

## BASES DEL DISEÑO DE UN DISPOSITIVO PARA LA EVALUACION NO-DESTRUCTIVA DE LA TEXTURA EN FRUTOS Y HORTALIZAS.

M. Ruiz Altisent  
Prof. Titular

C. Jarén Ceballos  
Ing. Agrónomo

E. Hernández  
Prof. Titular

Departamento de Ingeniería Rural  
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos  
Universidad Politécnica de Madrid

### Resumen

Se estudia la utilidad de un dispositivo para la determinación objetiva de la textura, en su aspecto mecánico, de frutos en movimiento en una posible línea de clasificación. Se establecen las especificaciones del funcionamiento del posible dispositivo para su diseño, así como los aspectos del mismo que han de ser aún estudiados para los diversos frutos de interés.

### Abstract

The interest and applicability of a device for automatic testing of texture (mechanical properties) of fruits on-line is discussed. The constraints and principal design parameters are established, as well as those aspects that have to be still studied further for application to different fruit species.

### 1. Introducción

En los últimos años se constata un hecho alarmante: junto a aumentos considerables de la producción de frutas, se observa un descenso en su consumo en la CE. Sin duda, este hecho es el resultado de muchos factores, siendo sin embargo uno de los principales la disminución de la calidad organoléptica de las frutas, en competencia con los productos lácteos, los cuales poseen unas propiedades de calidad para el consumidor que son inmutables en el tiempo (Alavoine et al., 1988).

Se utiliza el término "textura", en sentido restrictivo, para denominar la propiedad "calidad mecánica" de los frutos. En este contexto, la determinación de la textura se realiza fundamentalmente por su relación con la madurez, tanto pre- como post-recolección. La textura es una combinación de propiedades que confieren al fruto resistencia o "firmeza"; la firmeza consiste fundamentalmente en resistencia a la deformación y al esfuerzo cortante, y se determina usualmente de forma destructiva, por medio de un penetrómetro: dinamómetro provisto de un vástago cilíndrico que penetra el fruto (normalmente sin piel) y mide la fuerza necesaria para dicha penetración. Esta resistencia a la penetración resulta ser una combinación de resistencia a la deformación en sentido longitudinal y de resistencia al esfuerzo cortante, y se relaciona con el grosor de las paredes celulares y con la resistencia de las uniones intercelulares. El ensayo se realiza en un cierto número de frutos seleccionados al azar, representativos del material a

determinar, los cuales se destruyen.

La resistencia a la deformación aplicada con una esfera rígida se ha utilizado para determinar este aspecto de la textura, en ensayos estáticos y utilizando una máquina universal de ensayos. Mehlschau et al. (1981) llegaron a diseñar prototipos de dispositivos para la determinación en línea de la madurez post-recolección en peras, basado en la medida de la deformación observada en respuesta a la aplicación de una fuerza determinada o de la fuerza observada en respuesta a la aplicación de una deformación dada, por medio de una pareja de esferas de acero o de ruedecillas. La pequeña deformación aplicada (del orden de 1 a 3 mm) , con fuerzas de respuesta del orden de 2 a 15 Newtons no produce magulladura alguna y sin embargo es suficiente para determinar la dureza (madurez) de las peras.

Ensayos de resistencia al impacto se vienen realizando en los últimos años, fundamentalmente con el fin de determinar las diferencias en susceptibilidad a este tipo de daños, en las diversas especies y variedades de frutos. Así, Chen et al. (1985), Ruiz et al. (1987, 1989), García et al. (1988), Brusewitz y Bartsch (1989), Ruiz (1990 a y b) realizan avances en el diseño de un dispositivo para la determinación de la respuesta al impacto de este tipo de materiales, así como aplicaciones a diversos tipos de frutos: manzanas y peras principalmente, pero también melocotones, aguacates, melones, mangos, chirimoyas, ciruelas, cerezas, cítricos, etc. En todos ellos se ha podido determinar la relación existente entre la respuesta a un pequeño impacto y el grado de maduración.

## 2. Respuesta al impacto en relación con la madurez

A lo largo de estos trabajos se comprobó que algunos de los parámetros de la respuesta al impacto se encuentran muy relacionados con el nivel de madurez de los mismos frutos; a la vez, se comprueba que un pequeño impacto que no resulta en daño significativo al fruto, puede dar la misma información y, por lo tanto, utilizarse para clasificar frutos por su grado de maduración.

Varios investigadores han utilizado la respuesta al impacto producido en la caída libre de frutos sobre un captador de fuerzas para la clasificación de los mismos por niveles de madurez (Nahir, 1986; Delwiche, 1986; Delwiche et al. 1988). La aplicación de un pequeño impacto sobre la superficie de un fruto puede dar por tanto información sobre la firmeza y posiblemente sobre otras características texturales de los frutos.

En trabajos anteriormente publicados (v.Refs.) se ha obtenido información sobre los parámetros de la respuesta al impacto que dan mejores resultados por su correlación con la madurez. El nivel de madurez se ha determinado utilizando tres medidas objetivas:

- a) días transcurridos desde recolección y almacenamiento
- b) firmeza = f. de penetración (Magness-Taylor)
- c) resistencia al corte tangencial de probetas cilíndricas (Ruiz et al. 1989)

Las variables o parámetros del impacto más correlacionados con estas medidas objetivas para el caso de la pera cv. Limonera se relacionan en la Tabla 1. La Figura 1 muestra la predicción de la madurez ( a lo largo de 6 quincenas de almacenamiento frigorífico y, cada muestra, seis días de maduración a temperatura ambiente), expresada como fuerza de corte (c, v. más arriba), con dos modelos de regresión lineal, sobre las 15 variables y sobre las 3 variables más significativas; éstas resultan ser en el caso de estas peras (var. Limonera) la fuerza máxima observada durante el impacto (FM) y la relación fuerza/tiempo (F/T, relación FM con el tiempo de duración del contacto), más una combinación lineal, producto de ambas (C).

### 3. Objetivos

El objetivo del presente trabajo consiste en establecer, utilizando los datos y la experiencia actualmente acumulada, las bases de identificación y las especificaciones de un dispositivo automático de aplicación de impactos no destructivos a frutos en movimiento en una línea de clasificación.

### 4. Metodología

Para la detección no destructiva de la calidad de frutos existe actualmente una gran actividad de trabajos de investigación. Se trata del desarrollo de los llamados "sensores", los cuales tienen la finalidad de sustituir a los operarios en la clasificación y tria de los productos, para mejorar su trabajo en: consistencia, objetividad y productividad (Marchant, 1988). para el caso particular de la medida del nivel de madurez de frutos se han ensayado los siguientes procedimientos:

- a) reflexión en el infrarrojo cercano (NIR). En determinadas longitudes de onda dentro de este espectro (800 a 2400 nm= nanometros) se establece una buena correlación con el grado de azúcar. (Bellon 1990).
- b) resonancia nuclear magnética (RNM), que se ha ensayado con éxito para correlacionarla, en determinados puntos de la curva de atenuación, con el grado de madurez en peras.

Sin embargo, ninguno de estos procedimientos es capaz de detectar la textura, firmeza o dureza de los frutos, lo cual sólo parece posible por contacto, si se consigue realizarlo no-destructivamente, como aquí se propone.

### 5. Resultados

#### 5.1. Identificación del sistema.

Los frutos deben ser ensayados uno por uno, en solo punto de su cara lateral, lo más cerca posible de la zona ecuatorial. Todo el sistema debe asegurar que el dispositivo electrónico tiene tiempo suficiente para registrar la respuesta del fruto al impacto , calcular los parámetros, calcular el índice y

clasificar el fruto en la clase correspondiente, y enviar la señal al dispositivo mecánico de dirección de los frutos.

## 5.2.Fases del proceso y parámetros del diseño

Las fases a considerar en el proceso son las siguientes:

A) Presentación del fruto, en movimiento, ante el dispositivo de impacto, fijo y que suponemos colocado verticalmente sobre al fruto. Este debe tener una posición lateral, al menos aproximadamente (nunca el cáliz o el pedúnculo en posición hacia arriba). Este aspecto parece solucionado para la mayoría de frutos en las máquinas calibradoras actualmente existentes, y consiste fundamentalmente en rodillos giratorios provistos de concavidades los cuales singularizan la mayoría de frutos en posición lateral. En el diseño del dispositivo se consideran las siguientes posibilidades:

- rodillos giratorios continuos;
- rodillos giratorios que se fijan (cesan en su giro) al pasar bajo el dispositivo de impactos
- cazoletas en posición fija
- tetradas de rodillos que fijan la posición del fruto y lo mantienen sujeto (Fig. 2).

Algunos de los parámetros que determinan el funcionamiento de estos dispositivos son:

- su velocidad de avance: se establece inicialmente en 0,5 a 1 m/s
- distancia vertical del impactador al fruto: 5 cm
- frutos ensayados por segundo: 2 a 4.

B) Posicionamiento, que será necesario para sincronizar la posición del fruto con el momento de disparo del impactador, y puede resolverse:

- automáticamente (mecánicamente) por la posición de avance del contenedor del fruto (rodillos o cazoletas)
- sensores de posición del fruto.

C) Impacto: descenso del impactador, accionado por un cilindro neumático, y a una velocidad constante, calculada en 500 a 1000 mm/s.

D) Cálculo electrónico del índice de calidad del fruto correspondiente (v. más abajo), y mando del

E) Dispositivo de clasificación, para el cual pueden utilizarse:

- cazoletas de vuelco con mando electrónico análogas a las de calibración
- dedos móviles, empujadores (uno o más), al final de la línea, los cuales dirijan a los frutos en diferentes

direcciones.

### 5.3. Estructura del software

El paquete de programación actualmente instalado en el dispositivo de ensayo de impactos se compone de los siguientes programas principales.

GOLPE: Controla la emisión-captación de datos entre el ordenador y el interface.

DAT1: recoge e introduce en archivo los datos del acelerómetro durante el impacto; calcula a partir de los datos de deceleraciones, los parámetros: fuerzas, deformaciones, energías, tiempos, etc. Imprime todos los resultados en tablas.

MEDIAS: realiza el cálculo de los valores medios de las curvas y de cada parámetro para la muestra correspondiente, incluyendo diversos tests de variabilidad.

### 6. Conclusiones

#### Aspectos pendientes para estudio posterior.

-Hasta ahora, los cálculos de regresión se han realizado introduciendo los datos obtenidos en programas estadísticos adecuados. En el diseño del dispositivo es ahora necesario incorporar estos cálculos al sistema, de forma que en un tiempo no superior a 0,1 segundos se cuente con el valor del índice correspondiente al fruto ensayado y se haya clasificado el fruto en la clase adecuada.

-Para los diversos frutos de interés, determinación de los parámetros e índices de madurez, en relación con las clases de calidad (madurez) que sea necesario establecer en cada caso.

-Establecimiento del software que resuelva el cálculo de los índices en tiempo real, y el disparo automático del impactador.

-Estudio del efecto de la base y/o la sujeción del fruto durante el impacto.

-Efecto del radio de curvatura del impactador: establecer el más adecuado en cada caso.

-Detección, además de la madurez, de posibles defectos de textura (harinosidad en manzanas, etc.)

### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alavoine F., Crochon M., Fady C., Fallot J., Moras P. y Pech J.C. 1988. La qualité gustative des fruits. methodes pratiques d'analyse. CEMAGREF.

Bellon V. 1990. Feasibility of new types of non-contact of internal quality inspection by spectroscopic techniques. Proc. International Workshop of impact damage in fruits, Conf. Int. de Mecanización Agraria. Zaragoza.

Chen P., Tang S., Zong S. 1985. Instrument for testing the response of fruits to impact. ASAE Paper n° 85-3537.

Delwiche M.J., S. Tang, J.J. Mehlschau. 1989. An impact response fruit firmness sorter. Transactions of the ASAE:321-326.

Moncaster M. E.1988. Sensors. In: Engineering Advances for Agriculture and Food. Editor:S.W.R. Cox. Butterworths. Págs:327-334.

Mehlschau J.J., P. Chen, L. Claypool, R.B. Fridley. 1981. A deformeter for non-destructive maturity detection of pear. Transactions of the ASAE 24(5):1368-1371.

Ruiz Altisent M. 1989. Control de la madurez en frutos por medio de ensayos de impacto. 21ª Conf. Int. de Mecanización Agraria. Zaragoza.

García C. 1988. Impacto mecánico en frutos: Técnicas de ensayo y aplicación a variedades de pera y manzana. Tesis Doctoral ETSIAgrónomos. Univ. Politécnica de Madrid.