

# Detección de impactos con frutos electrónicos

Carmen Jarén Ceballos<sup>1</sup>, George Anderson<sup>2</sup>, Margarita Ruiz Altisent<sup>1</sup> y Andrew Muir<sup>2</sup>.

Cada vez que los frutos y hortalizas se manipulan, se producen daños y, por tanto, pérdidas de calidad y pérdidas económicas. Los productos Electrónicos Simulados (SEP)<sub>3</sub> miden y registran las fuerzas que intervienen en estos procesos. Por ello, se pueden utilizar para localizar los puntos que causan daños en las cosechadoras y en las líneas de manipulación. De esta manera, se pueden hacer las modificaciones oportunas para eliminar los daños por impactos en frutas y hortalizas. En este artículo se exponen las calibraciones de 4 SEPs y los ensayos realizados en distintas líneas de frutas y hortalizas.

Los daños en los productos agrícolas causados por la manipulación mecánica y el transporte originan una disminución de la calidad, además de importantes pérdidas económicas. Un número significativo de daños pueden atribuirse a magulladuras producidas por impacto de los frutos con superficies duras o con otros frutos.

Para intentar disminuir los daños por impacto, tenemos que conocer los dispositivos mecánicos o los procesos en los cuales se producen impactos (B.R. Tennes et al, 1988). Para poder localizar y cuantificar la gravedad de los golpes producidos, se han desarrollado en los últimos años "productos o frutos electrónicos simulados": los SEP. Estos se han desarrollado en diversos laboratorios, entre ellos el Scottish Centre of Agricultural Engineering de Edimburgo (Reino Unido). Los SEP miden y registran las fuerzas que intervienen en los procesos de manipulación y transporte. Por ello, pueden utilizarse para descubrir los puntos que causan daños y, de esa manera, poder hacer las modificaciones oportunas para evitar posteriores daños. Una importante característica de los SEP es su fácil manejo en situaciones prácticas tales como la recolección y las líneas de manipulación. En estas situaciones, es esencial que no haya interferencias

entre el SEP y la maquinaria (G. Anderson, 1990).

## DESCRIPCIÓN DE LOS SEP

Los SEP deben fabricarse con un tamaño, peso y característica de rebote (elasticidad) que se corresponden con las propiedades físicas de los productos cuyas cosechadoras o líneas se quieren estudiar (ver figura 1).

Los SEP están formados por una estructura de plástico en forma de toroide y abierta por la mitad. Esta carcasa se envuelve con cable piezo-eléctrico de PVDF (polyvinilidene fluoride) y, en su interior, se encuentran los elementos microelectrónicos que procesan y almacenan los datos así como una pequeña batería. El cable piezo-eléctrico es el encargado de captar el impacto. Cuando éste se produce, el material piezo-eléctrico es presionado entre la superficie de impacto y la carcasa rígida. Esta presión provoca una pulsación eléctrica. Esta pulsación se mide por

sensores electrónicos simples que determinan un cierto nivel. Este nivel se almacena hasta que se produce un impacto más fuerte o hasta que hacemos la lectura (G. Anderson, 1990).

El dispositivo, en su versión actual, también registra el tiempo que transcurrió hasta el impacto. Es decir, registra el mayor impacto y el tiempo transcurrido. La carcasa junto con el cable enrollado se envuelven dentro de un material amortiguador en mayor o menor medida en función de la sensibilidad a dañarse del fruto al que se intenta parecer. Así, para patata el dispositivo será menos sensible que para tomate. Esta envuelta le proporciona ya la forma más o menos esférica que poseen los SEP.

En la superficie hay dos conexiones magnéticas. Una de ellas sirve para conectar el aparato. En el momento en que se activa, empieza a funcionar el cronómetro y ya es capaz el SEP de registrar fuerzas. La otra conexión magnética está colocada

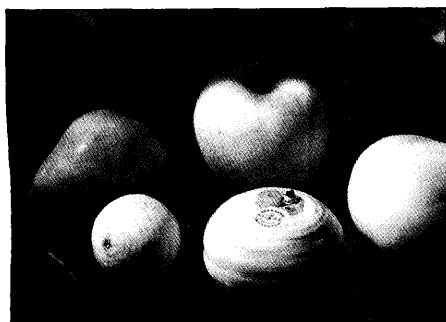


Fig. 1 SEP junto a los frutos a los que se asemeja.

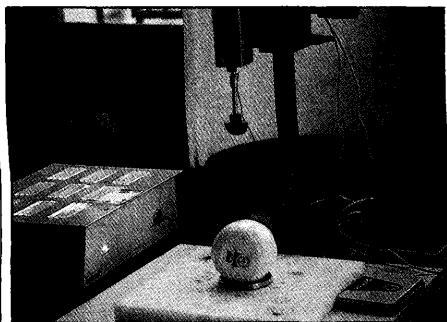


Fig. 2 SEP colocado en el dispositivo de impactos.

<sup>1</sup> E.T.S. de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid.

<sup>2</sup> Scottish Centre of Agricultural Engineering. Edimburgo, Reino Unido.

<sup>3</sup> Simulated Electronic Products

al lado de una pequeña pantalla. Se activa cuando el usuario desea hacer una lectura de la información contenida en la memoria. La pantalla mostrará entonces el máximo nivel de daño, ocurrido durante el proceso a que haya sido sometido el fruto electrónico, y el tiempo, en segundos, transcurridos desde que se conectó hasta que dicho impacto tuvo lugar. Así, por ejemplo, si en la pantalla aparece "6.018" es que el nivel de daño ha sido de 6 y el tiempo transcurrido de 18 segundos.

Cronometrando el tiempo a lo largo del proceso de manipulación y observando el dispositivo, se pueden identificar rápidamente las zonas de mayor daño, que pueden ser así eliminadas. Así, por ejemplo, se puede reducir la altura de caída. Sucesivas utilizaciones indicarán otros puntos que también ocasionen daños.

Dos de estos dispositivo registra hasta un nivel máximo de daño preestablecido que es de 7. Los otros dos cuantifican los daños en tantos por ciento. Por lo que, a priori, lo único que conocemos es si un impacto ha sido mayor que otro, en una escala del 0 al 7 o de 0 a 100, según el SEP.

El SEP se calibra para adecuar esos niveles a los daños que se producen en los frutos a los que se asemeja sometidos a un impacto de la misma energía.

**CALIBRACIÓN**

Para la calibración de los SEPs se realizaron impactos controlados sobre él en el Laboratorio de Propiedades Físicas del Departamento de Ingeniería Rural de la Universidad Politécnica de Madrid. Los impactos se realizaron con un dispositivo diseñado por dicho laboratorio (M. Ruiz et al., 1987). Una semiesfera de masa conocida se deja caer sobre el SEP a distintas alturas (ver figura 2). Después de cada impacto, se tomaba lectura de la pantalla del SEP para conocer el nivel de daños y se calculaba la energía del impacto. Los cuatro SEPs se diferenciaban en su sensibilidad al daño.

Con el mismo dispositivo se pueden realizar impactos del mismo nivel energético sobre fruto y a continuación cuantificar el daño. Así, podemos asignar a cada valor de la escala de los dispositivos, una estimación de las consecuencias que ese impacto tiene sobre el fruto. Esta relación hay que hacerla para cada tipo fruto, para cada variedad y para unas mismas condi-

ciones de madurez y temperatura. Un mismo impacto no causa los mismos daños sobre todos los frutos ni sobre todas las variedades de un mismo fruto. Los niveles de daño también dependen mucho del estado de madurez y de la temperatura a la que se efectúe el impacto.

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

A partir de los datos de altura del impacto y de la masa se han calculado la energía, la aceleración máxima, la deformación máxima y el tiempo de impacto. Las relaciones entre estos parámetros de impacto y los niveles de daños registrados por los dispositivos se encuentran en las tablas 1-4. Los coeficientes de correlación medios para los cuatro SEP entre las variables de impacto y el nivel de daño son todos superiores al 0.9.

Según Siyami et al. (1988), que también han trabajado con esferas instrumentadas para la detección de daños, Ruiz et al. (1986) y García et al. (1988), el diámetro de las magulladuras producido por impactos en manzana está influenciado por la aceleración máxima en el impacto. Por lo tanto, dada la alta correlación entre el nivel de daño detectado por los SEP y la aceleración máxima, podemos predecir las dimensiones de las magulladuras que se ocasionarían en frutos ante un impacto de un determinado nivel.

De los cuatro SEP ensayados, el más semejante a frutas tales como pera, manzana y melocotón, en las condiciones en las que esta fruta se manipula en nuestro país, es el denominado "d". Este SEP detecta daños en un intervalo de  $4,8-58 \times 10^{-3}$  Julios por lo que parece adecuado para

**Tabla 1 Relación entre parámetros de impacto y nivel de daños en el SEP "a"**

ENERGIA (10 <sup>-3</sup> J)	ACELERACION (m/s <sup>2</sup> )	DEFORMACION (mm)	TIEMPO (ms)	NIVEL DE DAÑO
45.2	818.7	0.91	3.78	0
56.5	818.4	0.02	3.70	1
67.8	818.4	1.22	3.84	1
90.4	818.5	1.62	3.82	1
113.1	826.8	1.87	3.76	1
135.6	824.4	2.92	3.78	2
214.7	827.8	6.20	3.30	3
248.6	832.0	7.00	3.20	3

**Tabla 2 Relación entre parámetros del impacto y nivel de daños en el SEP "b"**

ENERGIA (10 <sup>-3</sup> J)	ACELERACION (m/s <sup>2</sup> )	DEFORMACION (mm)	TIEMPO (ms)	NIVEL DE DAÑO
11.3				0
22.6	662	0.5	3.3	5
33.9	661	0.7	3.6	10
45.2	660	0.9	4	23
67.8	660	1.6	3.3	40.2
90.4	665	3.0	3.4	55.7
113.0	665	3.7	3.55	71.2
135.6	661	5	3.6	100

**Tabla 3 Relación entre parámetros de impacto y nivel de daño en el SEP "c"**

ENERGIA (10 <sup>-3</sup> J)	ACELERACION (m/s <sup>2</sup> )	DEFORMACION (mm)	TIEMPO (ms)	NIVEL DE DAÑO
11.3	295.68	0.5	4.25	8.3
22.6	443.60	0.7	3.8	25.3
33.9	613.80	0.9	3.9	52.0
45.2	669.60	1.0	3.7	85.4
56.5	669.60	1.1	3.7	91.0
62.1	669.60	1.2	3.7	100

perfeccionar líneas de buena calidad de manzanas, estudiar las nuevas líneas de manipulación de frutos tan sensibles como la chirimoya y cuantificar los daños en la recolección mecanizada del tomate, entre otros ejemplos (Fig. 3).

Los otros tres SEPs no registraron daño alguno en las pruebas de laboratorio hasta una energía de  $11,3 \times 10^{-3}$  Julios. En cambio, las manzanas, en el mismo ensayo, ya registran daños con  $15 \times 10^{-3}$  Julios (Jarén et al. 1990 a y b).

El prototipo "c", que era de los cuatro el de menor tamaño, resultó ser el segundo más sensible a los impactos mecánicos a los que fue sometido (Ruiz et al., 1991). Su rango de medida fue muy pequeño, tan sólo entre  $11,3$  y  $67,8 \times 10^{-3}$  Julios. Por lo tanto, podría asemejarse a frutas como las anteriormente citadas. Se

podría emplear para la detección de daños en cosechadoras y líneas de una calidad media.

El SEP "a" es más adecuado para frutos más resistente a daños mecánicos por impacto tales como las patatas.

### EJEMPLOS PRACTICOS DE LA UTILIZACIÓN DE LOS SEP

Se han ensayado 6 líneas de manipulación de frutas de la empresa MERCO. En ellas, se hicieron pasar los SEPs que se

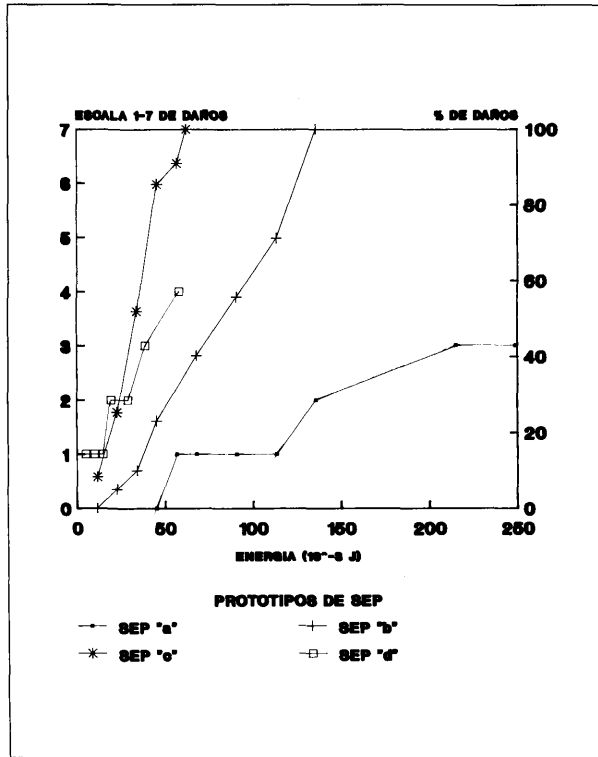


Fig. 3 Escala porcentual (derecha) y discreta (izquierda) de nivel de agresión registrada por cada SEP: "a" y "d" escala discreta y "b" y "c" escala porcentual. En abscisas, niveles de energía de los impactos aplicados con el dispositivo de ensayos del laboratorio (Fig. 2): Obsérvese que el prototipo "d" es capaz de registrar niveles de energía muy bajos. Cada prototipo (ver texto) se adecúa a diversos tipos de frutos, según su susceptibilidad a los daños.

colocaban allí donde se suponía que se podían producir golpes de importancia.

Las líneas de frutas de hueso y de pepita de Fraga (Zaragoza) y de Bellloch (Lérida) resultaron ser de muy buena calidad ya que ninguno de los SEP "a", "b" y "c" detectaron daños. Por lo que, no se producen golpes de más de  $11,3 \times 10^{-3}$  Julios, energía perfectamente soportada por estos frutos sin que sufran daño alguno. La línea de chirimoya y la de aguacate, ambas de Motril (Granada), resultaron también excelentes. La primera

no registró ningún daño con el SEP más sensible (d) y la segunda sólo se localizó un punto de daño 1 con el "d", lo que no le supone daño al aguacate (Corrêa, 1991)

Donde sí se registraron daños fue en la línea de manipulación de cebollas de Mocejón (Toledo). De todos los puntos donde se detectaron impactos, sólo cinco resultaron importantes para las cebollas. Estos fueron o caídas de frutos sobre varillas o sobre fondos de tolvas vacías. Estos daños se evitarían fácilmente forrando las varrillas y el fondo de las tolvas con material amortiguador. También se detectaron daños en una línea de patata de Motril (Granada). En este caso sólo tres puntos resultaron importantes: tolva de recepción, lavadora y caída por una pequeña rampa que como era regulable en altura se pudo modificar hasta eliminar la ocurrencia de daño.

### AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento al CICYT, Acciones Integradas Hispano-Británicas, al S.C.A.E. y a Merco.

### BIBLIOGRAFIA

- ANDERSON, G. 1990. *The development of artificial fruits and getables*. 22 C.I.M.A. Workshop of impact damage on fruits and vegetables. Zaragoza.
- CORRÊA, P.C., J.L. DE LA PLAZA Y M. RUIZ ALTISENT. 1991. *Ensayos no destructiva para la evaluación de la madurez post-recolección de aguacate*. 23 C.I.M.A. Zaragoza.
- GARCÍA ALONSO, C., M. RUIZ ALTISENT Y P. CHEN. 1988. *Impact parametes related to bruising in selected fruits*. A.S.A.E. papel 88-6027.
- JARÉN CEBALLOS, C., I. RECASENS. 1990 *Testing the effect of Calcium treatment on the physical properties of apples*. 22 C.I.M.A. workshop of impact damage on fruits and vegetables. Zaragoza.
- JARÉN CEBALLOS, C., I. RECASENS Y M. RUIZ ALTISENT. 1990. *Daños mecánicos en frutos de manzana del cv. "golden Delicious" tratados con calcio*. Congreso de la S.E.C.H. Lisboa.
- JARÉN CEBALLOS, C. 1991. *Utilización de productos electrónicos simulados (SEPs) para la determinación de daños ocasionados en una línea de manipulación de cebollas*. 23 C.I.M.A. Zaragoza.
- RUIZ ALTISENT, M., J. GIL SIERRA, P. CHEN Y F. M. LU. 1987. *Methods for studying resistance to impact and compression in fruits: application to four varieties of Asian Pears*. II Congress of Food Technology. Barcelona.
- RUIZ ALTISENT, M., J. GIL SIERRA, C. GARCÍA ALONSO Y L. RODRÍGUEZ SINOBAS. 1986. *Daños por impactos en frutos: parámetro y métodos experimentales*. Actas II Congreso de la S.E.C.H. Vol. II: 1513-1522. Córdoba.
- RUIZ ALTISENT, M., C. JARÉN CEBALLOS, A. MUIR Y G. ANDERSON. 1991. *Los productos Electrónicos Simulados (SEP) para la determinación inmediata de las causas de daños por impacto en frutas y hortalizas*. 23 C.I.M.A. Zaragoza.
- SIYAMI, S., G. K. BROWN, G. J. TURGESS, J. B. GERRISH, B. R. TENNES, C. L. BURTON Y R. H. ZAPP. 1988. *Apple impact bruise prediction models*. Trans. ASAE 31 (4): 1038-1046.
- TENNES, B. R., H. R. ZAPP, G. K. BROWN Y S. H. EHLERT. 1988. *Self-contained impact detection device: calibration and accuracy*. Trans ASAE 31 (6): 1869-1873.

Tabla 4 Relación entre parámetros de impacto y nivel de daño en el SEP "d"

ENERGIA (10 <sup>-3</sup> J)	ACELERACION (m/s <sup>2</sup> )	DEFORMACION (mm)	TIEMPO (ms)	NIVEL DE DAÑO
4.8	815.54	0.30	2.25	1
9.7	820.96	0.45	2.17	1
14.5	820.55	0.60	2.00	1
19.3	825.19	0.75	2.03	2
28.9	828.61	1.97	1.95	2
38.6	825.43	2.49	1.90	3
57.9	836.80	3.80	1.83	4