

## Rediseño de un transportador industrial IQF de tornillo sinfín para atún

FERRER-ALMARAZ, Miguel Ángel†\*, RAMOS-LÓPEZ, Humberto, LEDESMA-JAIME, Reynaldo y GUANDULAY-ALCAZAR, Miguel Ángel

*Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato*

Recibido Abril 06, 2016; Aceptado Mayo 28, 2016

### Resumen

El presente trabajo se refiere al rediseño de un transportador industrial para atún con forma de tornillo sinfín. Esto inmerso dentro de un proceso de congelación rápida (IQF), de tal manera que el transportador satisfaga los requerimientos del sistema, como son: flujo del material, momento torsor, diámetro de la hélice; además de contar con un material que no sea contaminante, en este caso acero inoxidable grado alimenticio. Por lo anterior se calcula la potencia requerida por el motor que moverá el sistema. Se propone un modelo del tornillo sinfín en un software de CAD, dimensionando y estableciendo las características a detalle del mismo. También se hace un estudio de elementos finitos cuantificando las deformaciones existentes así como el factor de diseño resultante. Esto último se compara con un cálculo numérico de la deformación total del sistema, además se enumeran los materiales requeridos para la construcción del sistema en base al diseño propuesto.

### Abstract

This paper refers to the redesign of an industrial tuna shaped conveyor worm. This immersed in a process of quick freezing (IQF), so that the carrier meet the system requirements, such as: material flow, torque, propeller diameter; besides having a material non-polluting, in this case food grade stainless steel. Therefore the power required by the motor to move the system is calculated. A model of the worm is proposed in CAD software, sizing and setting detail the characteristics thereof. Finite element study is also made quantifying existing deformations and the resulting design factor. The latter is compared with a numerical calculation of the total deformation of the system, besides the materials required for constructing the system based on the proposed design are listed.

**Conveyor, auger screw, stainless, tuna**

### Transportador, sinfín, hélice, inoxidable, atún

**Citación:** FERRER-ALMARAZ, Miguel Ángel, RAMOS-LÓPEZ, Humberto, LEDESMA-JAIME, Reynaldo y GUANDULAY-ALCAZAR, Miguel Ángel. Rediseño de un transportador industrial IQF de tornillo sinfín para atún. Revista de Aplicaciones de la Ingeniería. 2016. 3-7: 55-.

\* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: maferrer@utsoe.edu.mx.)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

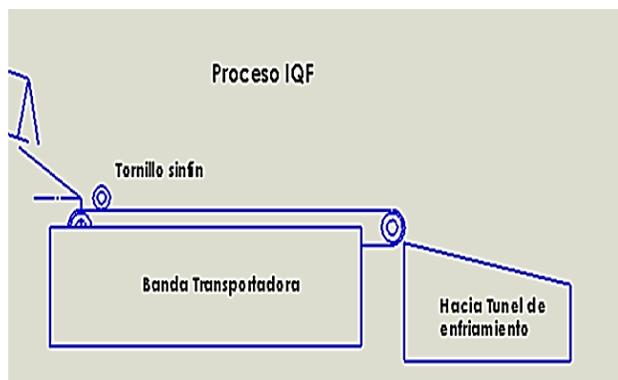
## Introducción

El proceso de congelación individual rápida (IQF), por sus siglas en inglés, es utilizado para la congelación de diversos alimentos como vegetales, pescados, etc. Contribuyendo a conservar sus propiedades físicas.

La congelación se efectúa por medio de un túnel de enfriamiento donde circulan flujos de aire a velocidades relativamente elevadas. Antes del túnel de enfriamiento, el producto deberá ser cortado y vaciado a una tolva, cuya salida terminará por arriba de un tornillo sinfín (gusano).

La función del gusano es transportar y distribuir de manera homogénea el producto a lo ancho y largo de una banda transportadora, justamente que pasa por debajo del tornillo sinfín.

Finalmente la banda transportadora llevará el producto hacia el túnel de enfriamiento (ver Figura 1).



**Figura 1** Sistema de transporte con IQF

El estudio que se presenta se dirige hacia el rediseño del tornillo sinfín en el sistema para transportar atún mediante un proceso IQF.

Se debe considerar particularmente el material a utilizarse. Para este caso se utilizaba Nylamid, sin embargo este material presenta porosidades y de acuerdo a la norma oficial mexicana NOM-093-SSA1-1994, los materiales en contacto directo con productos alimenticios deberán ser de acero inoxidable.

Además existe una separación entre la raíz de la hélice y el eje de aproximadamente 0.0010", provocando una acumulación de producto en el espacio, dando hincapié a la descomposición del producto terminado y esto a su vez a la generación de bacterias o patógenos contaminantes. Respecto a la manufactura deberá utilizarse el mínimo de uniones soldadas en caso de requerir soldadura esta será de forma higiénica (sin porosidades).

## Descripción del método

### Condiciones de diseño

Las condiciones requeridas para el diseño del tornillo sinfín tipo gusano para ser utilizado como mezclador para atún, el tornillo se dividirá en dos partes (ocho hélices en cada parte), con sentidos izquierdo y derecho, sin flecha central, en cambio se utilizarán tres espigas en los costados y otra más en el centro, diámetro de la hélice de 5½", con una longitud total de 88 pulgadas.

Considerando un flujo de material de 800 pies cúbicos por cada hora sobre el tornillo sinfín. Par torsor de 2374 Lb-in; peso total de 112 Lb. Se utilizará acero inoxidable por ser el producto alimenticio [1].

### Cálculos del diseño

El tornillo sinfín será tipo estándar, de tal manera que el paso del tornillo es igual al diámetro del espiral [2], así:

Ángulo de entre la hélice y el eje =  $17.65^\circ$

Además el paso será:

Paso =  $5\frac{1}{2}$  in

La velocidad angular con que se moverá el tornillo sinfín dependerá de la consideración del porcentaje de carga promedio (15 %), además del diámetro de la hélice, de esta forma dicha velocidad será 72 rpm.

Así mismo la potencia de salida del tornillo sinfín se calcula por las expresiones en HP, considerando primero la fricción [3]:

$$HP_f = \frac{LNF_d f_b}{1000000} \quad (1)$$

Donde L es la longitud total del tornillo sinfín en pies, para el caso será 7.33 ft.

N son el número de revoluciones por cada minuto, correspondiendo 72 rpm.

Así mismo  $F_d$  es un factor de diámetro del transportador, referencia [3], utilizando el diámetro de la hélice, 5.5 in e interpolando se llega a un valor de 15.

Para el caso del factor de rodamiento  $f_b$ , se usará un rodamiento de bolas, con un factor de 1.0. Sustituyendo los valores anteriores en la ecuación 1, se tiene:

$$HP_f = 0.007 \text{ HP}$$

Indicando que pérdida de potencia por fricción es despreciable en estas condiciones. Así mismo para desplazar el material,  $HP_m$  se calcula por medio de la expresión [3]:

$$HP_m = \frac{CLWFF_m F_p}{1000000} \quad (2)$$

Donde C es la capacidad en pies cúbicos por hora, en este caso es de  $800 \text{ ft}^3 / \text{hr}$ , también W es el peso del material, para el atún será el rango de valores 35- 40  $\text{Lb}/\text{ft}^3$ , tomando el valor máximo de  $40 \text{ Lb}/\text{ft}^3$ . El factor  $F_F$  se refiere al porcentaje de carga promedio en el tornillo sinfín, tomando un promedio del 15%, siendo el factor de 1.

Para el caso de  $F_m$  [3], factor de material se tomará como 1. Por otro lado el factor  $F_p$ , representa el número de aletas por paso, tomando un valor de 1.29. De todo lo anterior y sustituyendo en la ecuación 2, se tiene:

$$HP_m = 0.3 \text{ HP}$$

Finalmente la potencia total resulta de la inclusión de las potencias calculadas anteriormente, esto es [3]:

$$HP_{Total} = \frac{(HP_f + HP_m)F_o}{e} \quad (3)$$

Donde  $F_o$  es un factor de sobrecarga que tendrá un valor de 2.7, además el factor e, se refiere a la eficiencia del mecanismo, considerándolo como 1. De tal manera que el valor de la potencia necesaria para el sistema es:

$$HP_{Total} = 0.8$$

Es decir se requiere un motor de 1 Hp para que funcione adecuadamente el sistema.

### Material

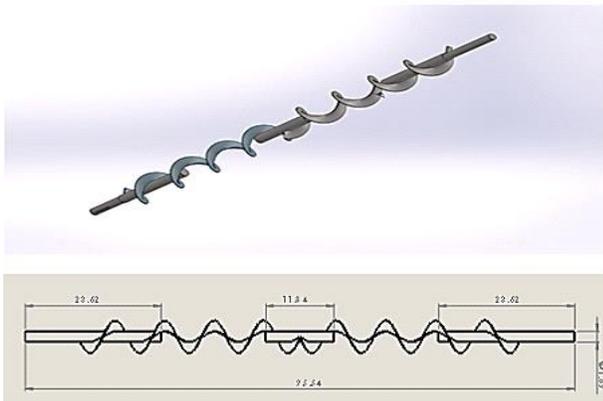
El material propuesto será [3], AISI 304, laminado en caliente, calidad alimenticia, cuyas propiedades mecánicas son [5], tabla 1:

Módulo de elasticidad	27557 Ksi
Resistencia a la cedencia	30 Ksi
Densidad	0.29 Lb/in <sup>3</sup>

**Tabla 1** Propiedades mecánicas del AISI 304

**Modelo propuesto**

De acuerdo a las condiciones de diseño establecidas se propone el siguiente modelo (figura 2), realizado con un software de CAD, careciendo de eje central, en su lugar llevará tres espigas. La espiga central mide de largo  $11\frac{3}{4}$  in ; con diámetro de  $1\frac{7}{8}$  in ; así mismo las espigas laterales tienen una longitud de  $25\frac{3}{4}$  in y diámetro  $1\frac{7}{8}$  in.



**Figura 2** Modelo propuesto para tornillo sinfín, en pulgadas

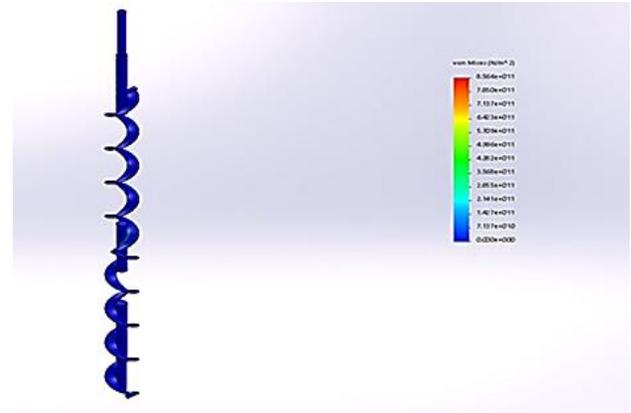
**Análisis de Von Mises-Hencky**

Se realizó un análisis por elementos finitos de la estructura, utilizando el método para falla de Von Mises-Hencky; de acuerdo a la ecuación 4:

$$\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2 = \frac{S_y}{N} \tag{4}$$

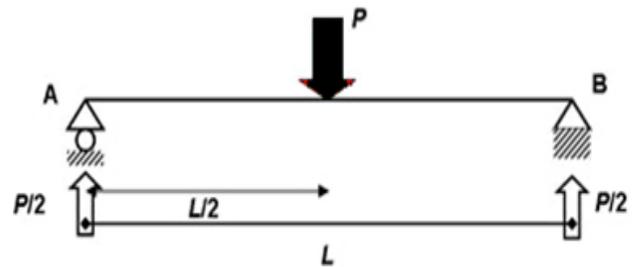
Donde  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\tau_{xy}$  es el estado de esfuerzos plano del sistema;  $S_y$  es la resistencia a la cedencia y  $N$  es el factor de seguridad.

La malla utilizada es sólida, elementos cuadráticos de alto orden, el mallador utilizado es en curvatura, tamaño máximo de elementos, 0.6 in, así como tamaño mínimo de elementos 0.03 in. Se aplica una carga de 112 Lbs y torsión de 2374 Lb-in. Figura 3.



**Figura 3** Análisis de esfuerzos por elementos finitos para el sistema

Para encontrar la deflexión máxima ocurrida en el tornillo sinfín, considerando este último como una viga simplemente apoyada con carga en el centro (ver Figura 4). De tal manera se tiene [6]:



**Figura 4** Consideración de tornillo sinfín como viga simplemente apoyada. Siendo P, la carga aplicada y L es la longitud de la viga

Y de acuerdo a los métodos de energía (teorema de Castigliano), la deflexión en la viga:

$$y_i = \frac{\partial U}{\partial P_j} = \int \frac{M}{EI} \frac{\partial M}{\partial P_j} dx \tag{5}$$

De tal manera que haciendo cortes en la viga anterior, el momento del primer corte será:

$$M = \frac{P}{2} x \quad (6)$$

Derivando parcialmente respecto a P la ecuación 6:

$$\frac{\partial M}{\partial P} = \frac{x}{2} \quad (7)$$

Aplicando la ecuación 5, y sustituyendo los límites de la integral desde 0 hasta L/2, se tiene:

$$y_1 = \frac{1}{EI} \int_0^{L/2} \left(\frac{P}{2} x\right) \left(\frac{x}{2}\right) dx \quad (8)$$

Resolviendo  $y_1$ :

$$y_1 = \frac{PL^3}{96EI}$$

Ahora respecto al segundo corte, el momento será:

$$M = \frac{P}{2}(L - x) \quad (9)$$

Y la derivada parcial de la misma respecto a P, será:

$$\frac{\partial M}{\partial P} = \frac{L-x}{2} \quad (10)$$

Aplicando la ecuación 5, y considerando los límites de la integral desde L/2 hasta L:

$$y_2 = \frac{PL^3}{96EI}$$

Así mismo la suma de  $y_1$  con  $y_2$ , dará como resultado:

$$y_{max} = \frac{PL^3}{48EI} \quad (11)$$

Donde P es la carga aplicada, L es la longitud de la viga, E es el módulo de Young así mismo I es el momento de inercia. Sustituyendo valores se encuentra:

$$y_{max} = 0.050 \text{ in}$$

## Resultados

En relación al análisis de esfuerzos aplicado al sistema se encontró lo siguiente (figura 3):

Factor de seguridad de 1.5.

De acuerdo al análisis de desplazamientos generado, figura 5, se tiene un desplazamiento máximo de 1.2 mm (0.04 in), muy por debajo del máximo desplazamiento permitido.

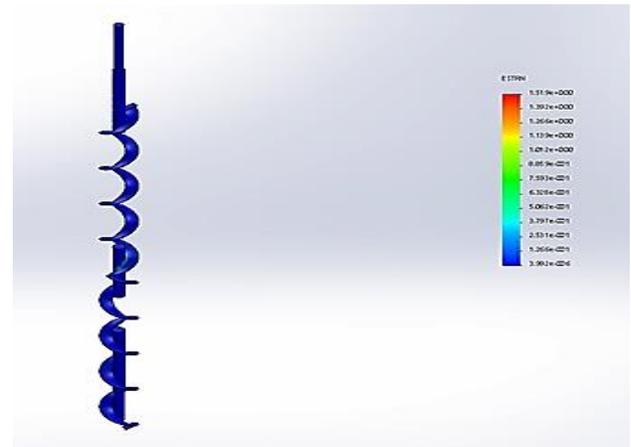


Figura 5 Análisis de desplazamientos en el sistema

## Proceso de manufactura

En cuanto a la fabricación del tornillo sinfín, y de acuerdo al modelo propuesto se requieren los siguientes materiales, tabla 2:

Material	Cantidad
Barra de acero inoxidable de diámetro 8 in x 3 in longitud	25 Kg
Soldadura en material acero inoxidable microalambre (ER308)	7 Kg
Decapante	0.75 Kg
Tramo de 6m, solera de acero inoxidable de 3 in de ancho x ¼ in	48 Kg
Barra de acero inoxidable de 2 in x 80 in de longitud	20 Kg

**Tabla 2** Materiales para la fabricación del tornillo sinfín

## Conclusiones

De acuerdo a las condiciones diseño requeridas para el presente proyecto, donde habría que cumplir con las especificaciones del material, torque, dimensionamiento, por lo cual los criterios sobre desplazamientos en deflexión cumplen los valores permitidos, el motor necesario para mover el sistema es viable, al llegar a un grado de confiabilidad aceptable. Por todo lo anterior es aceptable la realización del proyecto en cuanto a su diseño, que dando para un futuro próximo la fabricación del mismo.

## Referencias

- [1] Norma NOM-093-SSA1-1994, Bienes y servicios. Prácticas de higiene y sanidad en la preparación de alimentos que se ofrecen en establecimientos fijos, 1994,
- [2] J. E. Shigley, L. Mitchel. Diseño en Ingeniería Mecánica, Octava edición, México, Mc Graw Hill
- [3] Martin, Manual Sprocket & Gear, USA, Martin Inc.

[4] Mott R.L., Diseño de elementos de máquinas, México, Segunda edición, México

[5] Perry, Manual del Ingeniero Químico, quinta edición, México, Mc Graw Hill, Tomo I

[6] Avallone, E. A., Baumeister, T., Manual del Ingeniero Mecánico, novena edición, México, Mc Graw Hill

[7] Ferrer, M. A. (2014) Diseño de máquina de vibraciones para pruebas a contenedores transportables, Academia Journals, Volumen 6, No.5, 1431-1432

[8] Ferrer, M. A. (2015) Caracterización de una grúa viajera, Academia Journals, Volumen 6, No.5, 1431-1432