

ASOCIACION NACIONAL DE INGENIEROS AGRONOMOS  
18. CONFERENCIA INTERNACIONAL DE MECANIZACION AGRARIA  
20. FERIA TECNICA INTERNACIONAL DE LA MAQUINARIA AGRICOLA DE ZARAGOZA (España)

COLABORACION  
A LA SEGUNDA PONENCIA

LAS PROPIEDADES FISICAS DE LOS PRODUCTOS HORTICOLAS  
EN RELACION CON SU RECOLECCION Y MANIPULACION MECANICAS

Margarita RUIZ ALTISENT

LAS PROPIEDADES FISICAS DE LOS PRODUCTOS HORTICOLAS EN RELACION  
CON SU RECOLECCION Y MANIPULACION MECANICAS.

Margarita Ruiz Altisent, Prof. Titular.

Dept. de Mecanización Agraria.  
E.T.S. Ing. Agrónomos.  
Universidad Politécnica de Madrid.

Resumen. Todo tipo de trabajos de investigación y desarrollo en el área de la mecanización de la recolección y manipulación de los productos hortícolas requieren del conocimiento de las propiedades físicas de dichos productos. Las propiedades físicas -- más estudiadas hasta el momento incluyen aspectos tan variados y extensos como: fuerzas de desprendimiento y fuerzas de corte -- (primera fase de la recolección); parámetros físicos, como tamaño, forma, peso específico, superficie externa, etc. (esenciales en las diversas fases de la manipulación y del almacenamiento); características de orientación, deslizamiento, y fricción (para el estudio del manejo de los productos); parámetros mecánicos elásticos y viscosos, de la parte carnosa de los frutos (para predecir la resistencia a los daños); absorbencia y reflectancia de -- diversas radiaciones (respuesta selectiva de diversos materiales); características aero-e hidrodinámicas (para su utilización en sistemas de transporte y en corrientes fluidas); propiedades ligadas a la madurez y a la calidad: dureza de piel y carne, resistencia a la penetración, al esfuerzo cortante, etc..

En los esfuerzos realizados por automatizar la tría y la clasificación de los productos cosechados, la reflexión de la luz en diversas zonas del espectro electromagnético es una de las propiedades que mayores posibilidades ofrece para resolver -- los diversos problemas planteados (diferencias de aspecto externo, defectos, etc).

Una de las consecuencias inevitables de la manipulación mecánica de los productos hortícolas es la aparición de daños en -- los mismos, que acarrearán las consiguientes pérdidas económicas. Las principales causas de estos daños son compresiones e impactos contra elementos diversos, que causan magulladuras y roturas.

Se analizan, en base a referencias bibliográficas y a trabajos propios, cada uno de los aspectos arriba mencionados y se estudian algunos ejemplos de aplicación.

#### INTRODUCCION

La importancia del conocimiento de las propiedades físicas de los productos hortofrutícolas surgió en los años 60, cuando se planteó la necesidad de mecanizar la recolección del tomate de industria, en el estado de California.

Hasta entonces, existían estudios incluso muy numerosos y profundos sobre las propiedades de materiales tales como los cereales (grano y paja) y los forrajes, en relación a su recolección mecánica, centenaria ya por aquellos años.

La recolección mecánica de un producto aparentemente tan frágil y de --

cultivo tan artesanal como el tomate -- parecía en aquel momento inviable. -- Hoy día es, sin embargo un problema -- resuelto a nivel semejante al de los cereales. Ello supuso la caracterización física mecánica sobre todo de la planta y del fruto del tomate; la modelización del producto óptimamente -- adaptable a la máquina y, finalmente -- la creación de un nuevo producto (nuevas variedades) y de las tecnologías agronómica y mecánica correspondientes. Supuso también en aquellas fechas el inicio de un área de investigación que se ha hecho cada vez más -- amplia y diversa, hasta hoy, en que -- cuenta con publicaciones y reuniones -- específicas, ampliándose la profundiza

ción de la investigación en los diversos aspectos de interés.

Un repaso somero a todos los aspectos incluidos dentro de los que denominamos "Propiedades físicas de productos hortofrutícolas" exige el comentario de por un lado las soluciones físicas que, aplicadas a dichos productos sirven para resolver problemas diversos que se plantean en la recolección y manipulación; por otro, supone comentar distintos objetivos de aplicación, los cuales han sido o es necesario resolver utilizando dichos aspectos diversos de la física. Unos y otros constituyen un complejo conjunto de materias que serán mencionadas en el presente trabajo desde un punto de vista ilustrativo; en una segunda parte, se enfocarán más profundamente dos aspectos de especial interés: daños producidos por impactos y compresión en frutos, y propiedades ópticas utilizables para la clasificación de frutas y hortalizas.

#### 1. AREAS DE ESTUDIO Y APLICACIONES DE UTILIDAD

a) Parámetros físicos. Propiedades tales como forma y tamaño, peso específico, posición del centro de gravedad, volumen, superficie externa etc. son las características principalmente utilizadas en la recolección y en la manipulación de los productos: eliminación de residuos o unidades desechables, clasificación, p.ej. por tamaño: bandas de malla, clasificadores de rodillos para frutas; rodillos de eliminación de elementos de menor tamaño, etc. La orientación de los productos se hace necesaria en muchos casos con el objetivo de realizar operaciones sobre los mismos: eliminación de pedúnculos (cerezas, fresas); determinación de la madurez (dureza en peras); es éste uno de los proble-

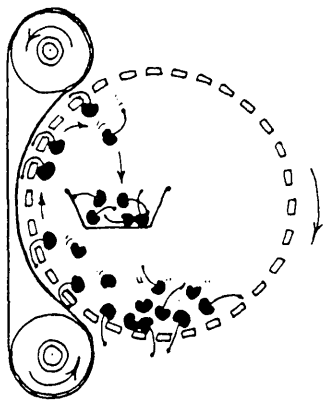


Fig. 1. Dispositivo mecánico para la separación de cerezas con tallo de cerezas sin tallo.

Más complicados en el diseño de máquinas para productos hortofrutícolas, y puede requerir el concurso de otras técnicas (ópticas e hidráulicas).

b) Las propiedades mecánicas de los productos hortofrutícolas se han utilizado ampliamente como criterios para evaluar diversos aspectos de la calidad: Por ejemplo, el módulo de elasticidad de las peras se ha demostrado que está correlacionado con su madurez, habiéndose utilizado para el diseño de un dispositivo de evaluación automática y no-destructiva de dicha madurez (Chen y Fridley, 1975). En otro caso, la compresibilidad (variación de volumen en respuesta a cambios de presión hidrostática) pudo ser utilizada para la determinación del nivel de vacíos internos en tomates demercedo. El conocimiento de las propiedades mecánicas de las frutas y hortalizas siempre es útil y, en muchas ocasiones, esencial para el diseño de equipos de recolección y manipulación eficientes. Chen, Fridley y Burkhardt 1979, muestran cómo el conocimiento de las propiedades elásticas de los frutos se ha aplicado al diseño de equipos que reduzcan al mínimo los daños en su recogida (Horsfield et al. 1972). En aplicación de la teoría de Hertz del impacto elástico de cuerpos esféricos, pueden calcularse las tensiones máximas de compresión y de esfuerzo cortante que se producen en la zona del golpe:

$$\text{Tensión máxima} = \text{cte.} \cdot (\text{mg} \cdot \text{h})^{1/5} \left( \frac{E_1 E_2}{E_1 + E_2} \right)^{4/5} \left( \frac{1}{R} \right)^{3/5}$$

mg = peso del fruto  
h = altura de caída libre  
E<sub>1</sub> = módulo de elasticidad del fruto  
R = radio de curvatura del fruto  
E<sub>2</sub> = módulo de elasticidad de la superficie de recogida.

Conociendo las tensiones máximas que un determinado producto puede resistir sin dañarse, pueden diseñarse las plataformas de recogida y las alturas de caída para evitar los daños.

El modelo elástico no representa adecuadamente el comportamiento de los productos biológicos, por contener éstos una componente de viscosidad.

El modelo viscoelástico más difundido es el Maxwell generalizado. En la forma

$$\text{Tensión} = (E_1 e^{-t/\tau_1} + E_2 e^{-t/\tau_2} + \dots) \epsilon_0$$

E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>... = módulos de elasticidad de los elementos 1, 2, ....

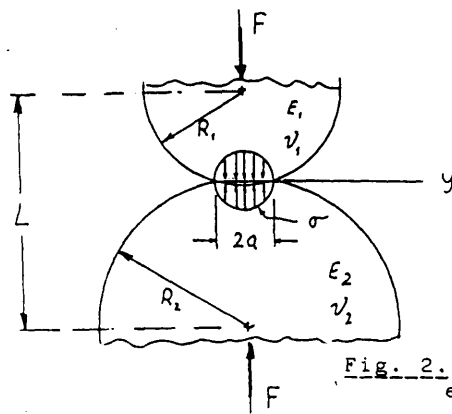
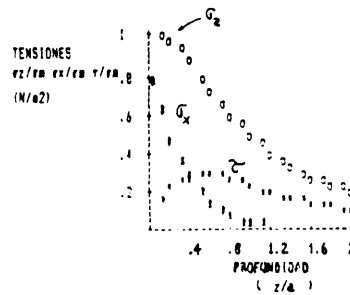


Fig. 2. Tensiones entre dos esferas elásticas en contacto. Distribución, en una superficie de radio a, y hasta una profundidad = 2a.



$\eta_1, \eta_2 \dots$  = coefs. de viscosidad correspondientes

$\epsilon_0$  = deformación unitaria, constante.

representa la variación de la tensión para deformación constante en función del tiempo. Gil et al (1984) desarrollan un sistema numérico para el ajuste de curvas experimentales de dicha relajación de la tensión al indicado-modelo, demostrando que, en distintas condiciones, el material (manzanas) - se ajusta con parámetros diferentes - al modelo, y su comportamiento frente al impacto es acorde con dichos modelos.

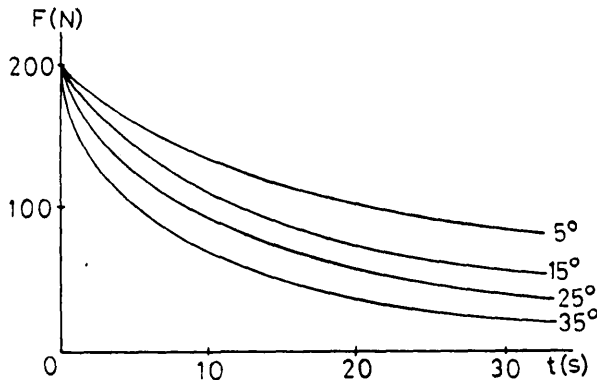


Fig. 3. Las curvas de relajación de la tensión durante 30 s, de manzanas sometidas a diferentes temperaturas caracterizan el diferente comportamiento viscoelástico, el cual se refleja en su respuesta a los daños por impacto.

c) Propiedades aero e hidrodinámicas. Son utilizadas universalmente para la separación y limpieza de materiales desechables en la recolección: en cereales, la limpieza del grano exige el conocimiento profundo de las resistencias aerodinámicas de las distintas fracciones. La separación de -

las hojas y partículas de tierra en las cosechadoras de judías verdes, tomate, uva y frutos diversos se realiza por medio de corrientes de aire de impulsión o de aspiración. La limpieza de terrones, tierra suelta y piedras en patatas y otras raíces de solución con gran efectividad en balsas de agua, utilizándose canales para su posterior conducción. Se ha investigado también la selección por calidades, como la madurez o el tamaño (p.ej. en pepinillos y en tomate), así como la orientación, por las propiedades de flotación en agua y otros líquidos de densidades distintas.

La fuerza de arrastre que se aplica sobre un sólido en una corriente fluida es función de:

$$F_D = f(v, L, A, \rho, \eta), \text{ siendo:}$$

$v$  = velocidad relativa del objeto en el flujo (laminar)  
 $L$  = longitud característica del sólido  
 $A$  = sección recta del sólido  
 $\rho$  y  $\eta$  = densidad y viscosidad del fluido  
 y se aplica en la dirección del movimiento relativo, y en sentido contrario.

En particular, para una esfera en flujo laminar la velocidad de arrastre (velocidad del fluido que es capaz de arrastrar el objeto) vale:

$$v_\infty = -\frac{2}{9} \frac{r^2}{\eta} g (\rho_s - \rho_f), \text{ siendo:}$$

$r$  = radio  
 $\eta$  = viscosidad del fluido  
 $\rho_s$  y  $\rho_f$  = densidades del sólido y del fluido.

d) Resistencia a la fricción. Las propiedades de fricción y el rozamiento de los productos entre sí y con diversas superficies presentan importancia en el transporte y en la manipulación. Cada fruto se comporta de forma diversa, tanto desde el punto de vista de la resistencia (fricción y rodadura en dispositivos de manipulación) como de los posibles daños ocasionados

a su superficie. Se han estudiado desde este punto de vista la naranja, la pera y la manzana, y se han utilizado los resultados para mejorar el diseño de las máquinas (Hammerle, 1970 y Chen 1971).

e) Otras propiedades: las propiedades eléctricas adquieren un creciente interés, en su aplicación a la detección y separación de distintos materiales. Las propiedades térmicas constituyen la base de estudio de los procesos de transferencia de calor, los cuales constituyen un área científica incluida en la Termodinámica y se aplican a los procesos de transformación y conservación (calor, frío, desecación). La utilización de radiaciones de diversas frecuencias dentro del espectro electromagnético es uno de los aspectos de mayor importancia en las investigaciones en la actualidad, pudiéndose aplicar a multitud de procesos, especialmente de evaluación no destructiva de la calidad: color, madurez en frutos, radiaciones ópticas, densidad en lechugas (rayos gamma), defectos internos (rayos X), etc.

Dentro de los problemas planteados, para cuya solución se recurre a diferentes propiedades físicas pueden citarse:

f) El desprendimiento del producto de interés (frutos, hojas), de su estructura-soporte es la primera operación necesaria para la cosecha. Se mide la fuerza de desprendimiento y el sistema más adecuado para conseguirlo mecánicamente: por vibración (aceituna, uvas), arranque (judías verdes, tomate), peinado (frambuesas, fresas) etc...

g) El estudio de la recolección selectiva ha sido abordado con frecuencia, y en general desechado por resultar antieconómico en favor de la recolección masiva; intenta sustituir la acción selectiva que realiza el operario en la recolección manual, por la selección automática. Destacan los trabajos en lechuga (selección en madurez por absorción de rayos gamma) (Garrett, 1970) y algunos estudios de desprendimiento selectivo y aclareo por vibración en nueces, frambuesas y grosellas.

h) El control de la textura de los alimentos (propiedad compleja que expresa las propiedades del alimento al consumirlo) ha adquirido enorme interés en los últimos años, ligado sobre todo a los procesos industriales de elaboración de los alimentos. Se ha ensayado la determinación por métodos mecánicos de las transformaciones

de textura p.ej. en patata, en judía verde y en una gran variedad de productos, en congelación; en frutas diversas, a lo largo de su conservación en cámaras frigoríficas; en productos no sólidos (lácteos, mermeladas, etc.) en los procesos de elaboración. Los métodos de ensayo empleados siguen siendo en muchos casos empíricos, intentándose actualmente adaptar ensayos técnicos fundamentales a todas las aplicaciones.

## 2. UTILIZACION DE LAS PROPIEDADES OPTICAS PARA SELECCION Y CLASIFICACION.

El estudio de las aplicaciones de las propiedades ópticas para la evaluación de la calidad y para la clasificación de los productos biológicos en general y alimentarios en particular viene siendo muy intenso en los últimos años. Científicos e ingenieros han estudiado diversos métodos aplicables a estos objetivos, siendo las técnicas electro-ópticas las que mayores posibilidades de utilización presentan hoy, ya con realidades bien conocidas.

Corresponde a un conjunto de métodos no destructivos de evaluación de la calidad, y supone la aplicación sobre el objeto de un haz de radiaciones electro-ópticas, incluidas, dentro de la totalidad del espectro electromagnético, entre los 190 nm y los 2400 nm<sup>(1)</sup> de longitud de onda (incluyendo las zonas ultravioleta visible e infrarroja cercana). El espectro completo de radiación electromagnética es mucho más amplio, sin embargo, con unos límites entre  $10^{-5}$  nm (rayos cósmicos) y  $10^{14}$  nm (corriente eléctrica).

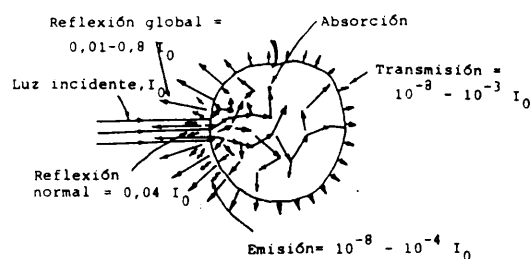


Fig. 4. La luz incidente sobre un producto, de intensidad  $I_0$ , se distribuye en reflexión, absorción, transmisión y emisión. La "reflexión global" ("body reflection") combina la reflexión difusa y la emisión.

(1) nm = nanómetros =  $10^{-9}$  m

La energía que llega al objeto -- interacciona con él, siendo modifica-- da de alguna forma definida, según --- las propiedades químicas y/o físicas - del objeto. En general, la energía in-- cidente será reflejada, transmitida, y absorbida por el objeto. Se mide y re-- gistra por tanto la diferencia entre la energía incidente y la respuesta; - esta diferencia proporciona una base - para el desarrollo de relaciones empí-- ricas que están relacionadas con la ca-- lidad del producto.

La apariencia y el color externo e interno son importantes factores a-- considerar en la evaluación de la cali-- dad de los alimentos, y pueden ser me-- didos objetivamente, utilizando radiación visible (luz= radiación electro-- magnética entre 400 y 700 nm), la más directamente relacionada con la percep-- ción humana.

Birth (1976) recoge una completa explicación de la interacción de la -- luz con los alimentos. La mayoría de productos agrícolas no son ópticamente homogéneos, sino que consisten en pe-- queñísimas caras internas de reflexión. Cuando la luz penetra en estos materia-- les, es dispersada en todas direccio-- nes, tanto al exterior (reflexión nor-- mal, y reflexión difusa), como hacia - el interior; esta última es en parte - transmitida hacia el interior, donde: a) en parte atraviesa el producto has-- ta su otro extremo; b) en parte es re-- flejada de nuevo hacia el exterior, - donde se suma a la luz difusa; c) en - parte es absorbida, según la constitu-- ción química del material, la longitud de onda, y el grosor del material atra-- vesado. La energía absorbida es trans-- formada en otras formas de energía. En algunos materiales, parte de la radiación absorbida puede ser transformada en otras formas de radiación, como -- fluorescencia y emisión luminosa re-- tardada. De esta forma, la radiación que abandona la superficie del fruto-- puede consistir en uno o más de los si-- guientes componentes: reflexión nor-- mal, reflexión difusa, transmisión y emisión (en forma de fluorescencia, -- fosforescencia y emisión luminosa re-- tardada).

Debido a la complejidad de la in-- teracción entre la luz y los materia-- les agrícolas, se definen y utilizan en sentido amplio el factor de reflex-- ión o reflectancia como:

$$R = \frac{I_s}{I_r} \quad \begin{array}{l} \text{(energía reflejada por la muestra)} \\ \text{(energía reflejada por una referen--} \\ \text{cia de reflexión total)} \end{array}$$

y el factor de transmisión o transmi-- tancia como:

$$T = \frac{I_s}{I_r} \quad \begin{array}{l} \text{(energía transmitida por la muestra)} \\ \text{(energía transmitida por la referen--} \\ \text{cia)} \end{array}$$

y la absorbencia como:

$$A = \log_{10} \frac{I}{T} = \log_{10} \frac{I_r}{I_s}$$

, que es aná-- loga a la densidad óptica, aunque te-- niendo en cuenta que en este caso la-- absorbencia incluye absorción, reflex-- ión y dispersión de la luz.

Chen (1978) recoge información - completa sobre las aplicaciones de -- las propiedades ópticas para la deter-- minación de diferentes factores de ca-- lidad en productos agrícolas.

La absorbencia se ha utilizado - para determinar el envejecimiento de-- semillas de algodón y otras; el conte-- nido en diversos pigmentos: antociani-- ca en guindas, carotenos en tomate, - clorofila en manzanas, melocotones y tomates; grasa en carne picada, trans-- formados cárnicos y leche; humedad en diversos granos y productos cárnicos; sangre en huevos; grado de descasca-- do en arroz; madurez en manzanas, a-- rándanos, melocotones, cacahuets y - tomates; hongos en maíz; trigo y toma-- tes; manchas de daños mecánico en ce-- rezas; oscurecimiento del tabaco.

La reflectancia se ha utilizado para determinar magulladuras en manza-- nas, pollos y melocotones; el color - en limones, melocotones y tomates; el grado de descascaño en maíz; daños en cítricos y ciruelas pasas; fertili-- dad en huevos y su albúmina; madurez en manzanas, melocotones, peras, toma-- tes; orientación en fresas; fragmentos de hueso en melocotones procesados; - separación de materiales desechables: patatas y terrones; ajos y cebollas y terrones; tamaño en tomates; manchas y defectos en trozos de alcachofas.

En el caso del tomate de indus-- tria, aunque se utilizan ya con gene-- ralidad dispositivos electro-ópticos de tría de frutos verdes y terrones, todo el resto de defectos, incluidas las diversas podredumbres, han de -- ser eliminados manualmente.

Por otro lado, la detección de - este tipo de defectos en otros produc-- tos cualesquiera, presenta en principio importancia y características análo-- gas a las aquí mencionadas.

Los criterios de calidad utiliza-- dos más eficazmente en este contexto combinan diferencias o cocientes de - reflectancias en distintas longitudes de onda:  $R\lambda_1$  y  $R\lambda_2$  (reflectancias en las longitudes de onda  $\lambda_1$  y  $\lambda_2$  respec-- tivamente):

$$QI = R_{\lambda_1} - R_{\lambda_2} \quad " \quad QI' = \frac{R_{\lambda_1}}{R_{\lambda_2}}$$

Este último tiene la ventaja de eliminar las variaciones de sensibilidad del aparato, y con ello una fuente de error.

Moini y O'Brien (1980) realizaron trabajos en tomate, utilizando con buenos resultados diferentes índices como criterios de separación, siendo todos ellos combinaciones lineales de dos valores  $R_{\lambda_1}$  y  $R_{\lambda_2}$ :

$$QI = \frac{R_{\lambda_i} \pm R_{\lambda_j}}{R_{\lambda_i}}$$

Birth y Johnson (1970) y otros muchos autores utilizan como índices de calidad ecuaciones de regresión del tipo:

$$QI = k_0 + k_1(X_{\lambda_1}) - k_2(X_{\lambda_2})$$

(X: reflectancia o absorbencia).

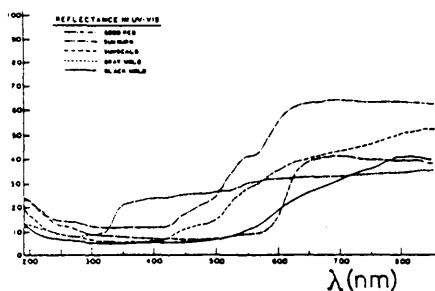
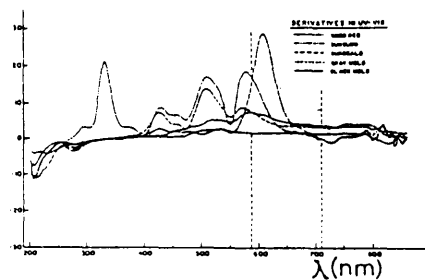


Fig. 5. Reflectancias y 1<sup>as</sup> derivadas para curvas típicas de cada tipo de daño. Por orden descendente: sanos, asolanados, que mados, hongo gris, hongo negro. (zonas ultravioleta y visible). Las líneas verticales muestran los extremos de las bandas que mejor discriminan entre defectuosos y sanos.

Las curvas espectrales que se muestran en la figura 5, correspondientes a diferentes defectos analizados en tomates (Ruiz y Chen, 1982), indican las distintas posibilidades de detección de cada uno de los tipos de defectos analizados. Las curvas de 1<sup>as</sup> derivadas muestran diferencias visiblemente destacadas.

Así, los objetivos de los trabajos de índices de calidad basados en propiedades ópticas como el presente se resumen en:

1° : identificar la longitud o las longitudes de onda utilizables para, en reflexión, detectar los diversos defectos en el fruto correspondiente, en este caso tomate de industria.

2° : establecer un criterio para la tría de frutos defectuosos, utilizable en un dispositivo mecánico.

En particular, la función:

$$f = 0,18 R'_{590} - 0,63 R'_{710} - 1,73$$

separaba los frutos sanos de los defectuosos en el 100% de los casos analizados, siendo las R' la 1<sup>a</sup> derivada de la R en las bandas de los 590 nm y de los 710 nm. Estas derivadas utilizadas en el estudio pueden sustituirse por diferencias de R' correspondiente a longitudes de onda (muy) próximas dentro de las bandas correspondientes.

En el caso de los defectos estudiados, otras bandas que ofrecen posibilidades, analizadas en base a las 1<sup>as</sup> derivadas, son las de 220, 420 y 510 en el UV-VIS y 880, 920, 1060 y 1400 en el IR cercano. Se observa por tanto que, tras un análisis espectrofotométrico amplio, pueden obtenerse unos resultados que sirven como datos de partida para la realización de dispositivos automáticos de tría y selección.

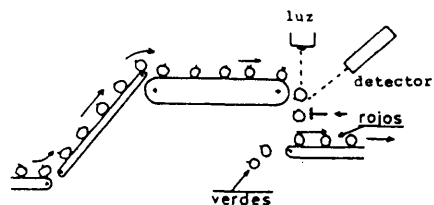


Fig. 6. Esquema de un equipo de tría automática de frutos verdes en una cosechadora de tomate.

### 3. DAÑOS POR IMPACTO EN FRUTOS

Debido a las cada vez más altas exigencias cualitativas de los mercados hortofrutícolas y a la susceptibilidad de estos productos a los daños durante la recolección y el transporte, se hace necesario conocer su comportamiento ante diversas agresiones mecánicas como son la compresión y el impacto, entre sí y contra elementos rígidos. El resultado es la rotura de los tejidos por acción de estas fuerzas exteriores, y el desarrollo subsiguiente de una magulladura: zona del fruto alterada física y químicamente.

El impacto se diferencia de la carga quasi-estática en que las fuerzas creadas en la colisión se aplican y retiran en un lapso de tiempo mucho menor, que es la duración o tiempo del impacto (del orden de 3 milisegundos) (Fluck y Ahmed, 1973).

Existen pocos métodos y técnicas ampliamente generalizados para determinar las propiedades mecánicas que afectan a la calidad de los frutos, por lo que los resultados obtenidos por un investigador rara vez pueden compararse con otros. Algunos ensayos de tipo estático (penetración o compresión) han conseguido generalizarse. Sin embargo, en el aspecto de cargas rápidas o impactos no existen métodos de ensayo y análisis bien conocidos y generalizados, siendo precisamente los impactos o golpes una de las causas principales de las pérdidas de frutas por daños.

Mohsenin (1972) expuso la teoría elástico-plástica del impacto sobre frutos, que comprende las fases elástica, plástica y el rebote elástico. La aplicación de la teoría elástica de Hertz puede pues utilizarse como punto de partida del análisis del impacto.

Con ellos pueden obtenerse buenas aproximaciones a aplicaciones como: la altura máxima para caída libre de frutos; la proporcionalidad entre el volumen de la magulladura y la energía aplicada en impacto y la localización de la magulladura inicial en coincidencia con el máximo esfuerzo cortante y la fuerza de compresión o tensión máxima calculados (v. fig. 2).

Debido a la disparidad de métodos y condiciones utilizados hoy en día existe una confusión en orden a establecer qué es lo que más energía necesita para producir una magulladura. Así, unos autores afirman que la necesaria bajo impacto es mayor que en compresión para una magulladura equivalente. Sin embargo, otros investigadores establecieron todo lo contra-

rio, observando que el impacto sólo requiere un 20% de la energía de compresión para producirla.

Chen y Sun (1984), realizando ensayos precisos en probetas de pulpa de manzana, determinan la gran influencia de la velocidad de deformación (0 a 50 mm/mm.s) sobre la deformación y la tensión máximas de rotura, y por lo tanto, la importancia de la componente viscosa del material vegetal, en su respuesta mecánica. En consonancia con el comportamiento teórico de los modelos viscoelásticos, con altas velocidades de aplicación de las cargas (impactos) la componente elástica adquiere mayor importancia, pasando la resistencia estructural de los tejidos a ser la responsable principal de la respuesta al impacto.

Esta variación en la respuesta a cargas aplicadas a diferentes velocidades, de la que es responsable la compleja naturaleza de los materiales vegetales, es la causa de la disparidad de conclusiones más arriba citadas.

En proyectos de investigación actuales, en los que el Departamento de Mecanización Agraria de la E.T.S.I.A de Madrid está colaborando, se trata de establecer métodos de ensayo para el estudio de la respuesta de los frutos a la aplicación de impactos.

Chen y otros (1985) describen un sistema de adquisición y almacenamiento de datos con un ordenador el cual hace posible el análisis de las fuerzas, velocidades y deformaciones instantáneas, así como de las energías absorbidas durante el impacto. Este se realiza por caída libre desde distintas alturas de una esfera provista de un acelerómetro, acoplado al sistema de análisis, sobre el fruto a estudiar.

Pueden así obtenerse curvas como las de la figura 7 específicas para cada tipo de material y condiciones.

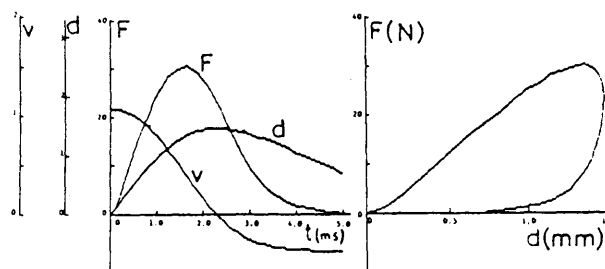


Fig. 7. Registros de ordenador de las curvas de impacto sobre pera (impacto de una masa de 43 gr desde una altura de 6 cm).

F(N): fuerzas; d(mm): deformaciones; v(m/s): velocidades.



Las propiedades mecánicas del material que constituye el fruto son -- las responsables de la respuesta así observada. Es necesario por tanto conocer diversos parámetros, principalmente, módulo de elasticidad, resistencia a la rotura por compresión y -- por esfuerzo cortante, los cuales, en frutos como la manzana y la pera, pueden determinarse con presión en probetas ensayadas en máquina universal. Para su determinación a las velocidades de impacto, se requieren de nuevo técnicas especiales, aún por establecer.

Otro aspecto de gran importancia a la hora de evaluar las consecuencias del impacto en el fruto, a saber: la aparición y desarrollo de la magulladura en distintos productos y bajo distintas condiciones, requiere del estudio profundo de la zona objeto -- del impacto. Existen varios factores que se ha observado afectan o pueden afectar en el proceso: factores bioquímicos (polifenoles y sus enzimas -- catalizantes de la oxidación; etileno); histológicos (constitución de -- las paredes celulares, tamaño y estructura de las células, espacios y cantidad de agua libre) y ambientales (temperatura). Las técnicas necesarias para completar estos estudios incluyen la utilización de productos reveladores y de tinción; histológicas de observación directa y, en su caso, de radiaciones para la cuantificación del daño producido.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Birth, G.S. (1975). Electromagnetic radiation: optical. Chapter 9. In: Z.A. Henry (ed) Instrumentation and measurement of environmental science. ASAE Special publication no. SO-0375 Amer. Soc. of Agric. Engng., St. Joseph, MI 49085.
- Birth, G.S. (1976). How light interacts with foods. ASAE Publication 1-76 "Quality Detection in Foods". St. Joseph, MI 49085. pp. 6-11.
- Birth, G.S. y R.M. Johnson (1970). Detection of mold contamination in corn by optical measurements. Journal of the Association of Official Analy. Chem. 53(5): 931-936.
- Canet, W., 1980. Estudio de la influencia de los tratamientos térmicos de escaldado, congelación y descongelación en la textura y estructura de la patata. Tesis - Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
- Chen, P., R.B. Fridley y T.H. Burkhardt (1975). Some applications of mechanical properties of agricultural materials to the design of harvesting and handling equipment. Proc. Workshop on Design - Applications of Mechanical Properties (Penn.State University).
- Chen, P. (1978). Use of optical properties of food materials in quality evaluation and materials sorting. Journal of Food Process Engineering 2(4): 307-327.
- Chen, P. y E.F. Squire (1971). An evaluation of the coefficient of friction and abrasion damage of oranges on various surfaces. Trans. ASAE (1971) 6: 1092-1094.
- Chen, P. y Z. Sun (1984). Critical strain failure criterion: Pros. and Cons. Trans. ASAE 27(1): 278-281.
- Chen, P., S. Tang y S. Chen (1985). Instrument for testing the response of fruits to impact. ASAE Paper n° 85-3537.
- Chen, P. y R.B. Fridley (1975). Quality evaluation of agricultural products based on their mechanical properties. Proc. Workshop on Design Applications of Mechanical Properties. (Penn.State University).
- Fluck, R.C. y E.M. Ahmed, 1973. Impact testing of fruits and vegetables. Trans. ASAE 16(4): 660-666.
- Garrett, R.E. y W.K. Talley, (1970). Use of gamma ray transmission in selecting lettuce for harvest. Trans. ASAE 14(6): 820-823.
- Gil, J., P. Chen y M. Ruiz (1984). Numerically calculated viscoelastic constants related to bruising resistance. ASAE Paper no. 84-6502.
- Hammerle, J.R. (1970). A technique for evaluating fruit and vegetable abrasion resistance. Trans. ASAE 13(5): 672.
- Horsfield, B.C., R.B. Fridley, C.C. Claypool (1972). Application of theory of elasticity to the design on fruit harvesting and handling equipment for minimum bruising. Trans. ASAE 15(4): 746.
- Mohsenin, N.N. (1972). Mechanical properties of fruits and vegetables. Review of a Decade of Research. Applications and Future Needs. Trans. ASAE 15(6): 1064-1070.

Moini, S. y M. O'Brien (1980). Spec--  
tral properties of mold and de--  
fects of processing tomatoes. --  
Trans. ASAE 23(4): 1062-1064.

Ruiz, M. y P. Chen (1982). Use of --  
first derivatives of light reflec\_  
tance curves to detect mold in-  
tomatoes. Trans. ASAE 25(3): 759  
-762.