados del comportamiento mecánico del material se procede a realizar el ensayo, solo que en esta ocasión el material que se dispuso para la prueba es una aleación de aluminio (6061) que es el material con que se maquinará el elemento. Los resultados se pueden apreciar en la Tabla 2, así mismo, en la Figura 7 se muestra la gráfica de desplazamientos a causa de la deformación.

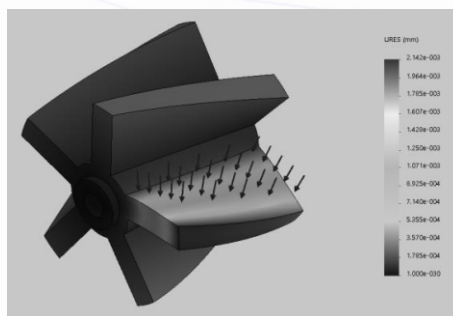


Figura 7. Desplazamiento máximo en álabe a consecuencia de la carga 2.142×10^{-3} mm (Fuente propia 2021).

Tabla 2. Resultados obtenidos del análisis estático del rotor fabricados en aluminio AA6061 (Fuente propia 2021).

von Mises (N/m ²)	Desplazamiento Máximo (mm)	Deformaciones unitarias (ESTRN)
6.183x10 ⁶	2.142x10 ⁻³	6.605x10 ⁻⁵

4. Discusión

El desarrollo de la propuesta presentada surge de la necesidad de contar con un dispositivo para medir la cantidad de agua que se introduce a una lavadora industrial de prenda.

La problemática que presentan los dispositivos que se encuentran en el mercado es que, bajo las condiciones de trabajo típicas, los rotores se dañan en promedio luego de 1500 horas de uso continuo, debido a los golpes de ariete que sufre cuando abren o cierran las válvulas que controlan el suministro de agua, provocando un desgaste prematuro del elemento.

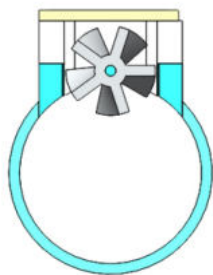


Figura 8. Disposición del rotor en el cuerpo del caudalímetro (fuente propia 2021).

Con la disposición del rotor en forma axial se pretende que las fuerzas provocadas por los golpes de ariete causen el menor daño al rotor, la Figura 8 muestra la disposición del rotor en el caudalímetro, montado en la parte exterior del flujo del líquido.

Disposición que lo diferencia de los comerciales en que el eje del rotor propuesto está alineado con el flujo mientras que, en los existentes, el eje se encuentra dispuesto de manera perpendicular, Figura 9.

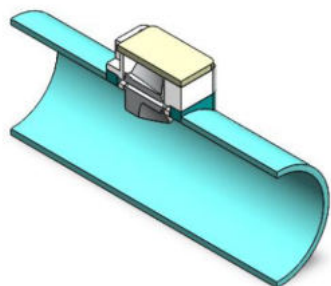


Figura 9. Corte de caudalímetro mostrando la disposición del rotor propuesto (Fuente propia 2021).

Así, los resultados ponen de manifiesto que la propuesta es técnicamente viable, haciendo posible tener un instrumento mecánicamente fiable para las condiciones de trabajo que se requieren.

Con la disposición propuesta por cada alabe que se sumerja la el volumen de líquido que se desplaza es de 4 X 10⁻⁵ m³ con lo que se necesitan 25 pulsos para que se registre 1 X 10⁻³ m³ así mismo al colocar el rodete de forma axial el ángulo del álabe con respecto al flujo (figura 1 y figura 3) descomponen las fuerzas en sus dos componentes con lo que la fuerza mayor es la que se aplica de forma paralela con los esfuerzos de deformación se reducen.

La posición propuesta permite alojar al sensor que detectará el paso de los álabes y que en conjunto de la electrónica generará el tren de pulsos que se enviara al microcontrolador en cargado de procesar la información y emitir la señal para el accionamiento de los actuadores que controlaran al fluido.

5. Conclusiones

Durante el desarrollo de este trabajo, se pudo observar que la propuesta del diseño de un nuevo tipo de rotor con álabes helicoidales tiene ventajas sobre el diseño tradicional.

En el análisis realizado se puede observar que los resultados de esfuerzos, deformaciones y desplazamientos no son lo suficientemente grandes para causar fractura en el material con el que se realizó la simulación. Al repetir el procedimiento, pero esta vez utilizando el material con el que será construido el rotor, se pudo apreciar que el valor de las variables medidas no representan valores significativos que puedan afectar mecánicamente al material, ya que son menores al 1% del esfuerzo admisible. Por esta razón, la deformación permitida en el material seleccionado es menor y así, a corto y mediano plazo no se compromete la estructura del material, por lo que se puede concluir que la vida útil del elemento es mayor.

6. Trabajo a futuro

Para validar los resultados de manera práctica se pretende integrar el caudalímetro de forma física, incluyendo un circuito que permita realizar el conteo de revoluciones del rotor para poder definir la cantidad de líquido que pasa por el instrumento de medición. De este modo, se podrá integrar un dispositivo que emita una señal con base en un microcontrolador, y así, crear un sistema que permita controlar el nivel de llenado de maquinaria o depósitos, en los cuales se necesite tener un control del volumen de llenado.

Referencias bibliográficas

Armando, L. &. (14 de abril de 2021). ANÁLISIS DE ESFUERZOS RESIDUALES EN ELEMENTOS MECÁNICOS SOMETIDOS A CARGAS SIMPLES. Obtenido de http://somim.org.mx/articulos2010/memorias/memorias2012/articulos/pdfs/A1/A1_156.pdf

BONASA. (15 de abril de 2021). Catálogo de bombas BONASA. Obtenido de <http://www.stihl-bosch.com/catalogos/bonasa.pdf>[3] Aleaciones de Aluminio. (2015, Marzo 3). Propiedades mecánicas del aluminio A6061. <http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AA%206061.pdf>

Celigueta J. (15 de abril de 2021). MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS PARA ANÁLISIS ESTRUCTURAL, 1992011. [En línea]. Available:<https://hdl.handle.net/10171/19069>. [Último acceso:15/4/20]

Gere, J. M., & Goodho, B. J. (2015). Mecanica de Materiales. CENGAGE Learning.

GFSIGNET Instrumentos medicion de caudal Caudalímetros Volumetricos NIKRON automatización Argentina. (s. f.). (19 de abril de 2021). GFSIGNET Instrumentos medicion de caudal. Obtenido de <http://www.caudalimetrosnikron.com.ar/GFSIGNET-InstrumentosdeMedicion.html>

Gordillo, J., & Riboux, G. (2017). Introducción a la Mecánica de Fluidos. Madrid: Paraninfo.

López, A. G., Nava, F., & Ravasa, G. V. (2006). Análisis de esfuerzos en un apero de tracción animal, empleando métodos experimentales y numéricos. Ingenierías, 21-27.

Montilva, M. (16 de abril de 2021). FLUJO LAMINAR EN LA REGION DE ENTRADA DE UN TUBO RECTO PRECEDIDO POR UNA TUBERIA CURVA. Obtenido de <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/a1n1/ing6.pdf>.