

MAQUINA DOSIFICADORA VOLUMETRICA Y SELLADORA DE MANÍ ENCONFITADO, PARA LA INDUSTRIA ARTESANAL

Cristina Chuquín
Universidad Técnica del Norte
cristina_chuquin@hotmail.com

Resumen

El presente trabajo contiene el diseño y construcción de una máquina dosificadora y selladora de maní confitado para la industria artesanal. En el primer capítulo se indica la forma en que se realiza el empaquetamiento en la actualidad, y se indica los problemas que se van a solucionar con la implementación de esta máquina y el alcance del proyecto. En el capítulo 2 Se indica los precedentes que existen en el mercado para solucionar este problema. En el capítulo 3 se explica la metodología seleccionada para el diseño de la empaquetadora, con los respectivos cálculos. Lo referente a montaje y pruebas y análisis de resultados comprenden en los capítulos 4 y 5.

INTRODUCCION

El maní es un producto ancestral dentro de los producción ecuatoriana [1]
En Ecuador el total de la producción de maní es procesada solamente para consumo humano directo, se utiliza desde la semilla hasta el follaje, la semilla se utiliza en forma directa como grano crudo y en subproductos como aceites, mantequilla, confitería; además de su utilización en platillos típicos [2]. Actualmente alrededor de 500 Tn. del

volumen total producido es para confitería [3].

Parte de la pequeña industria no solo de Imbabura sino a nivel nacional se ha dedicado a la elaboración de este confite [4] En la actualidad las pequeñas empresas en el país buscan maneras de ser más competitivas, para conseguir este propósito deben ser más eficientes lo que se logrará con la adquisición de nuevas tecnologías que permitan competir en un mercado cada vez más estricto en cuanto a calidad y economía. En la industria artesanal de la zona norte del país actualmente todos los procesos para la elaboración de maní enconfitado se realiza de forma artesanal incluyendo la dosificación y el sellado. Realizar el empaquete ralentiza la producción, limitando a un valor diario de 50 kg [5], además en los procesos de dosificación y sellado existe contacto producto – operador, ya que tanto el producto como las bolsas para el empaque están en contacto directo y constante con las personas que realizan estas operaciones.

En el 2010 Morales Emilio, elaboró una empaquetadora para alimentos molidos y secos como achiote, anís, semilla de mostaza; la capacidad de carga es entre 15 a 25 kg, el producto desciende por

acción de la gravedad a un vaso dosificador este se desplaza con ayuda de un pistón, para el empaque utiliza rollos de polietileno, la máquina dosifica en fundas de 50 g, el costo de construcción de esta es de 2190 dólares. Esta máquina está propuesta para trabajar en las MIPYMES [6], pero al estar destinada a productos molidos no se puede aplicar para empaquetar maní enconfitado.

En el 2013 Mauricio Iza & Medina Alex diseñan una máquina dosificadora y empacadora para snacks de la empresa ECUAMEX S.A, la dosificación se la realiza por volumen y por peso, permite enfundar entre 23 a 40 unidades por minuto, en peso entre 15 a 120 gr. dependiendo del material que se desea empaquetar el costo de fabricación de esta máquina es de 12762 dólares [7].

Una máquina dosificadora y selladora se implementará con la finalidad de dar una solución práctica y real, esta facilitará el trabajo con el envasado en menor tiempo lo que permitirá un aumento en la producción, garantizando inocuidad y buena presentación del producto.

Para disminuir el contacto producto – operador, aumentar la producción, y mejorar la presentación, se construye una máquina dosificadora volumétrica y selladora para maní enconfitado, que cumpla los requerimientos sanitarios, mantenga la fiabilidad y que no afecta en gran medida el presupuesto de las MIPYMES dedicadas a esta actividad.

La máquina dosificadora volumétrica y selladora como un modelo inicial únicamente entrega fundas individuales de maní enconfitado con un volumen equivalente a 125 gr. cada una, con error de aproximadamente 0,24% causado por la no uniformidad del maní y por el espacio existente entre los granos de maní, se va a producir máximo 300 fundas por hora.

Para el empaque se utiliza funda tubular, dado que actualmente las MIPYMES cuentan con este material para realizar este proceso [5].

METODOLOGIA

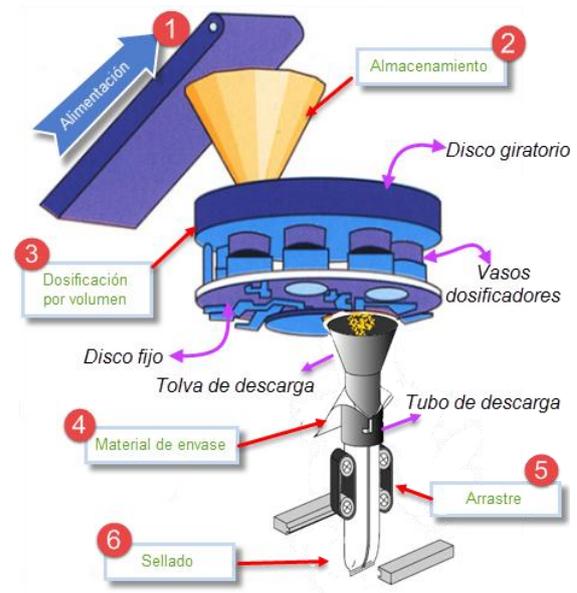


Figura 1 Dosificador volumétrico

En la figura 1 se observa el proceso que realiza una máquina empacadora. La alimentación (Numeral 1) explica la forma en la que llega la materia prima a la máquina, esta puede ser manual o automática con ayuda de bandas

transportadoras. La materia prima es colocada en la tolva de almacenamiento (Numeral 2), el diseño de la tolva permite que el producto descienda por gravedad y en cantidades moderadas para ser dosificado. La dosificación se realiza por volumen (Numeral 3), el producto que desciende de la tolva cae en el disco giratorio, este tiene perforaciones en las que se coloca vasos dosificadores cuyo volumen equivale a la cantidad en gramos que se desea dosificar. El disco giratorio transporta el vaso lleno hacia la posición de descarga. La parte inferior de los vasos esta sobre un disco fijo de igual diámetro que el disco giratorio, este disco tiene una sola perforación de igual diámetro que el de los vasos dosificadores por esta desciende el material dosificado a una boquilla de descarga cuyo objetivo es direccionar el producto a un tubo de descarga, donde se coloca la funda de tipo tubular (Numeral 4), el tubo permite que por su interior descienda el maní hasta la funda que previamente ha sido sellada.

Para envasar el producto dosificado la funda tubular que se encuentra plegada en el ducto debe descender, para ello se acciona el mecanismo de arrastre (Numeral 5), que mediante rodillos acoplados a un motor presionan la funda hacia el tubo manteniendo tenso el plástico, de tal forma que no se producen desalineaciones, el material de empaque se desliza gracias a la tracción ejercida por este mecanismo que al girar arrastra

la cantidad requerida de material para el envase [8]. El mecanismo de arrastre está ubicado previo al sellado horizontal (Numeral 5) que se realiza para terminar la bolsa y separarse del rollo de funda tubular.

El producto dosificado cae en el envase formado parcialmente (Numeral 5), el cual luego es sellado horizontalmente para terminar la bolsa y separarse del rollo de funda tubular.

El sello final no solo forma el cierre del empaque lleno sino que también es el sello de fondo de la próxima bolsa.

Se selecciona por método ordinario corregido, tolva pirámide truncada y sellado por alambre caliente.

Para el cálculo de la densidad se realizan varias mediciones de maní enconfitado en un recipiente cilíndrico de 0,04 m y diámetro de 0,075 m obteniendo un volumen de 0,000179 m³.

De los datos tomados se obtiene que:

Media de masa = 125.2 gr.

De donde:

Peso específico de maní confitado:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{125.2 \text{ gr}}{179 \text{ cm}^3} = 0.699 \text{ gr/cm}^3$$

Para el diseño se divide en cuatro secciones.

1. CÁLCULO Y DISEÑO DE EJE DOSIFICADOR

Para encontrar la torsión se encuentra primero el momento de Inercia del conjunto de piezas que integran el plato dosificador.

$$I = \sum m * r^2$$

$$I_{ed} = 4,697.10^{-5} \text{ kg.m}^2$$

Con ayuda de software se encuentra la inercia en el eje (figura 2) y se compara este valor con los datos calculados anteriormente.

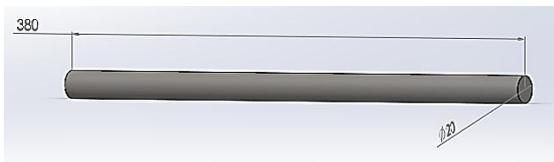


Figura 2 Eje de dosificador

Valores obtenidos en software:

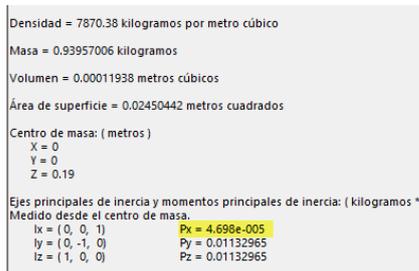


Figura 3 Inercia en eje dosificador

Los resultados de valores entre Inercia calculada y la inercia generada por el software figura 3, son iguales con esto se comprueba que el software genera valores confiables.

A continuación, con la asistencia de software se encuentra la Inercia del mecanismo de dosificación como un conjunto integrado por el plato dosificador, el eje, los vasos y material como se observa en la figura 4.



Figura 4 Conjunto Dosificador para encontrar Inercia

Los datos obtenidos son:

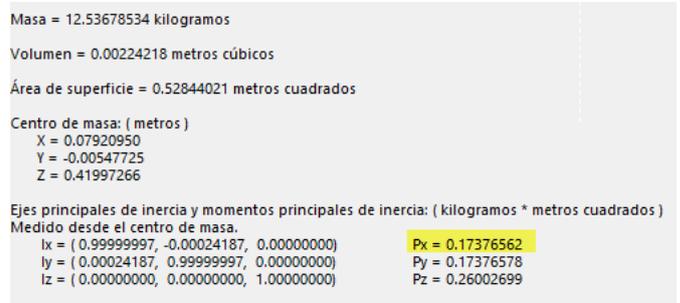


Figura 5 Inercia del conjunto dosificador

En la figura 5 se observa la resultante de inercia en el conjunto dosificador.

$$I_{cd} = 0,1737 \text{ kg.m}^2$$

Con este dato se encuentra el valor de torsión:

$$T = I . \alpha$$

$$T = 0,109 \text{ N.m}$$

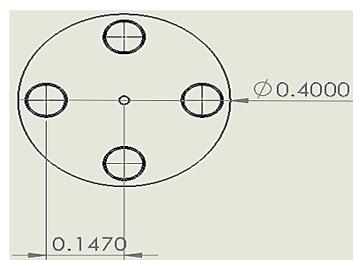


Figura 6 Disco giratorio

Para calcular la fuerza de rozamiento en el diseño se realiza con un coeficiente de rozamiento μ alto, así estas fuerzas no son despreciables.

$$\mu = 0,9$$

El peso en cada vaso:

$$P = m \cdot g = 1,225 \text{ N}$$

La f_r resultante es:

$$f_r = \mu \cdot P = 1,10 \text{ N}$$

El torque total es:

$$T = T_{cd} + 4(fr * d)$$

$$T = 0,75 \text{ Nm}$$

Con este dato se encuentra la potencia requerida para mover el dosificador:

$$P = T * v = 0,75 * 0,628 = 0,471 \text{ W}$$

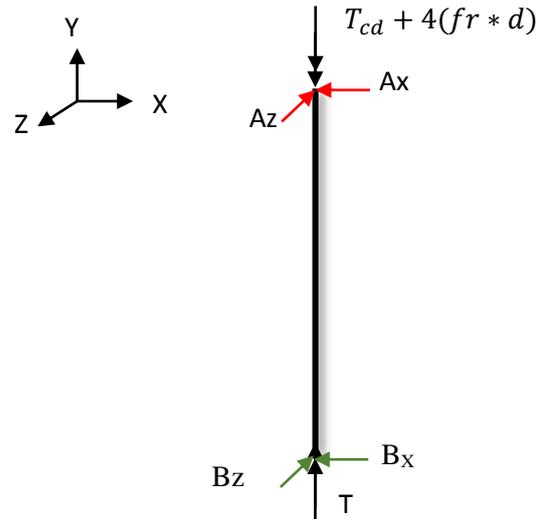
El valor de potencia encontrado sirve como parámetro para la selección del motor.

Se encuentra el Torque que produce este motor:

$$\frac{1}{4} \text{Hp} = 372 \text{ W}$$

$$T = \frac{P * 9,55}{n} = 1,97 \text{ N.m}$$

Conociendo el torque al cual va a trabajar el motor se procede a realizar el DCL de la figura 7 se indica el DCL de las fuerzas y momentos que se aplican sobre el eje.



Utilizando el modelo matemático para diseño de ejes en vida infinita se encuentra el diámetro del eje [9]:

$$d = \left\{ \frac{32 \cdot N_f}{\pi} \left[\frac{\sqrt{(K_f \cdot M_a) + \frac{3}{4} (K_f \cdot T_a)^2}}{S_e} + \frac{\sqrt{(K_f \cdot M_m) + \frac{3}{4} (K_f \cdot T_m)^2}}{S_{ut}} \right] \right\}^{1/3}$$

$$d = 13 \text{ mm}$$

$$N_y = 5,07$$

2. DISEÑO DE DESPLAZAMIENTO DE FUNDA

El empaquetado se realiza en una funda de tipo tubular, por esto el desplazamiento consiste en un tubo hueco en el cual se coloca la funda y con ayuda de rodillos se desplaza 0,15 m que se requiere para envasar el producto dosificado. Para mover los rodillos se utilizan dos ejes los cuales giran por el movimiento de los engranes que están en los ejes (figura 8), a los ejes se los denomina eje conductor (el que transmite el

movimiento y eje conducido (el que recibe el movimiento).

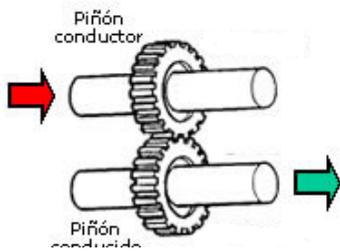


Figura 8 Transmisión de movimiento por medio de piñones

Diseño de eje para desplazamiento de funda

En el eje que recibe el movimiento (es en cual no se encuentra la Catarina), llamado eje conducido, se realiza un DCL, figura 9, para un análisis de fuerzas y encontrar la torsión en este eje.

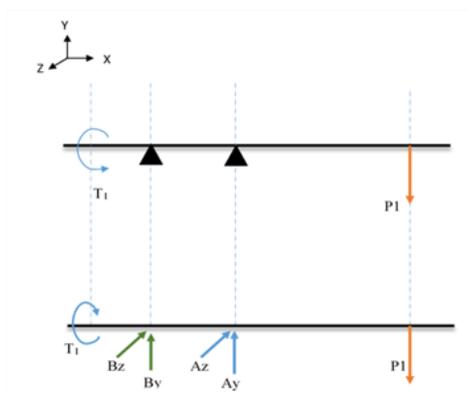


Figura 9 DCL eje conducido

En este eje la fuerza P es el peso de la funda de 125 g, pero esta fuerza se distribuye en los dos ejes siendo la fuerza P1

$$P_1 = 0,615 \text{ N}$$

$$P_1 = P_2$$

De este análisis se obtiene el torque resultante en el eje:

$$T_1 = 0,00615 \text{ N.m}$$

El torque encontrado se lo aplica sobre en el eje conductor (transmite el movimiento) que es en donde se encuentra la catalina.

Al realizar el análisis en base al DCL, se encuentra el torque en este eje:

$$T = 0,0123 \text{ N.m}$$

Conociendo el torque y utilizando el modelo matemático para diseño de ejes en vida infinita se encuentra el diámetro del eje:

$$d = 6 \text{ mm}$$

$$N_y = \frac{S_y}{\sigma_{max}}$$

$$N_y = 61$$

3. DISEÑO DE TOLVA

Conociendo la densidad del producto 699441,34 g/m³ se procede a calcular el volumen ocupado por 25 kg.

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{25000 \text{ g}}{699441,34 \text{ g/m}^3} = 0,0357 \text{ m}^3$$

Tomando en cuenta los planes de crecimiento en producción de las MIPYMES se sobredimensiona el volumen, calculando para 44 kg, de donde:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{44000 \text{ g}}{699441,34 \text{ g/m}^3} = 0,0629 \text{ m}^3$$

La teoría de D. LAFORGE Y BORUFF A PARTIR DE ENSAYOS EXPERIMENTALES, concluye que una tolva de 60° de pendiente produce un flujo más uniforme y mayor caudal de salida que una tolva de 20° o de fondo plano. Además el valor de caudal es mínimo si la pendiente de la tolva está dentro del rango de 20 a 40°, esto debido a que una tolva con pendiente pequeña aumenta el choque de las partículas, retardando el proceso de vaciado [10]. Por lo antes expuesto se diseña la tolva con un ángulo de $\alpha = 60^\circ$.

El total del producto a una máxima producción que soportará la tolva es 44 kg.

Para el cálculo de esfuerzos en la tolva se utiliza el método de *elementos finitos*. Para esto se conoce que el material de fabricación es AISI 304, el límite de fluencia de este material es 176 MPa y la fuerza aplicada es 616 N, en cada cara del recipiente.

Las restricciones son los puntos donde se soporta la tolva figura 10.

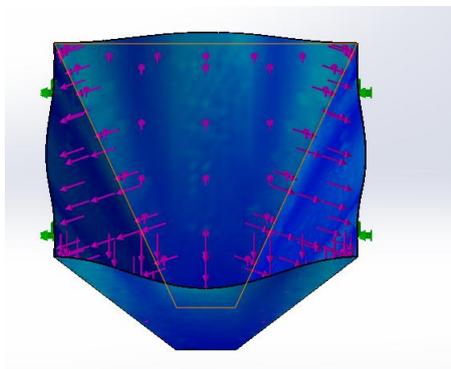


Figura 10 Diagrama Von Mises de Tolva

De la figura 10 se muestra que en la tolva no existen áreas en las que el material

llegue al límite de fluencia, con esto se comprueba que el material no falla al soportar el peso del producto.

En la figura 11 el factor de seguridad crítico es 2.83.

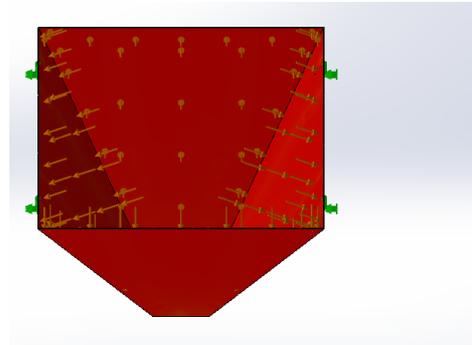


Figura 11 Diagrama de FDS en Tolva

4. ANALISIS DE ESTRUCTURA

La estructura debe permitir la funcionalidad de cada uno de los elementos que componen la máquina. Para su diseño se selecciona el acero al carbono AISI 1020, este es recubierto por una plancha de acero inoxidable para cumplir con las normas de materiales para contacto con alimentos. Los pesos q soportar la estructura se detallan en la tabla 1.

Tabla 1. Pesos soportados por la estructura

Material:	AISI 1020
Peso Tolva:	3kg
Capacidad Máxima de la tolva:	44Kg
Motor. (sistema de desplazamiento)	2kg
3 Ejes, 2 Engranés, 2 catarinas, 1 cadena.	2kg
Sistema de sellado	2,5kg
Panel de control de temperatura	1kg
Total	60,5kg

Para el análisis de la estructura utilizamos el software SOLIDWORKS

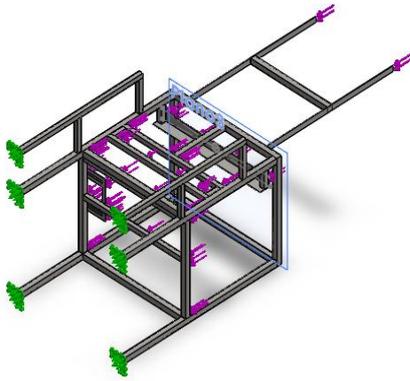


Figura 11 Aplicación de fuerzas sobre la estructura

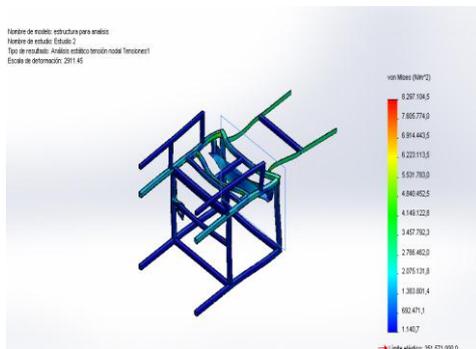


Figura 12 Análisis de Von Mises

ANÁLISIS DE TENSIONES:

Se determina por Von Mises Figura 11 y 12 que el punto de fuerza máxima es el soporte de la tolva por lo que se procede a realizar los cálculos en este elemento:

Factor de seguridad:

En el soporte se realiza una extracción, para ellos se debe indicar que el mismo se encuentra restringido en las tres direcciones como geometría fija.

En la parte divisora a 100 mm Figura 5, cada extremo se genera un esfuerzo por el peso de la tolva a su máxima capacidad, así se obtiene un $f_s = 8.3 \frac{N}{m^2}$

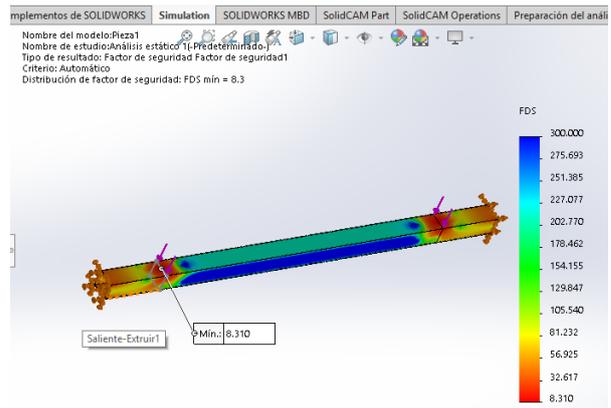


Figura 13 Análisis de tensiones en soporte de tolva

Para verificar se realiza el análisis de f_s en la viga que soporta el peso de la tolva; para ello se recuerda el material con el que se está trabajando es acero AISI 1020 cuyo límite elástico es 350MPa.

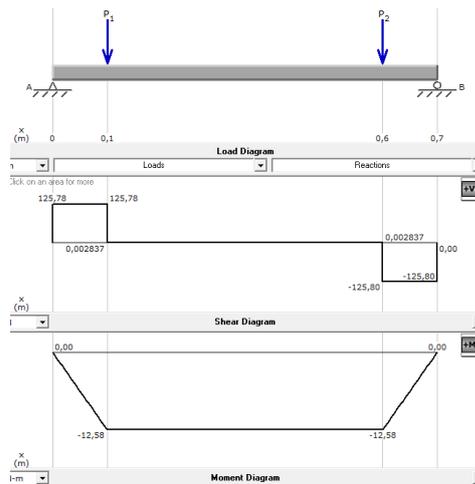


Figura 14 Análisis cortes y momentos en soporte de tolva

La viga sometida a cargas reales Figura 6, nos genera un factor de seguridad de **7,14**, este valor es menor al factor generado por el software (8,3), a pesar de existir esta diferencia en los cálculos se concluye que el diseño si soporta la carga ya que el factor de seguridad calculado es mayor que 1.

SISTEMA DE CONTROL Y RESPUESTA

La dosificadora y selladora de maní enconfitado, tiene la entrada de funda y materia prima y salida de fundas selladas y cortadas con maní enconfitado (Figurar 15).

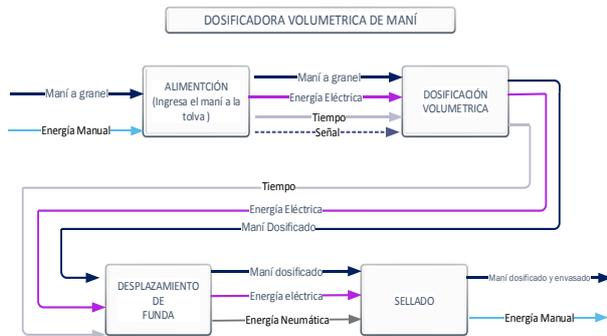


Figura 15 Diagrama de procesos

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Las pruebas se realizan para la parte mecánica, la verificación de la cantidad a dosificar en las fundas, la sincronización del plato de dosificación y el funcionamiento del cilindro neumático.

Se verifica las conexiones dentro del tablero de control y los elementos de fuerza.

Posterior a las pruebas de funcionamiento se proceda al pesaje de las fundas ya selladas, dando como resultados fundas con valores de rangos entre 122 y 128 gr.

ANALISIS DE RESULTADOS

La máquina implementada posterior a las pruebas de pesaje se encuentra una diferencia en el gramaje de 3 gr, con respecto a lo requerido, esto nos da un porcentaje de error de 2,4%.

En las pruebas se determinó que el sistema de arrastre en 8s desplaza los 15 cm requeridos para empacar los 125gr.

Los sistemas mecánicos se han diseñado con un análisis de fuerzas en simulación y con una verificación con parámetros reales, y el resultado obtenido refleja que los materiales seleccionados cumplen los requerimientos.

CONCLUSIONES

- Al conocer el funcionamiento de una máquina empacadora volumétrica fue posible diseñar la empacadora destinada a la producción de las MIPYMES y adaptar el sistema de sellado utilizando funda tubular.
- El diseño de control implementado, utiliza los tiempos resultantes de las pruebas de funcionamiento. Esto permite sincronizar la dosificación y el sellado de la empacadora.
- Al dimensionar los ejes, la tolva y la estructura se elige los sistemas motrices adecuados para la máquina evitando gastos por sobredimensionamiento. Se realiza la construcción con materiales de fácil adquisición en el mercado local.
- La empacadora dosifica 300 fundas de 125 g en una hora, si para el empacado la máquina trabaja únicamente 4 horas por día el incremento en la productividad es de un 300 % (150 kg por día).
- En las pruebas de dosificación se obtiene una diferencia de gramaje de

hasta 3 gramos, esto se debe principalmente a la no uniformidad de los granos.

- El cálculo de la tasa interna de retorno indica que la inversión que harían las MIPYMES en la empacadora y es viable con una tasa de TIR de 15 %.
- La máquina se puede utilizar para el empacado de otro tipo de alimentos granulares de igual o menor tamaño que el maní enconfitado.

RECOMENDACIONES

- En el control de temperatura, se puede implementar un display para visualizar la temperatura exacta a la que se realiza el sellado.
- La alimentación a la tolva, y el retiro de las fundas selladas se realiza manualmente, para automatizar estas actividades se puede implementar bandas transportadoras al ingreso y a la salida de producto.
- Para dosificar a un volumen diferente al planteado en el presente trabajo, se debe dimensionar los vasos dosificadores conservando el diámetro de estos y regular la altura del disco fijo.
- Se debe capacitar al personal de operación con el fin de mejorar el rendimiento de la máquina y evitar accidentes en su manipulación.

Bibliografía

- [1] El Comercio, «El maní es apetecido por su sabor,» *Negocios*, 24 12 2011.
- [2] C. J. Rivadeneira Julio, «Produccion de Arachis Hipogaea (Maní) con cinco distanciamientos de siembra,» *Revista científica Interdisciplinaria Investigación y Saberes*, vol. 5, nº 3, pp. 41-45, 2016.
- [3] L. M. Crespo Reyes, «Repositorio Dspace,» ESPE, 24 09 2015. Available: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/30102>.
- [4] BCE, «Banco Central del Ecuador,» 2016. Available: <https://www.bce.fin.ec/index.php/component/k2/item/763>.
- [5] C. Aguirre, Interviewee, *Producción Artesanal de Maní de dulce*. [Entrevista]. 06 05 2017.
- [6] E. E. Morales Toapanta, «Repositorio ESPE,» 07 2010. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/2100/4397>.
- [7] M. F. Iza y A. F. Medina, «Repositorio ESPE,» ESPE, Mayo 2013. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/2100/6535>.
- [8] E. Moreno, «Diseño de una máquina empacadora dosificadora y selladora de fundas para arroz,» 2010. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1287>.
- [9] R. Budynas y K. Nisbett, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, México: Mc Graw Hill, 2008.
- [10] J. Ravenet Regales, «Diseño de un silo cilíndrico para el almacenamiento de productos granulares,» 2004. Available: upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3180/2/31298-2.pdf.
- [11] R. Guamán y E. Saltos , «Evaluación de líneas de maní (arachis hypogaea l.) por rendimiento y calidad de grano para siembras en la provincia de Santa Elena,» *ALTERNATIVAS UCSG*, vol. 15, nº 1, pp. 10-16, 2014.