

## **Diseño de un mecanismo anudador de bolsas para el empaque de frutos secos**

MÁRQUEZ-RODRÍGUEZ, Víctor, ORDOÑEZ-MENDOZA, Aldo, ZENA-HERNÁNDEZ, Mario Jared y FITZ-RODRÍGUEZ, Efrén

V. Márquez, A. Ordoñez, M. Zena y E. Fitz

Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, km 38.5 carretera México-  
Texcoco, Chapingo, Estado de México, C.P. 56230, México.

[efitzr@gmail.com](mailto:efitzr@gmail.com)

E. Figueroa, L. Godínez, F. Pérez (eds.) Ciencias de la Biología y Agronomía. Handbook T-I. -©ECORFAN, Texcoco de Mora-México, 2015.

## **Abstract**

Packing of agricultural produce, and particularly those processed such as dried fruits, implies the usage of metallic or plastic materials for closing the packing. This material represents an additional cost and extra time for its collocation. In order to reduce these additional costs, it is proposed to design a knotter mechanism that uses the same plastic bag for automatically knot sealing the packing. The proposed device is a four-link mechanism with one degree of freedom. The mechanism has a vertical movement and the horizontal rotational movement is neglected. To achieve the vertical movement a cylindrical cam generates the function output movement. The knotter mechanism is restricted to specific movements required to achieve a knot, which are achieved with a cam-follower mechanism. The resulting design performs the tie the bag knot in a successful way.

## **14 Introducción**

El procesamiento industrial en el envasado de productos agrícola, por lo general utiliza bolsas de plástico, lo cual implica distintos retos, incluyendo el cerrado de la bolsa. Algunas alternativas propuestas actualmente incluye el uso de diferentes elementos que ayudan a cerrar la bolsa. Este proceso ha sido el más recurrido ya que es relativamente fácil de automatizar comparado con el de anudar las bolsas; sin embargo dicho procesos se vuelven más costoso al agregar materiales al envasar el producto deseado. Además el daño al medio ambiente se incrementa si las piezas utilizadas no son recicladas. Otra desventaja para esta alternativa es que las piezas usadas como seguros y alambres pequeños pueden ser nocivos para la salud de los infantes. Por sus grandes requerimientos de mano de obra y de tiempo, el realizar nudos en el envasado casi ha desaparecido completamente de las líneas de producción industriales.

Para contrarrestar el efecto nocivo de los materiales para el cerrado de bolsas se propone diseñar un mecanismo anudador como una alternativa para automatizar el proceso de anudado de envases, aunque también puede ser utilizado en otros aplicaciones de la industria del procesamiento de alimentos. Los componentes y funcionamiento de un mecanismo anudador clásico se encuentran descritos en (Vansteentlant, 1980).

### **14.1 Materiales y método**

El diseño del mecanismo anudador se realizó en tres etapas: análisis cinemático del mecanismo anudador existente en el amarre de pacas de forraje, proceso de adaptación del diseño para bolsas de plásticos y construcción del prototipo.

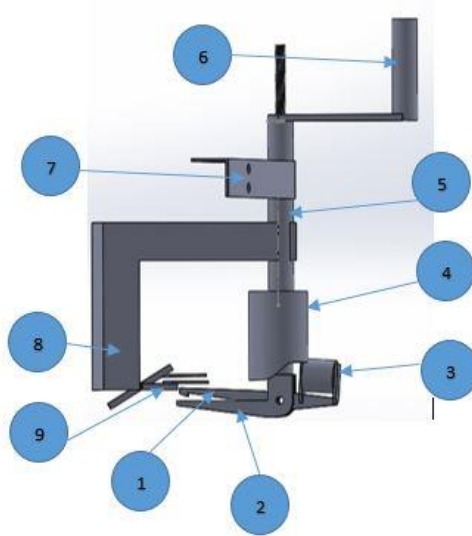
#### **Proceso de análisis**

El mecanismo anudador desarrollado se basó en el funcionamiento de los mecanismos anudadores aplicados en las máquinas empacadoras de forraje. Este mecanismo funciona de la siguiente manera: 1) El extremo superior de la bolsa es sostenido con unas pinzas retenedoras, conforme el eje principal de giro es accionado se estira la bolsa sujeta del retenedor. 2) Cuando el mecanismo anudador va a completar su giro los ganchos sujetadores se accionan para atrapar el extremo de la bolsa. 3) El empaque comienza a avanzar en plano horizontal, provocando que la bolsa sea presionada por el gancho interior. 4) El extremo de la bolsa se desliza por entre las pinzas y ganchos del mecanismo, el nudo es finalizado de esta manera.

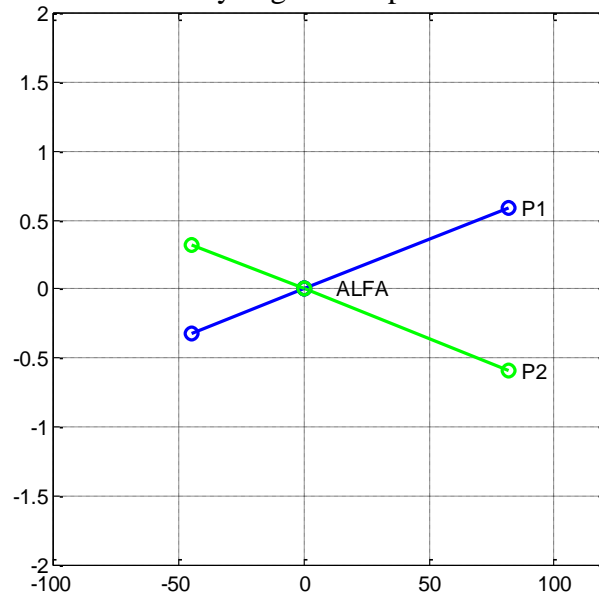
De acuerdo a la cinemática de los mecanismos anudadores, se identificaron las posiciones límite que definen la apertura de los ganchos de sujeción, indicados por los puntos de interés P1, P2 y por el ángulo de apertura  $\alpha$  (Figura 14.1). Los cuales son de importancia para completar la realización de un nudo corredizo.

De acuerdo a los resultados de la simulación de amarre se determinó que  $\alpha=30^\circ$ , y se ubicaron puntos de interés de acuerdo al material con que se contaba, como se muestra en la Figura 2:

**Figura 14** Partes del mecanismo anudador propuesto, 1) gancho interior, 2) gancho exterior, 3) Seguidor de leva, 4) Leva cilíndrica, 5) Eje principal de giro, 6) Manivela, 7) Soporte del mecanismo, 8) Soporte de pinzas sujetadoras, 9) Pinzas sujetadoras



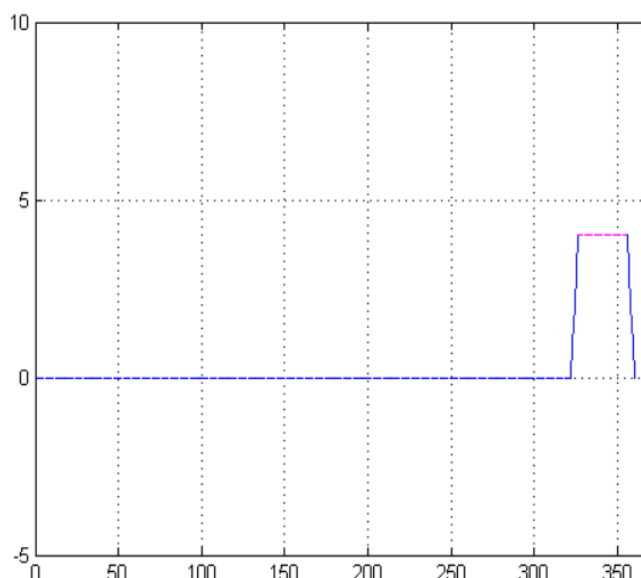
**Figura 14.1** Posiciones límite y ángulo de apertura del mecanismo anudador



## Desarrollo del prototipo

El movimiento (Figura 14.2) de temporización requerido en el mecanismo anudador, definido por la apertura y cierre de los ganchos de sujeción, está en función de los grados de rotación de la leva cilíndrica que activa el seguidor.

**Figura 14.2** Diagrama temporizado de la leva cilíndrica



El diseño la leva cilíndrica (3D) resultó ser ineficaz, debido a que en las fronteras de los intervalos hay discontinuidades que ocasionan grandes esfuerzos y desgastes. Como lo propone Norton R.L. (2012) se sugiere que las funciones de leva deben ser continuas en la primera y segunda derivada del desplazamiento en el ciclo completo (0-360°). De la misma manera la función de rapidez de aceleración debe ser finita en el mismo intervalo.

Las funciones armónicas son continuas en cualquier número de diferenciaciones. La ecuación de desplazamiento para un movimiento armónico es:

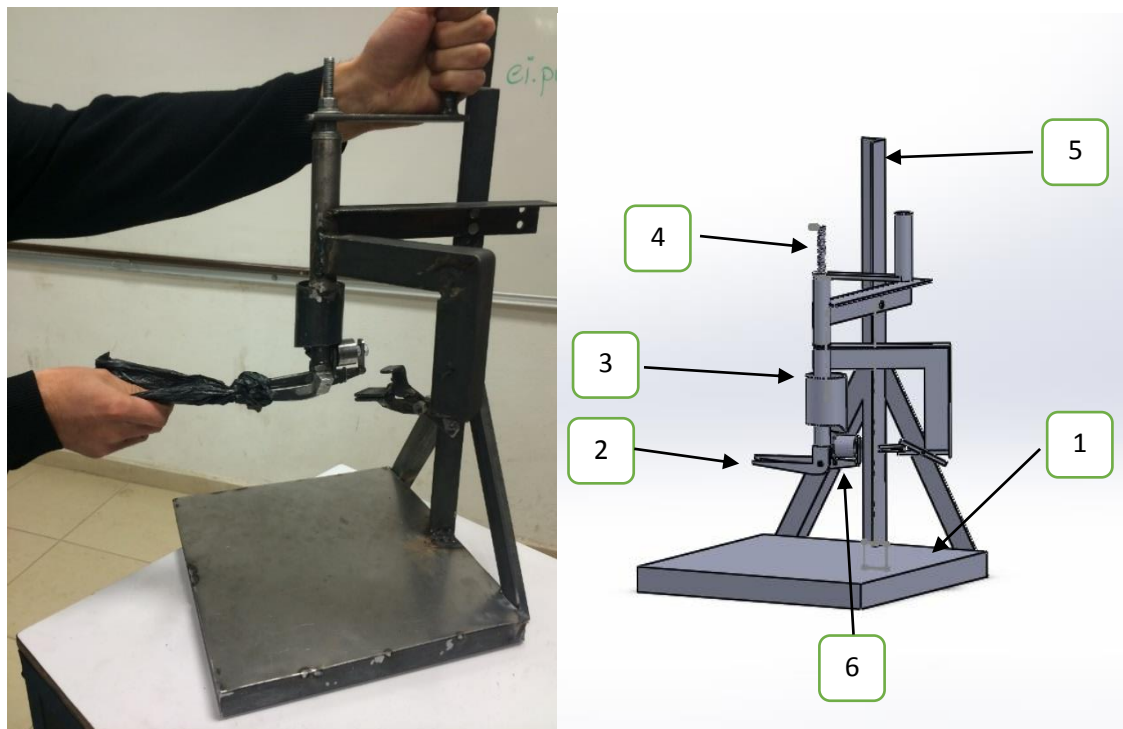
$$s = \frac{h}{2} \left[ 1 - \cos \left( \pi \frac{\theta}{\beta} \right) \right] \quad (14)$$

Donde  $h$  es la subida total, o elevación,  $\theta$  es el ángulo del árbol de levas y  $\beta$  es el ángulo total del intervalo de subida.

A partir de la cinemática del mecanismo se caracterizaron dos ángulos determinantes para la realización del nudo, es decir el momento del giro en el que debe accionarse el gancho interior.

## Fabricación del prototipo

**Figura 14.3** a) Prototipo de mecanismo anudador y b) Vista isométrica del modelo 3D, 1) Lámina, 2) Solera, 3) Tubo, 4) Tornillo, 5) Perfil angular, 6) Varilla lisa



## Proceso de fabricación

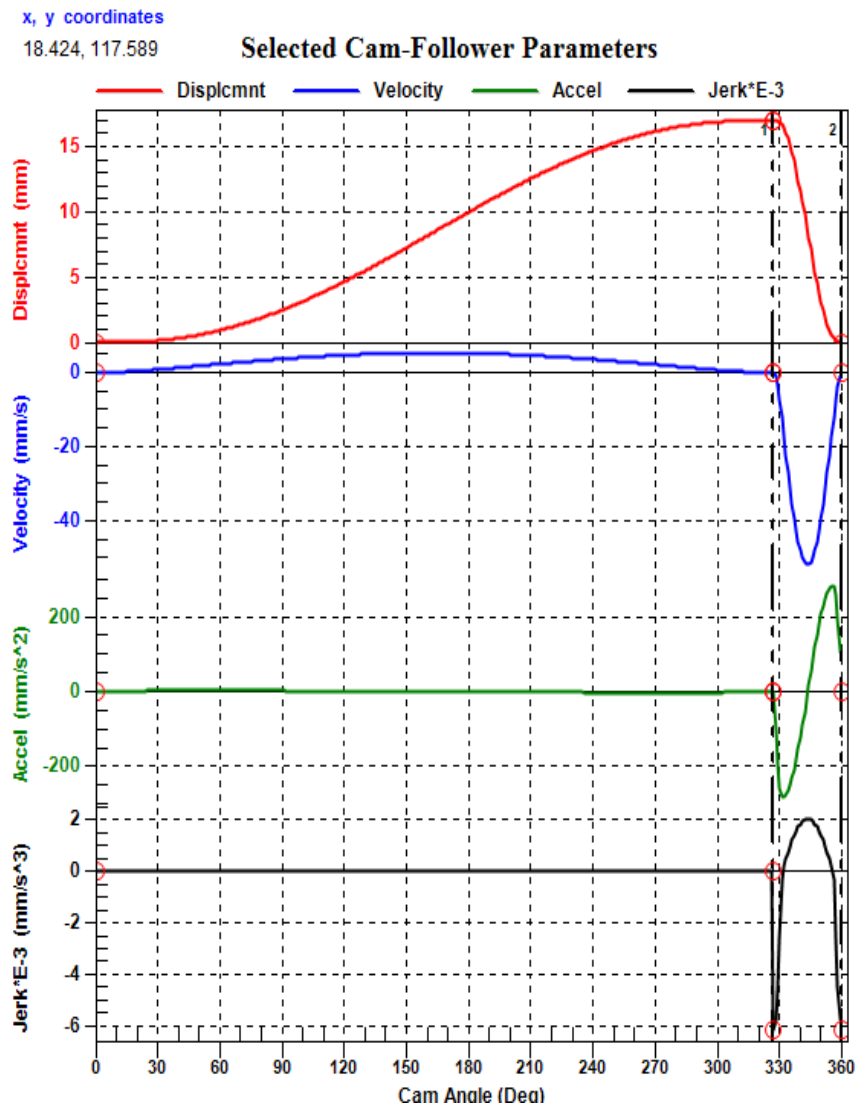
Para la fabricación del prototipo fueron utilizados acero estructural comercial como ángulo de acero, solera, lámina varilla lisa, tornillos y resortes. El corte y soldadura de las piezas se realizó con herramientas convencionales, de esta manera se fabricó el prototipo a muy bajo costo.

## 14.2 Análisis y discusión de resultados

La leva propuesta y construida produce un movimiento de subida de 1.7cm durante  $327^\circ$  de rotación y de bajada durante los restantes  $33^\circ$ . Para la síntesis de la leva se utilizó el software DYNACAM (Norton, 2012), en cual se generaron los diagramas SVAJ (Desplazamiento, Velocidad, Aceleración y Sacudimiento) (Figura 5) del eslabón de salida (el seguidor).

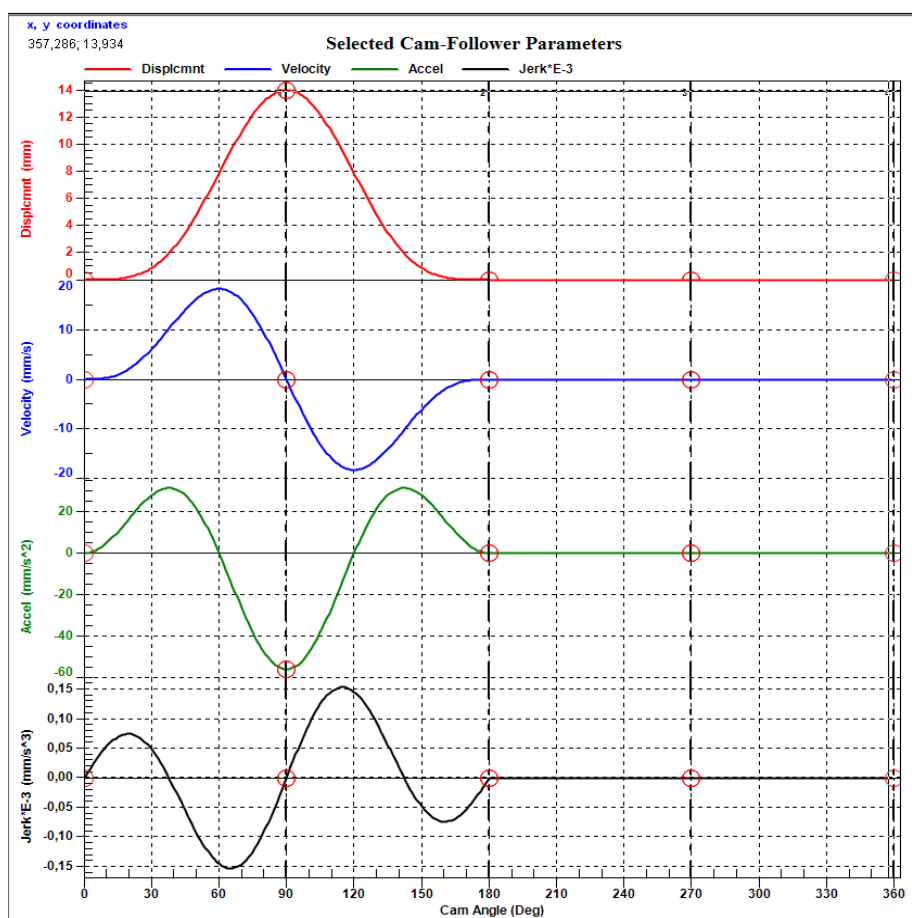
En el detenimiento simple se requiere una función para la subida que no regrese la aceleración a cero, ya que esto afecta el sistema leva-seguidor, la función de bajada debe bajar con la misma aceleración con la que terminó la subida luego ser cero en la próxima frontera, para estos criterios existe la función armónica doble, Una función armónica de 0-14 mm, con un segmento  $\beta=90^\circ$ , en la bajada un rango  $\beta=90^\circ$  de 14-0 mm, y un detenimiento en el rango  $\beta=180^\circ$ , donde los esfuerzos y sacudimientos se reducen notablemente, ver diagrama SVAJ en la figura 7.

**Figura 14.4** Diagrama SVAJ de la leva diseñada para el mecanismo anudador construido



El movimiento generado por la leva fabricada fue funcional para la realización del nudo, sin embargo de acuerdo al análisis realizado presenta problemas si se somete a movimiento de mayor velocidad, ya que se puede generar alto desgaste en componentes del mecanismo, sobre todo en la leva y seguidor que se accionan por contacto y por lo tanto existe grandes fuerzas de fricción entre estos. En el diagrama SVAJ (Figura) se muestran discontinuidades críticas en las gráficas de velocidad, aceleración y sacudimiento, estas irregularidades hacen que el mecanismo sea sometido a condiciones poco favorables para la duración de su vida útil.

**Figura 14.5** Diagrama SVAJ del diseño de leva propuesto con movimiento armónico doble de una leva de subida-bajada y detenimiento simple



La propuesta de la leva cilíndrica con las características de movimiento armónico doble está sustentada en el análisis anterior, por lo que se propone para un mecanismo anudador de bolsas para alta producción, con velocidades de operación mayores como lo demanda la automatización de la industria. La vida útil de la leva es alargada gracias a que las fuerzas que producen altos desgastes durante el movimiento son considerablemente reducidas.

### 14.3 Conclusiones

El mecanismo propuesto realiza la tarea de anudar bolsas de plástico de manera efectiva en el empaque de frutos secos, cuando éste se opera de manera manual. Sin embargo, el prototipo resultante está limitado en la velocidad de operación si éste se quisiera automatizar. La construcción de una leva cilíndrica es compleja y costosa dada la precisión y forma tridimensional. El mecanismo propuesto resulta prometedor si se consideran una manufactura precisa y su posible automatización.

### 14.4 Referencias

Norton, R. L. 2012. *Diseño de maquinaria, Síntesis y análisis de máquinas y mecanismos*. México: McGraw Hill Education.

Mabie, H.H. 1978. *Mecanismos y dinámica de máquinas*. México: LIMUSA S.A

Baranov, G.G. 1985. *Curso de la teoría de mecanismos y maquinas*. México: Mc Graw Hill Education.

CLAAS Group. 2015. Obtenido de <http://www.claas-group.com/the-group/history/company-history/knotter>

Vansteelant, M. G. 1980. Un aparato anudador perfeccionado para uso particularmente en maquinas empacadoras agricolas, y una maquina de esta clase correspondiente. *Edited by Gran Bretaña* 8022112.