

ESTUDIO METROLÓGICO DE UN SENSOR DE IMPACTO NO DESTRUCTIVO PARA LA DETERMINACIÓN DE FIRMEZA DE FRUTAS EN LÍNEAS DE CONFECCIÓN

Homer Bannister I.; J. Ortiz-Cañavate; F.J. García-Ramos; M. Ruiz-Altisent
Laboratorio de Propiedades Físicas, Depto. Ingeniería Rural, E.T.S.I. Agrónomos, UPM.
Av. Complutense s/n, 28040, Madrid.
e-mail: ihomer@iru.etsia.upm.es

Abstract:

A metrology study of a non-destructive impact sensor for the determination of fruit firmness in packing lines. A non destructive impact sensor to measure fruit firmness has been installed on the sizer chain of an experimental fruit packing line. The sensor measures the fruit firmness related to the acceleration-time curve supplied by an accelerometer attached to an impacting arm. The sensor works correctly at a speed of 5 to 7 fruits per second. Ratio A/t (maximum acceleration value divided by its corresponding time), mean, and maximum slopes of the curves supplied by the accelerometer, were well correlated with the firmness data obtained in laboratory with the load-unload test. The accelerometer signal allows the classification of the fruit in three levels of firmness, by means of a specific software.

Palabras claves: calidad, escandallo, acelerómetro

1. Introducción

La demanda de fruta de calidad por parte de los consumidores, está exigiendo avanzar en la obtención y aplicación de sensores capaces de medir de forma no destructiva los parámetros de calidad en la fruta, existiendo algunos de ellos ya operativos en laboratorio y experimentalmente en líneas. Los resultados de estudios anteriores dirigidos por investigadores diferentes han mostrado que las técnicas de impacto (García et al., 1988; Chen et al., 1993) pueden usarse para evaluar firmeza de frutas con éxito (Jarén et al., 1992).

Un prototipo de impactador no destructivo para medir firmeza en fruta fue desarrollado inicialmente por Chen y Ruiz-Altisent (Chen et al., 1996). Este sensor se ha montado y probado con éxito en una línea de clasificación de 3 m longitud (Chen et al., 1998) en la Universidad de California, Davis. Un prototipo manual (Chen et al., 2000) basado en esta técnica se ha desarrollado recientemente.

Este sensor ha sido modificado e instalado en la cadena de calibración de una línea experimental de manipulación de fruta (Ortiz-Cañavate et al., 1999, 2000; García Ramos, 2000) en la Universidad Politécnica de Madrid.

2. Materiales y métodos

2.1. Materiales

2.1.1 Calibrador

El calibrador consiste en una cadena con diábolos de plástico y bandejas estrechas de plástico para la fruta individual con una separación entre las bandejas consecutivas de 9 cm. Es accionado por un motor eléctrico de velocidad variable.

2.1.2. Sensor de impacto

El sensor de impacto está formado por dos elementos: el impactador mecánico y el circuito del mando electrónico. El impactador mecánico consta de un sensor óptico para detectar la presencia de fruta, una pequeña cabeza semiesférica de baja masa, montada sobre un brazo giratorio, un acelerómetro piezoeléctrico situado en la parte posterior de la cabeza semiesférica, un muelle para empujar el brazo y un electroimán para retraerlo.

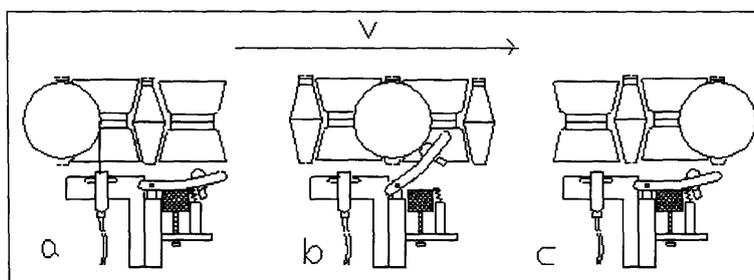


Figura 1: Fases del funcionamiento del sensor de impacto: a) detección del fruto, b) impacto y c) recogida del brazo

Cuando la presencia de una fruta es detectada, el circuito del mando electrónico recibe la señal dada por el sensor óptico y corta la alimentación del electroimán; entonces, el muelle empuja la masa esférica que impacta contra la fruta. Al mismo tiempo una señal se envía al PC, y mediante una tarjeta de adquisición de datos CIO-DAS08, se empieza la digitalización de los datos proporcionados por el acelerómetro en el impacto. El circuito electrónico está enviando continuamente señal a la tarjeta de adquisición, pero la digitalización de la señal sólo se produce cuando el sensor óptico detecta una fruta. El circuito del mando electrónico activa el electroimán después de un periodo breve de tiempo (aproximadamente 60 ms) y la masa impactante se retrae en espera de la presencia de una nueva fruta (figura 1).

2.1.3. Software de control

Un software específico (F.A.S.T 1.1), instalado en el PC comienza el sistema, recoge los datos proporcionados por el sensor de impacto (pidiendo su digitalización a la tarjeta de adquisición), y analiza la curva de impacto de la que obtiene un índice de firmeza para clasificar la fruta en tres categorías de firmeza (numero de salidas de la línea experimental). Una vez obtenida esta clasificación se envía una señal al microcontrolador del sistema de la eyección que lleva la fruta a su salida respectiva, establecida en el panel del software. Se graban los datos de impacto en archivos del ordenador. El esquema del diagrama de flujo del software de mando se muestra en la figura 2.

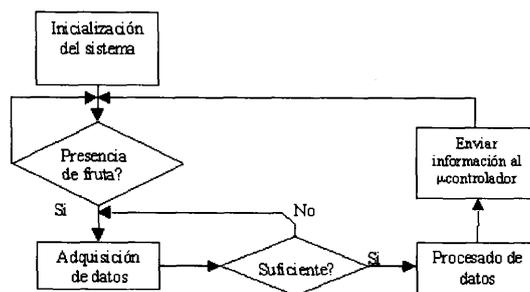


Figura 2. Esquema de flujo del software del PC

2.1.4. Sistema de eyección

El sistema de eyección consta de diferentes componentes: tres eyectores mecánicos, un microcontrolador y dos sensores ópticos. El microcontrolador mediante un software específico controla los datos enviados por el PC y controla las salidas al actuar sobre los solenoides que las activan, sistema descrito por Ortiz-Cañavate et al (2000) y Garcia Ramos (2000)

2.1.5. Sistema general

Una vista física del sistema global se muestra en figura 3. Las flechas encima de la cadena calibradora muestran el sentido del flujo de fruta individual. La interface del hardware puede ser dividida en tres fases: 1) adquisición de los datos; 2) clasificación de la fruta; 3) eyección de fruta. La figura 5 muestra la interface entre las diferentes fases, y los elementos implicados en cada una.

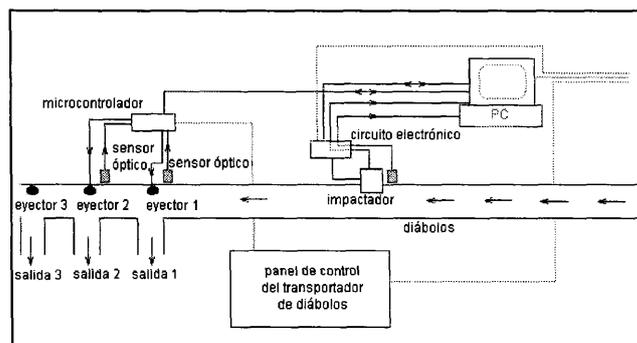


Figura. 3 Distribución física del sistema de clasificación por firmeza

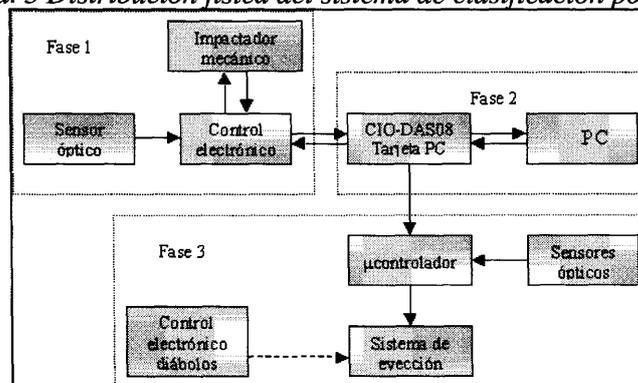


Figura 4. Las fases de unión del hardware

2.2. Métodos

Se han realizado dos tipos de pruebas, unas con pelotas de diferentes materiales para ver la fiabilidad del sistema y su metrología, y una serie de ensayos preliminares con frutas.

2.2.1 Ensayos con pelotas

Una serie de ensayos se realizaron para ver el correcto funcionamiento del sistema utilizando tres tipos de pelotas esféricas de dureza diferente y diámetros similares: pelotas de corcho de 7 cm, pelotas de tenis de 6,3 cm, y pelotas de goma de 6,1 cm, mediante ensayos con 30 o 100 impactos, donde se han visto los ajustes necesarios en altura, distancia, posición de la fotocélula etc. Los datos fueron grabados para el estudio posterior. Los ensayos con pelotas se efectuaron a 6 frutos por segundo (0.54 m/s), y en aquellos ensayos donde se estudió el efecto de la velocidad de trabajo, se realizaron a velocidades de 3, 4, 5, 6 y 7 frutos por segundo (fr/s).

2.2.2 Ensayos con frutas

Se realizaron pruebas utilizando diferentes frutos: manzanas, nectarinas y melocotones, para determinar las fuentes de variación que afectasen a la señal obtenida por el sensor: posición de la fotocélula, efecto de la posición de la fruta, zona de impacto, diferentes velocidades de trabajo, etc, con el objetivo de estudiar la metrología del sensor.

Posteriormente a cada ensayo mediante una máquina universal de ensayos Instron se les midió a cada fruta tres veces en la zona de impacto: penetración Magness-Taylor con vástago de 8 mm y a 20 mm/min; punción de la piel con un punzón 0,5 mm; carga-descarga mediante una bola de 25mm, midiéndose fuerza máxima en 2,5 mm de compresión y distancia para 3 N de fuerza.

3. Resultados

3.1 Ensayos con pelotas

En la figura 5, se aprecia que los valores de aceleración máxima de las tres pelotas al realizarse 100 impactos individuales en cada una de las pelotas a 6 fr/s, han permitido una clara diferenciación entre ellas, obteniéndose valores de promedio y desviación típica para cada grupo de: pelota de corcho, $973,2 \pm 57,6 \text{ m/s}^2$; pelota del tenis, $412,4 \pm 18,3 \text{ m/s}^2$; y pelota de goma, $92,3 \pm 4,5 \text{ m/s}^2$.

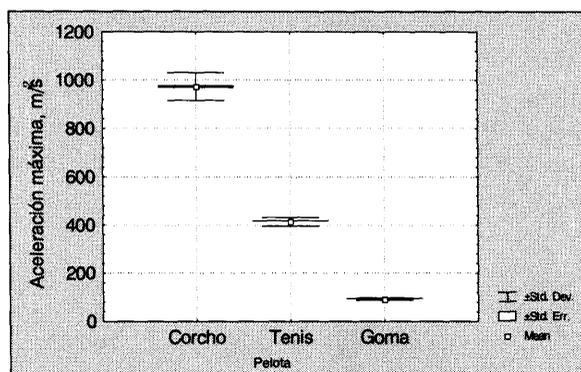


Figura 5. Valores de aceleración máxima para diferentes pelotas

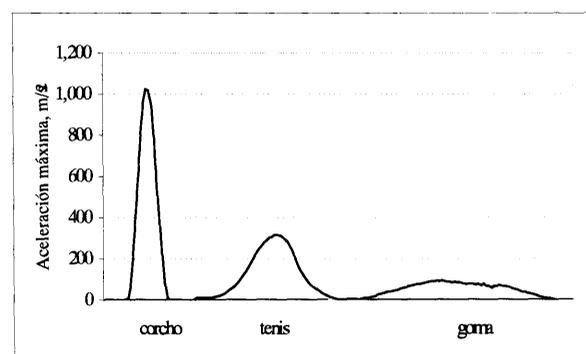


Figura 6. Curvas de impacto para cada pelota

En la segunda prueba el calibrador trabajó con pelotas continuamente a una velocidad de 6 frutas por segundo (0.54 m/s), analizando un total de 100 pelotas diferentes. El sensor de impacto, el software de control, y el sistema de eyección trabajaron correctamente con un 100% de pelotas bien clasificadas. Se muestran las características de las curvas de impacto obtenidas para cada tipo de pelota en la figura 6.

3.2 Ensayos con fruta

A velocidades de trabajo entre 5 y 7 frutos por segundo, las variables de la relación aceleración/tiempo, y las pendientes medias y máximas de la curva aceleración-tiempo, son las que están mejor correlacionadas con los datos obtenidos en laboratorio con el impactador o bien con otros métodos, existiendo una buena correlación con los parámetros determinados de carga-descarga, ya sea con compresión de 2,5 mm o bien de 3 N y con sus respectivas pendientes.

En la figura 7, se aprecia los resultados de uno de los ensayos realizados con melocotones, donde es posible separar los melocotones que se encuentran por debajo de 5 N en el ensayo Magness-Taylor, aunque por ahora no es posible separa los frutos que se encuentran sobre los 40 N.

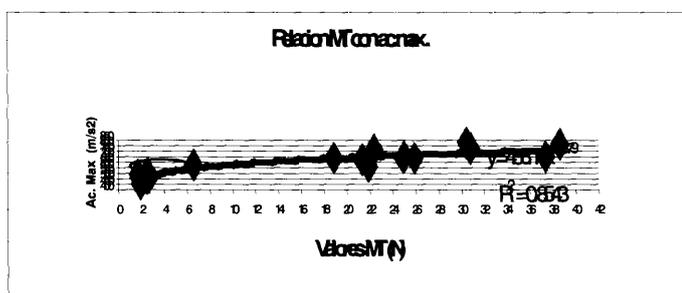


Figura 7. Relación Fuerza Máxima MT con aceleración máxima del impactador melocotones (valores medios de tres impactos en cada uno)

3.3 Fuentes de variación

El sensor, en su uso estático proporciona buenos resultados en la determinación de firmeza, en cambio, su uso en líneas, presenta resultados más variables debido a que la fruta y el brazo del impactador están en movimiento, y ante cualquier variación en ellos varía el momento de impacto, y por lo tanto los valores observados ya que afecta el lugar de impacto en la fruta, y el ángulo de impacto.

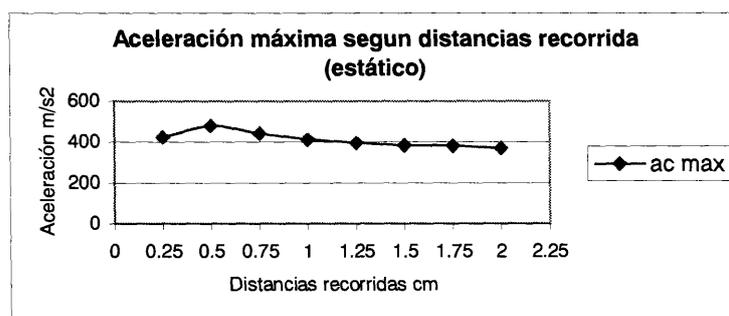


Figura 8: Cambio en la aceleración máxima al aumentar distancia de impacto (valores medios para 100 impactos sobre pelota de referencia y en forma estática)

A pesar de ello, los ensayos realizados con manzanas y melocotones, dan óptimos resultados cuanto más regular es la forma y calibre de la fruta, y mayor el su rango de firmezas. El impactador, por otro lado, debe ajustarse para que el brazo realice un recorrido de aproximadamente 1,5 cm, ya que como se aprecia en la figura 8, en forma estática existe una variación de los valores de aceleración máxima a medida que aumenta la distancia a impacto, no siendo tan marcado en valores cercanos a 1,5 cm.

4. Conclusiones

- ✓ Se ha instalado un sistema de clasificación de fruta por firmeza en una línea de manipulación de fruta experimental. El sistema consiste en un sensor del impacto lateral con un circuito electrónico, un software del mando y un sistema de eyección regulados por un microcontrolador.
- ✓ El sistema se ha probado a una velocidad de 6 frutos por segundo (0,54 m/s) usando tres pelotas esféricas de diferentes materiales (corcho, tenis, y goma) y diámetros diferentes (6,1-7 cm) con un 100% de bien clasificadas, usando el parámetro de la aceleración máxima como un índice que distingue finamente.
- ✓ Preliminarmente, en melocotón se permite una separación de los frutos blandos con respecto al resto tema interesante para su uso en línea de clasificación, aunque con la información obtenida se debe seguir buscando otras variables de la curva de impacto que definan mejor una separación de los frutos por firmeza.

5. Reconocimientos

Los autores quieren reconocer a la Comisión Española de Ciencia y Tecnología (CICYT) y a la Comunidad de Madrid por su apoyo a este proyecto de investigación.

6. Referencias

- Chen, P.; Ruiz-Altisent, M. 1993. Effect of impacting mass on firmness sensing of fruits. ASAE paper no. 93-6542.
- Chen, P.; Ruiz-Altisent, M. 1996. A Low-mass impact sensor for high-speed firmness sensing of fruits. AgEng 96 (Madrid). Paper no. 96F-003.
- Chen, P.; Tjan Y., 1998. A Real-time impact sensing system for on-line firmness sensing of fruits. Paper 98-F-006 presented at AgEng 98, Oslo.
- Chen, P.; Sarig, Y.; Thompson, J.F., 2000. A handheld impact sensor for firmness sensing of fruits. Postharvest 2000, Jerusalem, March 2631.
- García, C.; Ruiz-Altisent, M.; 1988. Impact parameters related to bruising in selected fruits. ASAE paper nº 88-6027.
- Jarén, C., Ruiz-Altisent, M. and Pérez de Rueda, R., 1992. Sensing physical stage of fruits by their response to non-destructive impacts. AgEng 92. Paper 9211-113.
- Ortiz-Cañavate, J.; García Ramos, J., and Ruiz Altisent, M., 1999. Testing equipment for the improvement of mechanical devices to minimize damage to fruit in commercial packing lines. Symposium: Actual Tasks on Agricultural Engineering; 1999; Opatija, Croatia; 223-229. ISBN: 953-6135-26-4.
- Ortiz-Cañavate, J.; García Ramos, J., and Ruiz Altisent, M., Díez, J., Flores, L., Homer, I., Chávez, J.M., 2000. Lateral impact sensor for measuring firmness of fruits in an experimental packing line. XIV International Congress on Agricultural Engineering, GIGR, 2000. Tsukuba, Japon.
- García Ramos, F.J. 2000. Desarrollo de dispositivos mecánicos para minimizar daños y medir la firmeza en líneas de manipulación de frutas. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, Spain. .