

Rediseño de rotor de caudalímetro para lavadoras de la industria textil en la región de Teziutlán

RESUMEN: En este trabajo se presenta el diseño de un sistema para medir la cantidad de agua que entra a una lavadora de prendas en una industria del ramo textil, en la región de Teziutlán, en el estado de Puebla. La propuesta consiste en desarrollar un instrumento de medición, que permita determinar el caudal que pasa por el elemento de admisión de la máquina. La importancia del proyecto, radica en el desarrollo de un dispositivo de sensado que tenga una vida útil superior a los dispositivos que actualmente existen en el mercado, ya que éstos oscilan entre 1500 a 2000 horas, lo que los vuelve incosteables para la empresa. A través de un comparativo de esfuerzos realizado por medio de un análisis estático elaborado con el complemento Simulation de SolidWorks, se compara el comportamiento mecánico del rotor estándar de paletas (de la marca SIGNET) y el rotor propuesto con álabes helicoidales. Los resultados ponen de manifiesto las ventajas mecánicas del rediseño sobre el modelo convencional, demostrando tener mayor resistencia a los esfuerzos, deformaciones y desplazamientos, evidenciando un mejor comportamiento estructural que favorecerá el incremento de la vida útil en comparación al rotor comercial, debido a que los esfuerzos en el álabe son menores retardando la fatiga del material.

PALABRAS CLAVE: Alabe, análisis estático, caudalímetro, sensor de flujo, esfuerzos.



Colaboración

Alfredo Carrasco Aráoz; Gabriel Ángel Ramírez Vicente; Luis Manuel García Martínez, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán

Fecha de recepción: 27 de noviembre del 2021

Fecha de aceptación: 07 de diciembre del 2021

ABSTRACT: This paper presents the design of a system to measure the amount of water that enters a garment washing machine in a textile industry, in Teziutlán, Pue. The proposal consists of developing a measuring instrument, that allows determining the flow that passes through the inlet element of the machine. The importance of the project lies in the development of a sensing device that has a longer useful life than the devices that currently exist on the market, since these range from 1500 to 2000 hours, which makes them unaffordable for the company. Through a comparison of efforts carried out by means of a static analysis elaborated with SolidWorks Simulation, the mechanical behavior of the standard bladed rotor (from the SIGNET brand) is compared with the proposed rotor with helical blades. The results show the mechanical advantages of the redesign over the conventional model, showing greater resistance to stresses, deformations and displacements, showing a better structural behavior that will favor an increase in the useful life compared to the commercial rotor, due to the fact that the efforts in the blade are less, retarding the fatigue of the material.

KEYWORDS: Analysis static, flowmeter, flow sensor, paddles, efforts.

INTRODUCCIÓN

La industria mexicana de la confección ha tenido que recurrir a la importación de tecnología para el desarrollo de sus procesos productivos, por motivo de que en el país se carece de dicha tecnología. Esto ha traído como consecuencia que la industria tenga rezagos en su tecnificación, pues los repuestos son de elevado costo o bien, no se encuentran en el país y se tiene la necesidad de importarlos incrementando su costo.

Una forma de solucionar este tipo de problemas es el desarrollo de tecnología propia apoyada en las Instituciones Educativas de nivel Superior. El objetivo del presente trabajo es generar un dispositivo que sea capaz de solucionar el problema de no contar con el dato real de la cantidad de líquido que entra en la lavadora industrial. Este problema se extiende en diversas empresas del sector, como lo es ZAFRE S.A. de C.V.

El problema de manera particular radica en que aquellos dispositivos que fueron instalados de fábrica en la lavadora se dañaron y no han sido remplazados por su poca disponibilidad y reducida vida útil. De este modo, desarrollar un dispositivo que tenga la robustez necesaria para operar bajo las condiciones que impone el proceso productivo del sector, permite medir el volumen de agua en el interior de forma continua, al mismo tiempo que se incrementa la vida útil del aparato.

Para realizar medidas de caudal existen en el mercado diferentes opciones, la más común es un caudalímetro electromecánico, en este dispositivo el elemento que detecta el paso del fluido, es un pequeño rotor con paletas o álabes, dispuesto de forma normal al flujo para que este lo haga rotar, la desventaja que presenta el dispositivo es la ruptura de las paletas 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 del problema se ha pensado en el desarrollo de un dispositivo, el cual, al incrementar su rigidez sea capaz de soportar los esfuerzos a los que se ve sometido, prolongando así la vida útil del sistema. Dicha resistencia se podrá evaluar mediante el análisis de esfuerzos a los que se ven sometidos los dos elementos, tanto el estándar que utilizan los instrumentos comerciales como el elemento propuesto. De igual forma se hace la presentación del montaje del rotor en el dispositivo de medida y la disposición final del instrumento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los medidores volumétricos que se están tomando como referencia para el presente análisis, son los que se utilizan en un dispositivo de paletas para realizar la operación de medir el volumen de agua que pasa a través de ellos. La Figura 1 muestra un modelo comercial que utiliza el principio señalado [1]. El material con que están fabricados los elementos comerciales es un tipo de plástico cuyas propiedades mecánicas las reserva el fabricante, por tal motivo el análisis comparativo se

realiza utilizando el mismo material plástico, que para el propósito de la investigación es PET para los dos elementos rotores. Así las mediciones de la deformación y los esfuerzos en los álabes se realiza de manera objetiva.



Figura 1. Caudalímetro de paletas.

Fuente GFSIGNET [1].

En los caudalímetros del tipo paletas, el principal problema es que estas se rompen a consecuencia de las condiciones de trabajo que impone el fluido. Para dar solución al problema se propone, el diseño de un nuevo rotor que permita distribuir mejor los esfuerzos en los álabes reduciendo así, la fatiga de los elementos; aunado a esto se propone el cambio del material de fabricación para incrementar la vida útil del rotor.

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

- a) Presión estática en las líneas de agua fría y agua caliente 3 kg/cm^2 .
- b) Presión dinámica en las líneas de agua fría y agua caliente 1 kg/cm^2 .
- c) Temperatura de la línea de agua caliente $50 \text{ }^\circ\text{C}$.
- d) Diámetro de la línea suministro: 4 pulgadas.
- e) Diámetro de la tubería de alimentación a la máquina: 2 pulgadas.

Diseño del cuerpo del caudalímetro.

El agua es introducida al sistema por dos bombas centrífugas de 5 Hp de potencia cada una, estas alimentan a un tanque que sirve como reservorio para evitar cavitaciones en las líneas de suministro.

Partiendo de los datos recolectados directamente en la referida planta de lavado, se plantea el desarrollo del proyecto en tres etapas: primera, el desarrollo de la parte mecánica del dispositivo, la cual es el objeto del presente estudio. La segunda, el desarrollo del sensor de flujo y, finalmente una etapa posterior, donde se desarrollará el acondicionamiento de la señal y la interface de usuario.

Partiendo del material con que están fabricadas las tuberías de la línea de distribución, el cual es acero al carbón cédula 40. Para el cuerpo del dispositivo, se selecciona un tubo de acero al carbón cédula 80 que según las especificaciones del fabricante soporta una presión de 176 kg/cm^2 o 2300 psi (libras sobre pulgada cuadrada por sus siglas en inglés) [2].

Se adoptó este material no solo por la resistencia a la presión que tiene sino también por el espesor de la pared ya que deberá de ser maquinado para recibir la base del sensor. De la misma manera, la base que servirá para alojar el cuerpo móvil del sensor se maquinará en acero al carbono, rolando en caliente. La Figura 2, muestra el cuerpo del ensamblaje terminado.



Figura 2. Cuerpo del Cuenta Litros terminado.
Fuente Elaboración propia 2021.

Diseño del rotor

Para el diseño del rotor del sensor se partió de las mismas condiciones de operación que se utilizaron para el cuerpo del dispositivo. El trabajo en esta sección se divide en dos etapas. La primera es la ingeniería de concepto para determinar la geometría del rotor y la segunda, la ingeniería de detalle, que involucra el análisis de los esfuerzos y las deformaciones a las que se someterán los álabes de este elemento.

Para reducir 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 el álabe helicoidal para descomponer el vector fuerza y así reducir los esfuerzos sobre el material, la Figura 3 muestra la propuesta de rotor.



a)



b)

Figura 3. Propuesta de rotor a) Diseño en CAD. b) Rotor montado en su base (elementos realizados en impresora 3D)
Fuente Elaboración propia 2021.

Para incrementar la vida útil del dispositivo se propone construir el rotor en aluminio AA6061 [2], pues al tratarse de un material dúctil, presenta buenas propiedades mecánicas, como: fácil maquinado, permite un acabado liso, y posee una alta resistencia a la corrosión en ambientes salinos.

Para el cálculo del rotor se toma como presión de diseño, la presión de 3 kg/cm^2 por ser la presión mayor a la que se verá sometido.

Para alimentar la línea de agua se utilizan dos bombas marca "BONASA" de 5 Hp de potencia que suministran 608 l/min cada una según datos proporcionados por el fabricante [3].

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. Un flujo laminar tiene la característica de que al circular por una tubería, en las paredes, la velocidad es menor a la observada en el centro del fluido; no así, en el caso de un flujo turbulento, cuyo perfil de velocidad es más uniforme [4].

Para determinar el número de Reynolds se tomó en cuenta la presión de 1.5 kg/cm² que es la presión dinámica del sistema, además de ser la presión mínima de operación. Una vez realizados los cálculos, se obtuvo un número de Reynolds superior a 3000 lo que indica un flujo turbulento. Al determinar el régimen del fluido, es posible determinar la distancia a la que se encuentra la velocidad promedio del flujo de agua por medio de la siguiente expresión para flujo turbulento: [5]

$$y = 0.216 r_0 \quad \text{Ec (1)}$$

Donde y representa la distancia con respecto a la pared donde se encuentra la velocidad promedio del flujo y r_0 el radio de la tubería. Realizando los cálculos 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. Con este resultado se determina el diámetro que deberá tener el rotor del sensor.

Para que el rotor realice su función, debe contar con álabes helicoidales, para que el movimiento del agua a través del cuerpo del cuenta litros, proporcione la energía mecánica que se requiere para que el elemento rote sobre su eje geométrico. El movimiento de la pieza sucede porque el álabe descompone vectorialmente la velocidad, generando con esto dos vectores ortogonales entre sí uno de ellos es la velocidad del fluido y el otro la velocidad lineal del rotor como lo muestra la Figura 4.

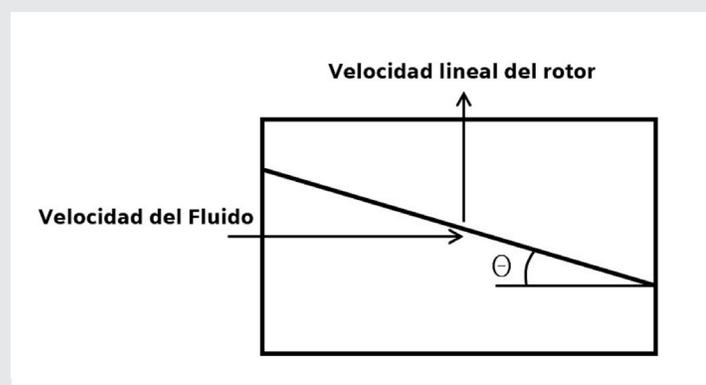


Figura 4. Descomposición vectorial de la velocidad del fluido. Fuente Elaboración propia 2021.

Para determinar el ángulo de ataque del álabe se partió de la premisa de obtener la mayor sustentación posible y de acuerdo con la teoría el ángulo θ con el que se obtiene el mayor rendimiento es de 20° [5], ya que de ser

superado este ángulo se comienza a generar arrastre en el fluido, por lo consiguiente se adopta dicho valor.

Utilizando las relaciones apropiadas y haciendo las operaciones se obtiene que el fluido sobre el álabe ejerce una fuerza de sustentación de 25 N por álabe que se encuentre sumergido.

RESULTADOS

El análisis de esfuerzo se realizó comparando el rotor propuesto contra uno del tipo de paletas que es el estándar en los caudalímetros de marcas como "BURKERT" Y "SYGNET".

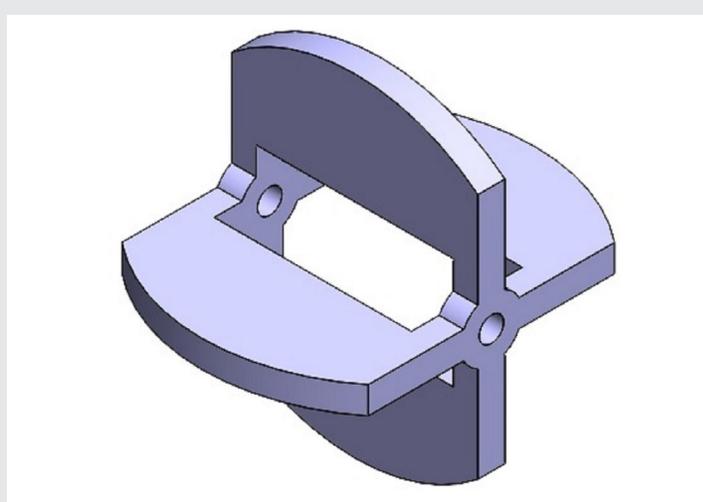


Figura 5. Rotor de paletas. Fuente Elaboración propia 2021.

Es menester mencionar que las dimensiones para realizar el ensayo fueron tomadas del rotor de un caudalímetro marca SIGNET.

Los resultados de las pruebas de esfuerzos y de deformaciones, ponen de manifiesto las debilidades y fortalezas de ambos rotores. El haber realizado la prueba con el mismo material permite tener un punto de vista objetivo y cualitativo a cerca del análisis.

Los datos arrojados por SolidWorks en las pruebas expresan que el rotor de álabes helicoidales tiene ventajas mecánicas sobre el rotor de paletas, a partir de los datos de esfuerzos, deformaciones y desplazamientos, que se observan en la Tabla 1.

El análisis se realizó mediante un análisis estático [6][7], aplicando la mayor carga a la que se enfrentan los mecanismos. Esta condición ocurre cuando la válvula realiza la apertura, en este momento recibe el rotor (que se encuentra inicialmente en estado de reposo) toda la carga de presión a consecuencia de la apertura de válvula de control, que es accionada por un actuador neumático para que la respuesta de accionamiento sea rápida; misma condición que ocurre al cierre generando con esto, golpes de ariete, que repercuten en los elementos de la red de suministro.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en las pruebas.

Como primer punto se muestra la comparativa de las tensiones de von Mises, donde se observa la ventaja mecánica que tiene el dispositivo propuesto ante el comercial, en la Figura 6 [8][9].

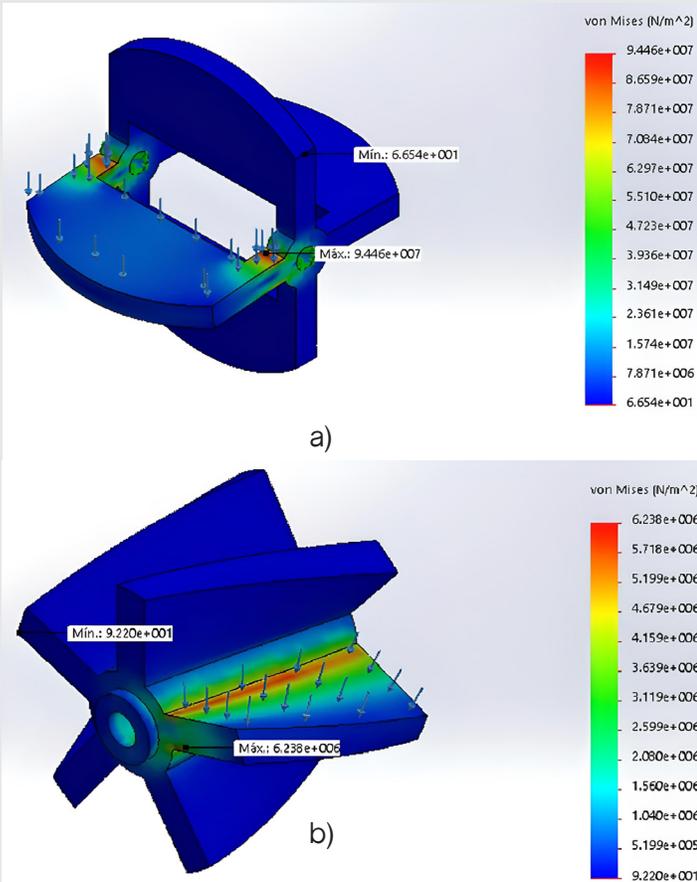


Figura 6. Resultados del análisis estático realizado a los álabes de los rotores de prueba. Fuente Elaboración propia 2021.

De la misma manera se realizaron los análisis de las deformaciones y los desplazamientos, que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Tabla comparativa de los resultados del análisis

Tipo de prueba	Rotor de paletas	Rotor helicoidal
von Mises (N/m ²)	9.776x10 ⁷	6.337x10 ⁶
Desplazamientos Máximo (URES) (mm)	1.205	4.905x10 ⁻²
Deformaciones unitarias ESTRN (mm)	2.531x10 ⁻²	1.618x10 ⁻³

Fuente Elaboración propia 2021.

Una vez conocidos 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 A6061 que es el material propuesto para la fabricación del elemento, dando como resultado un valor de tensión de Von Mises de 2.14x10⁻³ N/m² con una tolerancia del 3%.

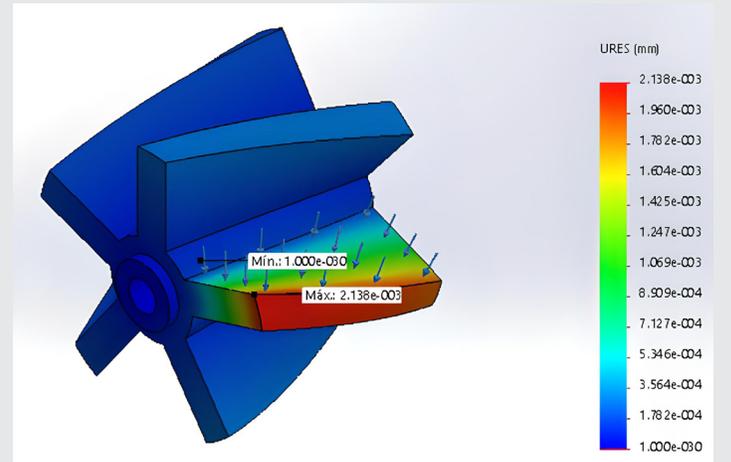


Figura 7 Desplazamiento máximo en álabes a consecuencia de la carga 2.142x10⁻³ mm. Fuente Elaboración propia 2021.

Tabla 2. Resultados obtenidos del análisis estático del rotor fabricados en aluminio AA6061.

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

Fuente: Elaboración propia 2021.

A través de los resultados anteriores, es posible comprobar que el rotor tendrá una durabilidad mayor a la del rotor comercial, ya que los esfuerzos en el álabes son considerablemente menores y esto disminuye la concentración de esfuerzos en la raíz del álabes dando lugar a que la fatiga en el elemento se postergue.

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 de la empresa en donde se desarrolla el proyecto los rotores se dañan en promedio cada 1500 horas de uso continuo, debido a los golpes de ariete que sufren cuando abren o cierran las válvulas que controlan el suministro de agua, ocasionando que el rotor se destruya.

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.

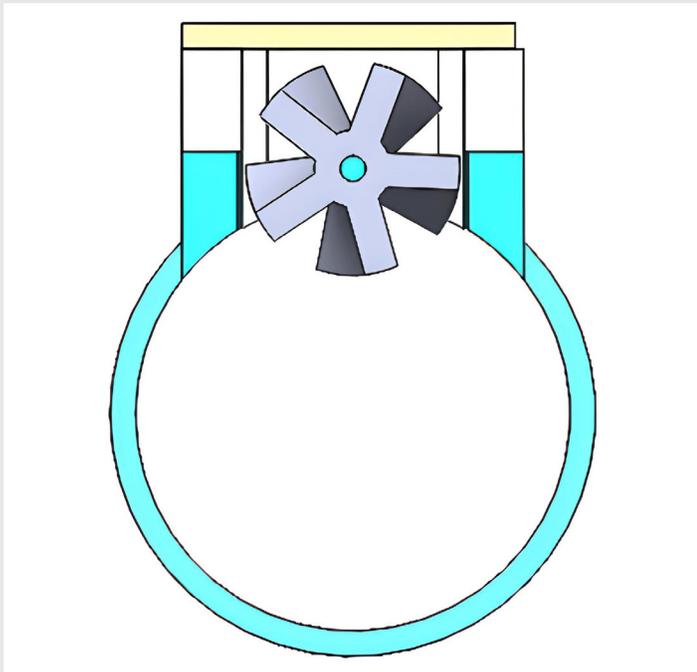


Figura 8. Disposición del rotor en el cuerpo del caudalímetro. Fuente Elaboración propia 2021

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

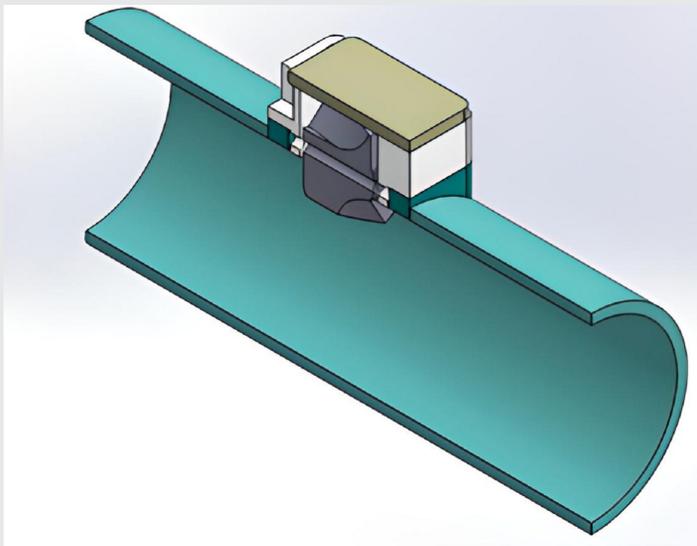


Figura 9. Corte de caudalímetro mostrando la disposición del rotor propuesto. Fuente Elaboración propia 2021.

Los resultados mostrados en párrafos anteriores ponen de manifiesto que la propuesta es viable técnicamente haciendo posible tener un instrumento fiable mecánicamente, capaz de trabajar en las condiciones que impone el proceso.

Con la geometría propuesta, por cada álabe que se sumerja, el volumen de líquido que se desplaza es de $4 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ con lo que se necesitan 25 pulsos para que

se registre un volumen de $1 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ así mismo, al colocar el rodete de forma axial el ángulo del álabe con respecto al flujo (Figura 3 y Figura 4) descompone las fuerzas de forma radial y axial, con lo que la fuerza mayor es la que se aplica de forma paralela al flujo, logrando que los esfuerzos de deformación se reduzcan.

La Figura 10 muestra de manera detallada el lugar donde se montará el captador que registrará el movimiento de los álabes. Se puede observar la forma en que se realizará el conteo, por medio de una señal magnética emitida por los álabes, que será detectada por un dispositivo que utiliza el efecto Hall.

CONCLUSIONES

A lo largo del desarrollo del presente trabajo se pudo observar que la propuesta del diseño de un nuevo tipo de rotor con álabes helicoidales, tiene ventajas sobre el diseño tradicional, por el decremento en la concentración de esfuerzos sobre la raíz del elemento.

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 y de la deformación permitida en el material seleccionado por lo que a corto y mediano plazo no comprometen la estructura del material, concluyendo que la vida útil del elemento será mayor.

Así mismo, con la incorporación del rotor en la periferia del fluido, se consigue obtener la energía para que rote de la forma esperada, reduciendo la obstrucción al paso del agua que se presentaría de estar al centro del flujo. Esta disposición permite colocar de manera segura al sensor de tipo Hall que será el encargado de recoger los pulsos magnéticos del rotor que se lograrán instalando pequeños imanes de neodimio en los álabes. Estos pulsos generarán una señal que será captada y acondicionada mediante el empleo de la electrónica correspondiente misma que será procesada por un microcontrolador.

Trabajo a futuro

Se tiene contemplado integrar el caudalímetro de forma física incluyendo un circuito que permita realizar la lectura de las vueltas que realiza el rotor para poder definir la cantidad de líquido que pasa por el instrumento de medición para así tener un dispositivo que emita una señal que permita su integración con un microcontrolador, con la finalidad de crear un sistema que permita manipular el nivel de llenado de la maquinaria o depósitos en los cuales se necesite mantener el volumen de llenado dentro de un parámetro establecido.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] GFSIGNET Instrumentos medición de caudal Caudalímetros Volumétricos NIKRON automatización Argentina. (s. f.). Recuperado 18 de julio de 2021, a partir de <http://www.caudalimetrosnikron.com.ar/GFSIGNET-InstrumentosdeMedicion.html>.
- [2] BONASA. (2013). Catálogo de bombas BONASA. Recuperado a partir de <http://www.stihl-bosch.com/catalogos/bonasa.pdf>[3] Aleaciones de Aluminio. (2021, Marzo 3). Propiedades mecánicas del aluminio A6061. <http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AA%206061.pdf>.
- [4] Montilva, M. (s. f.). FLUJO LAMINAR EN LA REGION DE ENTRADA DE UN TUBO RECTO PRECEDIDO POR UNA TUBERIA CURVA. Recuperado a partir de <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/a1n1/ing6.pdf>.
- [5] J. M. Gordillo y G. Riboux, *Introducción a la mecánica de Fluidos*, Madrid: Paraninfo, 2017.
- [6] Armando, L., & Sandino, R. U. (s. f.). ANÁLISIS DE ESFUERZOS RESIDUALES EN ELEMENTOS MECÁNICOS SOMETIDOS A CARGAS SIMPLES. Recuperado a partir de http://somim.org.mx/articulos2010/memorias/memorias2012/articulos/pdfs/A1/A1_156.pdf.
- [7] J. M. Gere y B. J. Goodno, *Mecanica de Materiales*, CENGAGE Learning, 2015.
- [8] A. G. López, f. D. Naba y G. V. y. Ravasa, «Análisis de esfuerzos en un apero de traccion animal, empleando metodos experimentales y numèricos,» *ingenierias*, vol. IX, nº 33, pp. 21-27 , 2006.
- [9] J. Celigüeta-Lizarza, «MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS PARA ANÁLISIS ESTRUCTURAL,» 19 9 2011. [En línea]. Available: <https://hdl.handle.net/10171/19069>. [Último acceso: 8 9 2021].