

PREDICCIÓN DEL ESFUERZO DE VON MISES GENERADO EN LOS ÁLABES DE UN IMPULSOR DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA TÍPICA UTILIZANDO ANSYS APDL

Hiram Covarrubias Ochoa

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Celaya
imehiram@gmail.com

José Martín Medina Flores

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Celaya
martin.medina@itcelaya.edu.mx

Resumen

Las bombas centrífugas son unas de las máquinas más utilizadas en la industria y en la vida diaria. El impulsor es la parte más importante de la bomba centrífuga porque es la que recibe el fluido y le imparte una velocidad de la cual depende la carga o la altura producida por la bomba. En éste estudio, se desarrolló un análisis estructural por medio del Método de Elemento Finito (FEM) para determinar los esfuerzos a los cuales está sometido el impulsor en condiciones de trabajo. De esta manera se determinó si el material del cual está fabricado es óptimo para su uso.

Palabra(s) Clave(s): Impulsor, Von Mises, FEM.

Abstract

Centrifugal pumps are one of the most machines used in industry and common life. The impeller is the most important element of the centrifugal pump because is the one that gets the fluid and imparts a velocity on which depends the height or load produced by the bomb. In this work, An analysis by Finite Element Method (FEM) was developed to determine the stresses that the impeller is subject to at work conditions. By this way is was determinated if the impeller material is

optimum to be used.

Keywords: Impeller, Von Mises, FEM.

1. Introducción

Las bombas centrífugas son unas de las máquinas más utilizadas en la industria y en la vida diaria [Farid Ayad, 2007:47]. Un equipo de bombeo es un transformador de energía. Recibe energía mecánica que puede proceder de un motor eléctrico, térmico, etc., y la convierte en energía que el fluido adquiere en forma de presión, posición o de velocidad [Viejo Zubicaray, 2000], figura 1.



Figura 1 Bomba centrífuga

La bomba centrífuga se compone de la carcasa, impulsor, anillos de desgaste, estoperas, flecha, cojinetes, base y motor eléctrico; de lo cual, el objeto de este estudio es el impulsor.

Existenn 3 tipos de impulsores, abierto, semi-abierto y cerrado, figura 2.



Figura 2 Tipos de impulsores.

El impulsor es el elemento más importante de la bomba centrífuga ya que es el que recibe el líquido y le imparte una velocidad de la cual depende la altura o carga producida por una bomba. Pueden ser fabricados de materiales diversos que van desde metales como el bronce, aluminio, hierro, etc., hasta plásticos y

materiales compuestos que ofrecen ciertas ventajas contra los metálicos. Dadas las nuevas tecnologías computacionales actualmente es más fácil hacer estudios que nos ayuden a conocer las características tanto estructurales como de funcionamiento de los impulsores, integrando métodos de control numérico en software para el análisis con elemento finito, así como otros softwares especiales para el modelado geométrico de las figuras. En este estudio el enfoque ira hacia el análisis estructural de un impulsor de bomba SIEMENS 1RF4 25C (figura 3), el cual está fabricado con nylon 66 reforzado con 30% de fibra de vidrio (figura 4).



Figura 3 Bomba siemens.



Figura 4 Impulsor de nylon 66 GF30

Sistema de bombeo

Para la simulación del comportamiento del impulsor, se simulará la presión que llega a la bomba en un sistema de bombeo propuesto, esto para simular el efecto del agua sobre los álabes. El Sistema de bombeo que se utilizara será uno propuesto para futuras pruebas experimentales (figura 5).

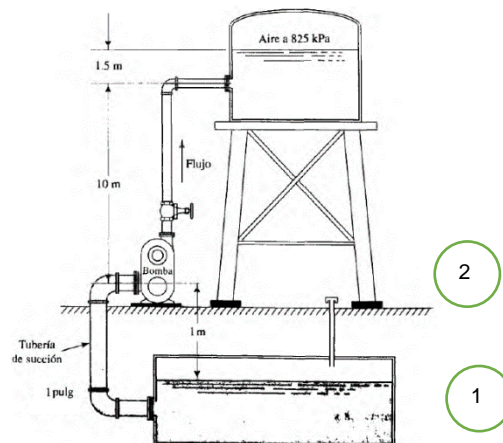


Figura 5 Sistema de bombeo [Mott].

El punto 1 se refiere a la altura de referencia en el depósito de agua, el punto 2 a la altura de la bomba a considerar para los cálculos de presión. La presión en el punto 2 se determina mediante ecuación de Bernoulli, ecuación 1.

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{\bar{V}_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{\bar{V}_2^2}{2g} \quad (1)$$

Tomando como referencia el punto 1 que equivale al depósito y considerando que se encuentra a presión atmosférica, y el fluido tiene velocidad relativa de cero, la ecuación para la presión 2 queda mediante ecuación 2.

$$P_2 = \rho g \left(Z_1 - Z_2 - \frac{\bar{V}_2^2}{2g} \right) \quad (2)$$

La velocidad de flujo (\bar{V}) en función al flujo volumétrico (\dot{V}) y el área de flujo (A), se determina mediante ecuación 3.

$$\bar{V} = \frac{\dot{V}}{A} \quad (3)$$

Si la densidad del agua es de 981 kg/m^3 , la gravedad en Sistema internacional equivale a 9.81 m/s^2 y según el fabricante, el caudal es equivalente a $1.83 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ y el área de sección transversal de la tubería es $5.067 \times 10^{-4} \text{ m}^2$, tenemos que $\bar{V} = 3.6 \text{ m/s}$ y sustituyendo en la ecuación (2) se tiene que $P_2 = 16.273 \text{ kPa}$.

Nylon 66 GF30

En el manual de usuario que se entrega con este producto, viene la especificación del material de fabricación del impulsor que se va a analizar, el cual es Nylon 66 reforzado con 30% de fibra de vidrio.

El NYLON 6/6 GF30 tiene más del doble de la resistencia y rigidez que los nylon no reforzados y una temperatura de deformación por calor que se acerca a su punto de fusión. Es un material cuyas propiedades importantes incluyen alta resistencia a la tracción y resistencia a la flexión, rigidez, temperatura de deflexión térmica excelente, y superior a la abrasión y resistencia al desgaste. Su equilibrio de propiedades lo convierten en un material ideal para la sustitución del metal en

aplicaciones tales como piezas de automóviles, válvulas industriales, Elementos de maquinaria, y otra industria utiliza cuyos requisitos de diseño incluyen alta resistencia, tenacidad, y la reducción de peso. Las propiedades se muestran en tabla 1.

Tabla 1 Propiedades mecánicas del Nylon66 GF30 (*MaterialUniverse Database*).

Material	Modulo elástico	Coefficiente Poisson	Limite elástico
Nylon 66 GF 30	6.1 GPa	0.34	120 MPa

2. Métodos

Para este trabajo se decidió hacer una simulación con FEM utilizando el software ANSYS APDL, para la simulación era necesario contar con un modelo digital del impulsor a analizar el cual fue generado en el software SolidWorks.

Pasos:

- Obtención de medidas del impulsor original.
- Generación el modelo digital en SolidWorks.
- Realización el análisis FEM en ANSYS APDL.

Complicaciones de generación de geometría y modelo en SolidWorks

Para la generación del modelo 3D fue necesario realizar el dimensionamiento de las medidas principales del impulsor SIEMENS, como lo fueron el diámetro exterior, espesores, etc, lo cual se realizó por medio de un calibrador vernier, ver figura 6 y tabla 2.

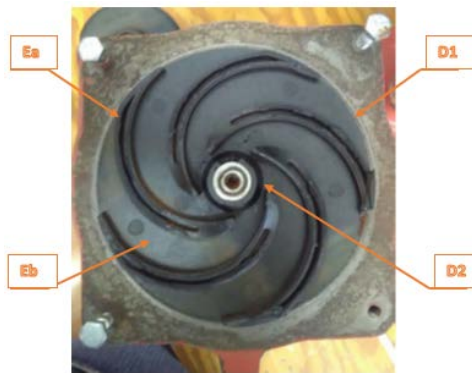


Figura 6 Impulsor de Nylon (Bomba SIEMENS IRF4 25C)

Tabla 2 Propiedades del Nylon 66 GF30.

Dimensiones del impulsor	
D1=Diámetro exterior	118mm
D2=Diámetro interior	45mm
Ea=Espesor del aspa	4.5mm
Eb=Espesor de la base	2mm

El primer intento de generación de geometría se realizó en ANSYS Workbench, primero utilizando la herramienta VistaCPD, la cual tiene la función de calcular las medidas del impulsor en base de los datos de entrada que son caudal, altura máxima de la bomba y revoluciones por minuto, todos dados por el fabricante.

Con la herramienta BladeGen, se genera la geometría en base a los cálculos realizados en VistaCPD. BladeGen genera el perfil de un solo álabe dado que el análisis del impulsor puede simplificarse en un solo elemento por las condiciones de cargas iguales en toda su geometría.

La importación de la geometría a ANSYS APDL desde esta herramienta genera problemas varios ya que para empezar, ningún formato de exportación es compatible, por lo cual se debe importar en un software CAD/CAM primero; Se procedió a la importación en ANSYS SpaceClaim y SolidWorks sin éxito, ya que la geometría se importa totalmente encapsulada y hay que eliminar las áreas que la rodean del modelo. Al dejar libre la geometría del álabe, debido a la complejidad de esta misma, es muy complicado el proceso para convertirla a un elemento sólido 3D pues está dado en trazos, la conversión a elemento sólido (figura 7) provoca problemas de geometría que no pudieron ser erradicados aun usando el corrector de geometrías de SpaceClaim.

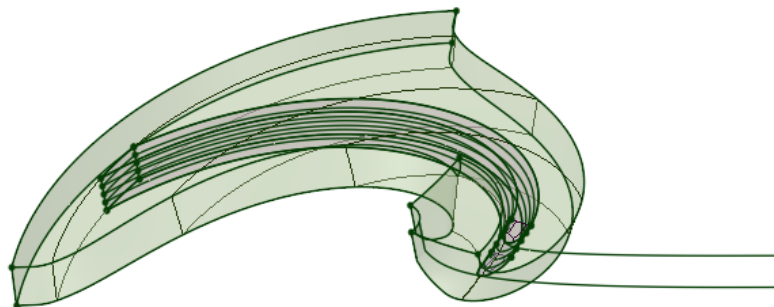


Figura 7 Impulsor generado en BladeGen.

Debido a esto, usando el software SolidWorks se tomó el área del álabe sobre la base y se procedió a hacer el modelo sólido con herramientas de extrusión, logrando la geometría más idéntica posible, y totalmente funcional para el análisis. En las figuras 8, 9 y 10 podemos observar el resultado del modelo en SolidWorks.

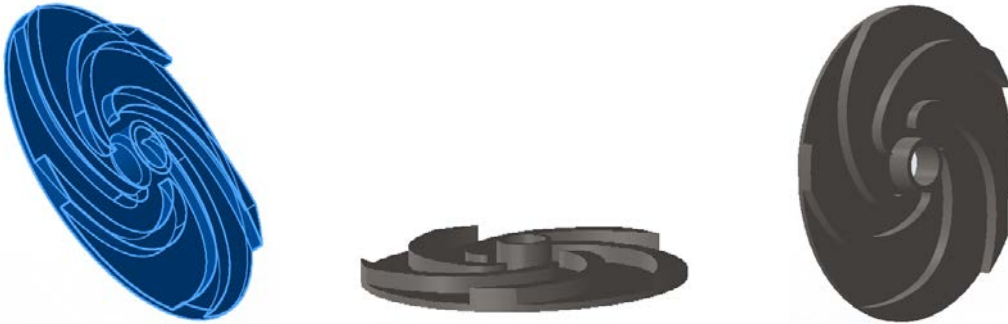


Figura 8 Isométrico Impulsor. Figura 9 Impulsor (frontal). Figura 10 Impulsor (libre).

Para el análisis en ANSYS solo es necesario el modelo del álabe debido a que todos sufren las mismas condiciones de trabajo, por lo cual el modelo completo del impulsor se seccionó quedando solo el modelo del álabe (figuras 11 y 12). La figura se guardó en formato Parasólido para su facilidad de importación a ANSYS.

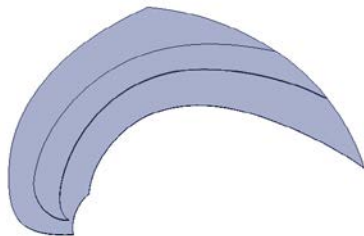


Figura 11 Álabe vista superior.

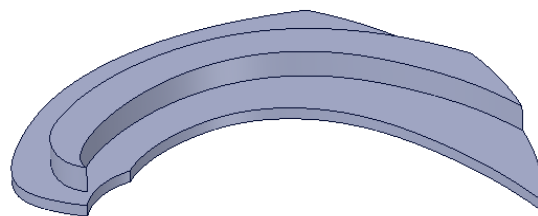


Figura 12 Álabe vista frontal.

Mallado del elemento y modelo de elementos finitos

El análisis de FEM se realizó con el software ANSYS APDL, se tomará como modelo de estudio la figura del álabe mostrada en la sección anterior y se utilizó la presión previamente calculada para simular el impacto del agua sobre el álabe del impulsor, también se usó la velocidad angular para simular el giro del álabe a su velocidad de operación. Los elementos utilizados (figura 13) fueron Mesh 200 y Solid 185.

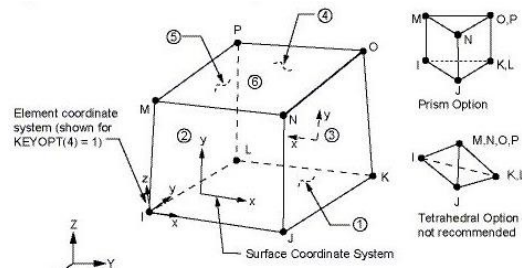


Figura 13 Elemento Solid 185.

El elemento Mesh 200 es de 4 nodos, no tiene ninguna influencia sobre el resultado, únicamente es una herramienta para lograr tener un patrón en las áreas, formando rectángulos para posteriormente mallar los sólidos y obtener una malla constituida por hexaedros.

El elemento solid 185, está definido por 8 nodos y 3 grados de libertad por cada nodo, presenta traslación en las direcciones x, y, z. Este elemento soporta plasticidad, hiperelasticidad, grandes deformaciones, tiene la capacidad de formulación mixta para la simulación de las deformaciones de los materiales elastoplásticos casi incompresibles, y materiales hiperelásticos totalmente incompresibles [Pérez Soto, 2015].

Análisis del álabe

Siguiendo los datos del fabricante la bomba gira a 3524 rpm lo cual es equivalente a 369.03 rad/s.

Dado que el álabe consta de dos volúmenes se utilizó un contacto BONDED para que al analizar las mallas estas se queden juntas. Las mallas se generaron por separado, los bordes de la base se mallaron por áreas, con una malla de cuadriláteros mapeada, para el resto de la base se utilizó una malla libre con tetraedros debido a que, por la complejidad de la geometría, no permite usar hexaedros. Para el volumen del aspa, se utilizó una malla hexaédrica con el comando sweep, debido a que con esto la malla quedará con excelente exactitud. Ambas mallas de volúmenes fueron refinadas utilizando el comando Smart size. La parte más importante de la malla es el área exterior del aspa, debido a que es la que sufrirá las cargas de presión y velocidad angular.

En la figura 14 se muestra la malla final para el análisis. El modelo de elementos finitos quedó con 3285 elementos y 1804 nodos.

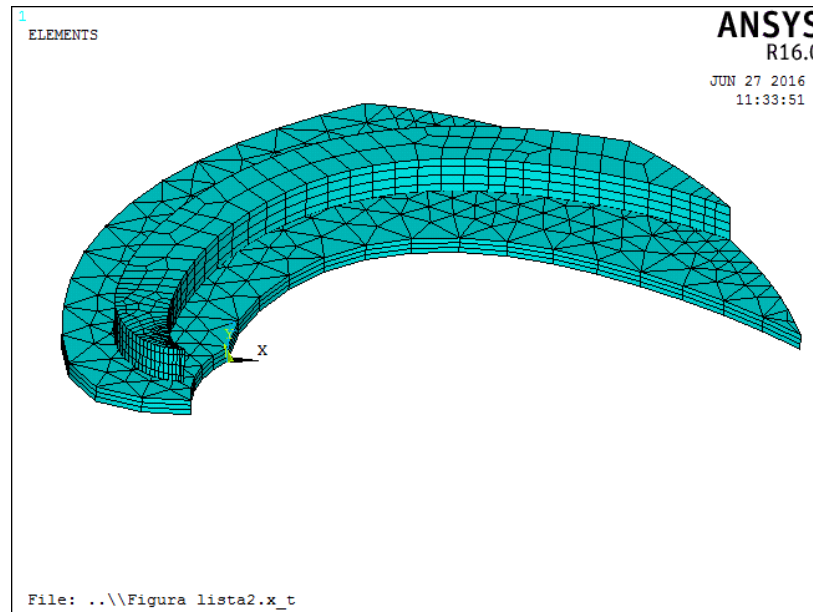


Figura 14. Mallado Final

Condiciones de frontera

Se restringió en X, Y y Z el area que esta normalmente en contacto con la flecha para simular las condiciones de empotramiento del impulsor con la flecha del motor, se usó la velocidad angular de 369.03 rad/s para el análisis y la presión antes calculada $P_2=16.273$ kPa que chocará directo con la cara exterior del álabe (figura 15).

3. Resultados

Se presenta el esfuerzo de Von Mises calculado bajo estas condiciones el cual nos da un valor de 3.72 MPa, esfuerzo que podemos observar, se concentra en el área donde el impulsor se empotra normalmente con la flecha.

Haciendo la comparación con el límite elástico del Nylon 66 GF30, el cual es de 120 MPa, podemos observar que los esfuerzos generados por el análisis son bastante bajos, por lo tanto el impulsor se encuentra sin riesgo alguno de dañarse bajo estas condiciones (figura 16).

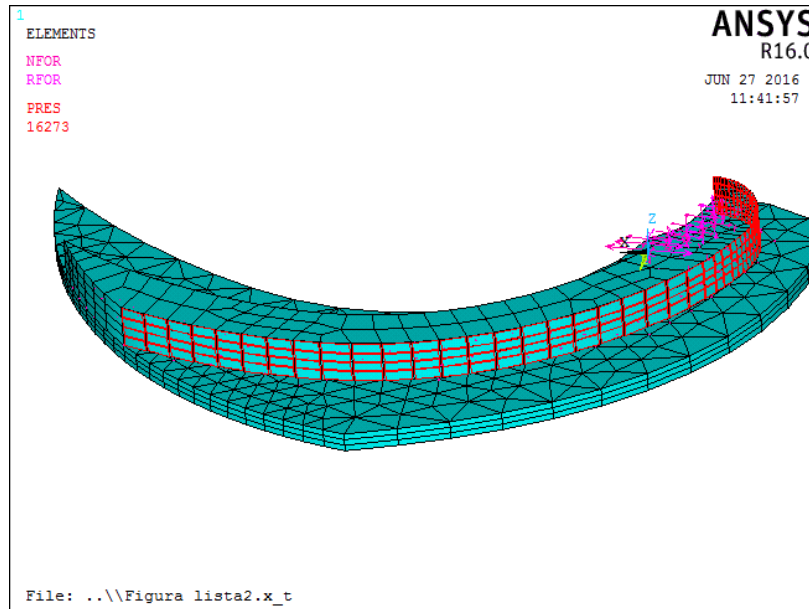


Figura 15 Condiciones de frontera aplicadas.

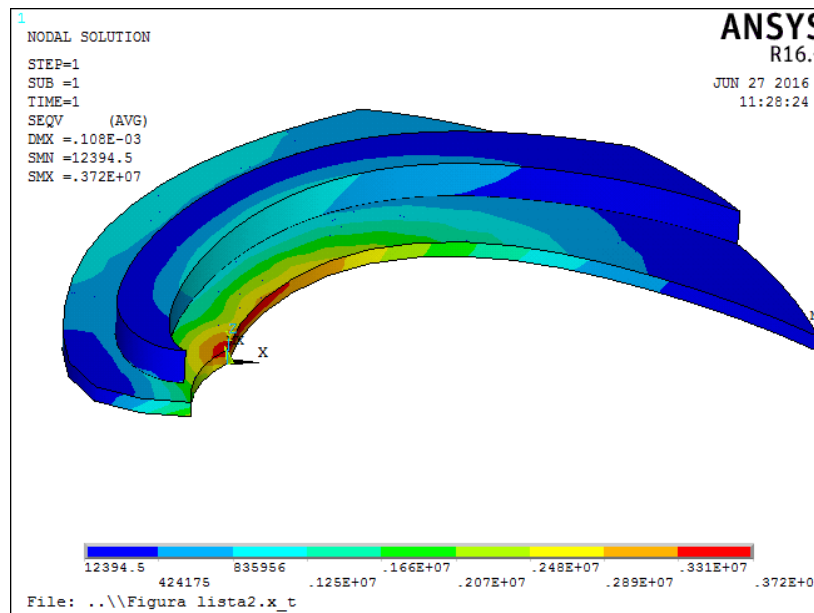


Figure 16. Esfuerzo Von Mises generado en el álabe.

Además de eso, se obtuvieron desplazamientos de 0.108 mm lo cual es bastante bajo, se concentran en la punta de la base del álabe. Si se toma en cuenta que esta es la zona del diámetro exterior, podemos observar que el desplazamiento sería uniforme en todo el impulsor, por lo cual se puede decir que son despreciables y no provocan riesgo alguno (figura 17).

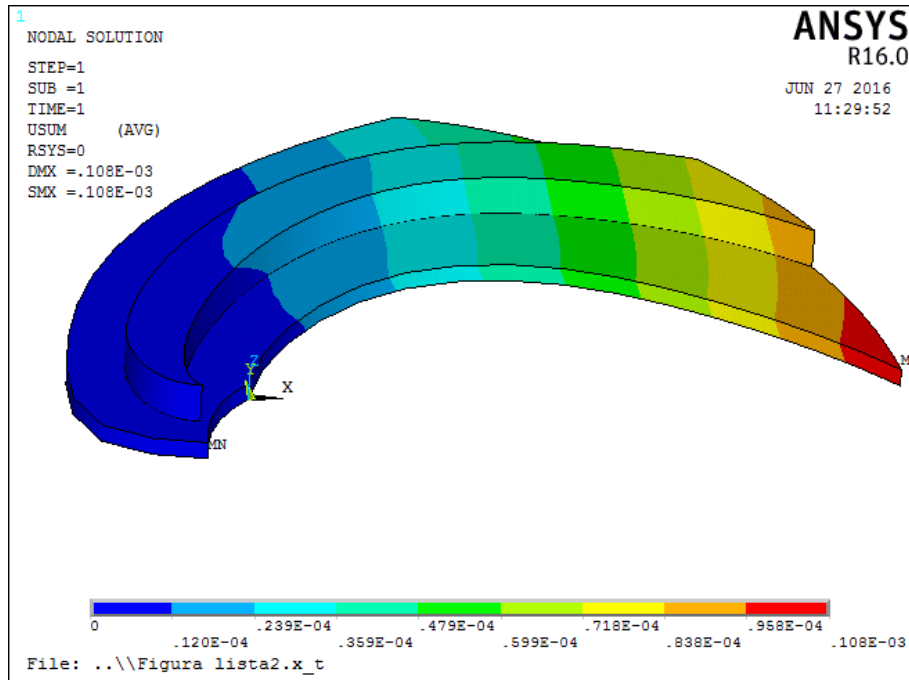


Figure 17 Desplazamientos en el álabe.

Observando las deformaciones en el elemento se puede concluir que bajo estas condiciones de operación, el material es más que adecuado y está en condiciones para soportar cargas mucho mayores a las de operación establecidas por el fabricante (figura 18).

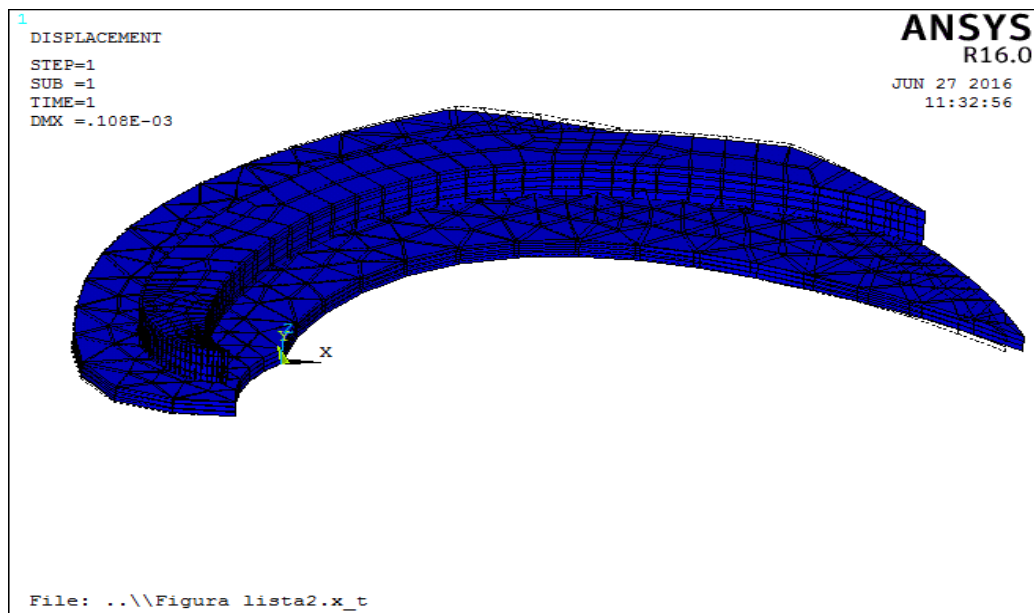


Figura 18 Deformaciones en el álabe.

4. Discusión

Como se mostró en los resultados, los esfuerzos a los que está sometido el impulsor son muy bajos comparados con el límite elástico del material elegido para su construcción y los desplazamientos que sufre en sus condiciones de funcionamiento son despreciables. El impulsor diseñado por SIEMENS de nylon 66 GF30 tiene las características adecuadas para trabajar en las condiciones que se mencionan en las especificaciones del fabricante, además de tener la ventaja de que el material es ligero y no dificulta el funcionamiento de la bomba. Dadas las condiciones estructurales vistas en este análisis, es complicado pensar en alguna manera de optimización inmediata, ya que la geometría es de excelentes dimensiones y en general, el impulsor está muy bien diseñado para la tarea que le es asignada.

5. Bibliografía y Referencias

- [1] Farid Ayad. "A, Effect of semi-open impeller side clearance on the centrifugal pump performance using CFD", *Aerospace Science and Technology*, No. 47, 247 -255, 2015.
- [2] Manuel Viejo Zubicaray, *Bombas: Teoría, diseño y aplicaciones*, 2 ed., México:LIMUSA, 2000
- [3] S. R. Shah, "CFD for centrifugal pumps: a review of the state-of-art", *Procedia Engineering*, No. 51, 715 – 720, 2013.
- [4] Ming Zhang, "The fatigue of impellers and blades", *Engineering Failure Analysis*, 2016.
- [5] Roberto Pérez Soto, *Validación de prótesis intervertebral para la zona lumbar por el método de elementos finitos*, Memorias de la SOMIM, 2015.
- [6] Robert L. Mott, *Mecánica de fluidos*, 6th ed., Pearson.