

DISPOSITIVO IMPACTADOR DE LABORATORIO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA FIRMEZA EN FRUTA: UNA NUEVA VERSIÓN

B. Diezma, L. Flores, J. Díez, M. Ruiz-Altisent, P. Barreiro, A. Marañón
Laboratorio de Propiedades Físicas. Departamento de Ingeniería Rural
E.T.S. Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid
Ciudad Universitaria s/n 28040 Madrid.
e-mail: bdiezma@iru.etsia.upm.es

Abstract

A new version of a laboratory impact device has been developed to obtain a user friendly system. The data resolution, the signal-noise ratio and the precision have been increased in the new system when compared to previous prototypes.

An experimental design was carried out with different reference materials using the new and the old impactor to compare the improvements obtained.

Resumen

Se ha desarrollado una nueva versión de un dispositivo impactador para obtener un sistema versátil y de fácil manejo. La resolución, la precisión y la relación señal-ruido son mayores en el nuevo sistema que en prototipos anteriores. Se ha realizado un diseño de experimentos con diferentes materiales usando el nuevo y el antiguo impactador para comprobar las mejoras conseguidas.

Keywords: medida no destructiva, precisión, reproducibilidad

1.Introducción

Los resultados de estudios previos llevados a cabo por diferentes investigadores han mostrado que pueden usarse las técnicas de impacto para evaluar la firmeza en fruta. Impactar la fruta con un pequeño cuerpo esférico de masa y radio de curvatura conocido y medir la aceleración de dicho cuerpo es una técnica descrita por Chen y cols. (1985), y usada por varios investigadores. Los resultados de los estudios con diferentes especies y variedades de fruta han mostrado que estas técnicas dan mejores resultados que aquellas en las que los frutos impactan contra un sensor de fuerza y miden la fuerza en función del tiempo; las segundas son más susceptibles a los cambios de peso y de radio de curvatura de los frutos, hasta el punto de obtener un enmascaramiento de los datos referidos a la firmeza debido a que la fuerza de impacto es función de la masa y del radio de curvatura, la velocidad está limitada por la velocidad del fruto en caída libre y el punto de impacto no se puede controlar.

Ruiz Altisent y cols. (1993) desarrollaron y usaron un impactador vertical con una masa impactante de cabeza semiesférica de 50,8 g y 19 mm de diámetro capaz de golpear la fruta desde diferentes alturas (manzanas, peras, aguacates, melones, melocotones...). Chen y Ruiz Altisent (1996) desarrollaron otro dispositivo impactador experimental de baja energía para la determinación de la firmeza de la fruta con una velocidad de funcionamiento alta; este sistema consiste en una pequeña masa semiesférica montada

sobre un brazo pivotante que al girar alcanza y golpea la fruta (impactador lateral). Ambos dispositivos cuentan con un pequeño acelerómetro montado detrás del cuerpo impactante. Tanto el impactador lateral como el vertical han sido usados en ensayos de laboratorio y los resultados de estos ensayos han contribuido a establecer métodos no destructivos para la medida de firmeza de frutas: Barreiro (1994) comparó los parámetros de impacto y los resultados del ensayo de penetración Magness-Taylor en manzanas, peras, albaricoques y melocotones; Agulheiro (1994) estudió la evolución de dos variedades de melones durante dos semanas de almacenamiento en frío mediante los ensayos de impacto de baja energía; Ortiz y cols. (1998) usaron ensayos de impacto y técnicas de espectroscopía en el infrarrojo cercano para identificar melocotones lanosos (no crujientes, no firmes y blandos); Steinmetz y cols. (1996) compararon varios sensores no destructivos para la determinación de la firmeza (basados en vibraciones mecánico-acústicas, impacto y microdeformación), demostrando que todos ellos tienen un elevado índice de correlación entre sí. Puede afirmarse que las técnicas no destructivas basadas en la respuesta a un impacto de baja energía, son técnicas ampliamente aceptadas para la medida de la firmeza en diversas frutas.

Con el presente trabajo se pretende:

- Desarrollar un nuevo sistema (software+hardware) capaz de proporcionar al usuario un dispositivo impactador fácil de usar y de configurar
- Evaluar las diferencias entre un nuevo impactador ('versión 2.0') y el antiguo impactador ('versión 1.0')
- Determinar la precisión y la reproducibilidad del impactador 'versión 2.0' usando para ello materiales de referencia (referencias internas)

2. Materiales y métodos

2.1. Materiales

Los elementos principales del nuevo dispositivo ('versión 2.0') son:

- Un amplificador-acondicionador de señal
- Una tarjeta digitalizadora ISA (Internal Standard Architecture, CIO-DAS08) de 12 bit con una frecuencia de muestreo de hasta 40 kHz que conecta el sistema externo con el ordenador
- Un programa que permite al usuario controlar el proceso, guardar las medidas realizadas y extraer diferentes parámetros del impacto

El programa, basado en el sistema operativo Windows, controla todos los procesos y almacena los datos del impacto para que puedan ser analizados posteriormente con herramientas informáticas de uso común (Microsoft Excel, Corel QuattroPro); su diseño proporciona al usuario un modo de manejo rápido y fácil por medio de cuadros de diálogo, barras de herramientas o ventanas; además para usuarios avanzados existe una ventana especial de configuración que permite cambiar la configuración de la tarjeta (frecuencia de muestreo, umbral...). Cada vez que el sistema registra un impacto el programa ofrece en pantalla los valores de los parámetros más importantes y las curvas de aceleración, velocidad y deformación vs. tiempo. Este programa, 'Impactador 3.1', puede utilizarse tanto en el impactador vertical como en el lateral.

En la 'versión 1.0', la tarjeta de adquisición de datos es de 8 bits y 10 kHz de frecuencia de muestreo. También el rango de voltaje es diferente entre las dos versiones:

la nueva tarjeta permite un rango de voltaje entre -10 V y 10 V , mientras que la usada en el dispositivo anterior tiene un rango entre 0 y 10 V . Así, el rango de voltaje entre niveles consecutivos es $4,88\text{ mV}$ y 39 mV respectivamente. Los saltos entre niveles consecutivos son 5 m/s^2 o $0,5\text{ g}$ ($0,5$ veces la aceleración de la gravedad) en la 'versión 1.0' y $0,6\text{ m/s}^2$ o $0,0625\text{ g}$ en la 'versión 2.0'.

El procedimiento seguido para la calibración de la 'versión 2.0' está basado en las especificaciones dadas por el fabricante del acelerómetro ($1\text{ g} = 10\text{ mV}$). El rango dinámico de digitalización se ha optimizado haciendo $1\text{ g} = 16$ niveles de digitalización = 78 mV , con lo que la señal se satura para una aceleración máxima igual a 128 g , valor superior al máximo esperado para cualquier fruto (ver Tabla 1). Esto implica amplificar la señal del acelerómetro antes de llegar a la tarjeta digitalizadora. En el nuevo equipo también se ha introducido filtros paso banda para eliminar ruido de altas frecuencias, de ahí que a parte de aumentar la resolución se espere aumentar la relación señal-ruido y la precisión. Para comprobar el óptimo funcionamiento del amplificador se utilizó un generador de señal. Cuando se fabricó el antiguo dispositivo ('versión 1.0') no se siguió todo este proceso de ajuste y calibración por lo que podemos esperar ligeras variaciones en los valores absolutos de las medidas hechas con una y con otra versión (falta de reproducibilidad).

Para el desarrollo del programa y la puesta a punto del conjunto de los elementos que conforman las novedades en la 'versión 2.0' se utilizaron las siguientes herramientas: osciloscopio digital Tektronix 468, diversas fuentes de alimentación, generadores de señal, multímetros, el programa Microsoft Visual C++ 5.0, el programa Borland C++ 2.0, ordenadores personales, tarjetas de adquisición de datos ISA CIO-DAS08.

2.2. Métodos

Los ensayos se han diseñado para comprobar las diferencias existentes entre los resultados obtenidos con el impactador 'versión 1.0' y los obtenidos con la 'versión 2.0'. El dispositivo impactador utilizado en este trabajo es similar al descrito por Chen (1985): impactador vertical/de caída libre que utiliza una masa esférica de $50,8\text{ g}$ y 19 mm de radio de curvatura como objeto impactante.

Para seleccionar muestras con valores de aceleración máxima similares a los obtenidos en los ensayos de frutas (Tabla 1) se realizaron ensayos preliminares con varios materiales amortiguadores comerciales; se eligieron ocho materiales cuyo valor de aceleración máxima en un ensayo de impacto realizado a una altura de 4 cm y con una frecuencia de muestreo de 10 y 20 kHz se presenta en la Tabla 2. Los resultados obtenidos a estas dos frecuencias de muestreo no presentan diferencias significativas. Deliberadamente se escogieron varios pares de materiales cercanos con la intención de valorar las diferencias de capacidad de segregación de ambos impactadores, tanto a gran escala como para pequeñas diferencias.

Los ensayos se realizaron desde tres alturas de caída: 4 , 6 y 8 cm , para cada combinación de material y altura se hicieron 20 repeticiones; en la 'versión 1.0' se utilizó una frecuencia de muestreo de 10 kHz y en la 'versión 2.0' de 30 kHz . Además de estos materiales, se utilizó un par de esferas de goma de diferente firmeza ('esfera naranja' o 'pelota I' y 'esfera amarilla' o 'pelota II') como referencias en la evaluación metrológica. Para caracterizar ambas esferas se llevó a cabo un ensayo de compresión con bola en una máquina universal de ensayos ('Texture Analyzer'); se aplicó una deformación de $2,5\text{ mm}$ y se hicieron 5 repeticiones en cada una de las esferas. Las medias de los valores del

parámetro fuerza/deformación fueron 4,6 N/mm para la ‘esfera amarilla’ y 22,8 N/mm para la ‘esfera naranja’

3. Resultados

En las Tablas 3 y 4 se recoge la media de la aceleración máxima y la desviación típica de las 20 repeticiones para cada combinación de material y altura de caída. Las desviaciones típicas pueden considerarse una determinación de la precisión del sensor de impacto.

Las desviaciones típicas son significativamente menores en la ‘versión 2.0’, proporcionando una mayor precisión que la ‘versión 1.0’. Sin embargo, en el Material V la variabilidad es mayor que en el resto de los materiales tanto con la ‘versión 1.0’ como con la ‘versión 2.0’, especialmente en ésta última: este material de 0,6 cm de grosor precisa un tiempo de recuperación mayor que el resto, por lo que en impactos sucesivos el indentador del impactador estuvo golpeando la mesa sobre la que descansaban los materiales del ensayo; este efecto es más acusado cuando el ensayo se realiza desde una altura de 8 cm.

Se debe señalar que existe discrepancia entre los valores absolutos de la aceleración medidos por las dos versiones (falta de reproducibilidad); esto puede explicarse por los diferentes métodos de calibración empleados en la ‘versión 1.0’ y en la ‘versión 2.0’.

Para posteriores estudios de la metrología de la nueva versión del impactador se usarán las dos esferas de goma empleadas en estos ensayos como referencia (Tablas 3 y 4).

En la Figura 3 se aprecia como la discriminación entre los materiales VII y VIII, que presentan ligeras diferencias en su firmeza, es más clara en la ‘versión 2.0’. El parámetro estadístico que permite comparar la capacidad de segregación de ambos instrumentos es $\frac{\Delta x}{\sigma}$. Este parámetro estadístico presenta el valor de 18.7 en el impactador ‘versión 2.0’ y 8.7 en la ‘versión 1.0’ cuando se estudia la segregación entre el material VII y el material VIII. La Figura 2 presenta una información similar para otros materiales ensayados.

4. Conclusiones y discusión

El nuevo sistema electrónico externo de la ‘versión 2.0’ aumenta la resolución hasta 12 bits (0,0625 g). La precisión del impactador ‘versión 2.0’ es mayor que la de prototipos anteriores: la media de las desviaciones típicas es 0,52 g en la ‘versión 1.0’ y 0,34 g en la ‘versión 2.0’.

El nuevo programa de manejo del impactador proporciona al usuario un modo fácil y rápido de conducir y controlar el proceso de medida a través de barras de herramientas y pantallas de configuración de la tarjeta de adquisición de datos. En tiempo real el usuario obtiene en el monitor información sobre la aceleración, la velocidad, la deformación y la energía; simultáneamente el sistema está grabando los datos originales del impacto.

En estos ensayos se han observado diferencias en los valores absolutos de los parámetros medidos por ambas versiones, por lo que es necesario mejorar la

reproducibilidad de los instrumentos. Ha de definirse un procedimiento de calibración para ser empleado en todas las réplicas del prototipo impactador que se fabriquen con el objeto de obtener una buena reproducibilidad. Existe también la necesidad de encontrar y utilizar materiales de referencia certificados como referencias para la determinación de la precisión y exactitud de las medidas.

5. Referencias

Agulheiro, A.C., Ruiz-Altisent, M. 1994. Impact testing in melon (*Cucumis melo*, L.) Monograph: Fruit, nut and vegetables production engineering. Ed. F. Juste. INIA.Madrid, 1994

Barreiro, P., 1994. PhD. Thesis: Modelos para la simulación de daños mecánicos, y desarrollo de un algoritmo de evaluación de maquinaria para los principales cultivares de albaricoque, manzana, melocotón y pera. ('Simulation models of mechanical damage and the development of an algorithm to evaluate handling equipment, for selected cultivars of apricot, apple, peach and pear').UPM.Madrid, 1994.

Chen, P., Tang S., Chen S. 1985. Instrument for testing the response of fruit to impact. American Society of Agricultural Engineers Paper Number 75-3537

Chen, P., Ruiz-Altisent M. , Barreiro P. 1996. Effects of impacting mass on firmness sensing of fruits. Transactions of the ASAE 39(3):1019-1023

Chen, P., Ruiz-Altisent, M. 1996. A low-mass impact sensor for on-line firmness sensing of fruits. Paper 96-F-003. Presented at AgEng96, Madrid, Spain. Sept. 22-26, 1996

Chen, P., Tjan Y. 1998. A real-time impact sensing system for on-line firmness sensing of fruits. Paper 98-F-006. Presented at AgEng98, Oslo

Delwiche, M.J., Sarig, Y. 1989. A probe impact sensor for fruit texture measurement. Presented at American Society of Agricultural Engineers. New Orleans, 1989

Delwiche, M.J., Arévalo H., Mechlschau J. 1996. Second generation impact force response fruit firmness sorter. Transactions of the ASAE 39(3):1025-1033

Jarén, C., Ruiz-Altisent, M. 1992. Sensing physical stage of fruits by their response to non-destructive impacts. UPSALA, 1992

Ortiz, C., 1999. PhD. Thesis: Sistemas instrumentales de detección y cuantificación de la lanosidad en melocotón.('Instrumental systems to detect and quantify the wooliness in peach') Madrid, 1999

Steinmetz, V., Crochon M., Bellon-Maurel, V., García Fernández, J.L., Barreiro, P., Verstrecken, L. 1996. Sensors for fruit firmness assessment: comparison and fusion. Journal of Agricultural Engineering Research, 64(1), 15 –28

Anexos

Tabla 1. Rangos de los valores típicos de aceleración en los ensayos de impacto para frutas de hueso y de pepita (Barreiro, 1994) obtenidos con el impactador vertical con una altura de caída de 4-10 cm para melocotón y albaricoque y 10-20 cm para pera y manzana.

Fruta	Variedad	Valor de máxima aceleración (g)
Albaricoque	Búlida	16-73
	Canino	10-62
Manzana	Golden	24-46
	GrannySmith	67-102
Melocotón	Maycrest	20-88
	Springtime	18-68
Pera	Conferencia	40-120
	Decana	45-105

Tabla 2. Valores de aceleración obtenidos impactando 8 materiales de amortiguamiento, colocados en una mesa desde una altura de 4 cm ('versión 2.0'). Las diferencias entre ambas frecuencias de muestreo no son significativas

Materiales de amortiguamiento (grosor)	Valor de aceleración máxima (g) Valores medios, n=26 (10 – 20 kHz)
Material I (4 cm)	15.7-15.5 ns
Material II (2 cm)	20.1-20.0 ns
Material III (1 cm)	37.4-37.8 ns
Material IV (0.5 cm)	49.2-49.1 ns
Material V (0.5 cm)	46.5-47.0 ns
Material VI (0.6 cm)	58.4-57.4 ns
Material VII (0.3 cm)	84.8-85.6 ns
Material VIII (0.4 cm)	76.2-76.7 ns

Tabla 3. Medias y desviaciones típicas de la aceleración máxima registrada en los impactos realizados con 'versión 1.0' desde tres alturas (4, 6 y 8 cm); 20 repeticiones. La elevada variabilidad del Material V se explica en el texto.

'Versión 1.0'	Ac. máxima (g) (4 cm) n=20		Ac. máxima (g) (6 cm) n=20		Ac. máxima (g) (8cm) n=20	
	Media	Desviación típica	Media	Desviación típica	Media	Desviación típica
Material I	9.04	0	12.37	0.25	14.8	0.34
Material II	13.11	0.56	17.01	0.68	20.57	0.69
Material III	27.69	0.579	35.03	0.366	41.98	0.41
Material IV	35.48	0.56	48.88	0.50	63.39	0.34
Material V	34.8	0.46	49.44	0.88	67.12	1.29
Material VI	37.35	0.25	46.84	0.68	55.43	0.44
Material VII	60.12	0.59	81.98	0.57	105.09	0.73
Material VIII	56.44	0.25	73.45	0.36	90.34	0.77
Referencia I (pelota I)	64.4	0.25	80.34	0.50	95.31	0.55
Referencia II (pelota II)	29.04	0.53	36.95	0.53	44.12	0.77

Tabla 4. Medias y desviaciones típicas de la aceleración máxima registrada en los impactos realizados con 'versión 2.0' desde tres alturas (4, 6 y 8 cm); 20 repeticiones. La elevada variabilidad del Material V se explica en el texto.

'Versión 2.0'	Ac. máxima (g) (4 cm) n=20		Ac. máxima (g) (6 cm) n=20		Ac. máxima (g) (8cm) n=20	
	Media	Desviación típica	Media	Desviación típica	Media	Desviación típica
Material I	3.9	0.10	4.66	0.16	6.26	0.31
Material II	7.66	0.28	9.64	0.14	11.65	0.34
Material III	20.5	0.43	26.52	0.31	32.37	0.51
Material IV	31.28	0.21	44.78	0.28	59.04	0.42
Material V	28.18	0.32	41.47	0.85	53.57	1.91
Material VI	32.04	0.23	39.78	0.25	46.34	0.43
Material VII	54.25	0.17	75.99	0.22	99.43	0.09
Material VIII	51.17	0.15	67.17	0.15	81.83	0.16
Referencia I	58.5	0.32	73.508	0.11	87.87	0.35
Referencia II	23.42	0.12	29.58	0.42	34.61	0.53

Figura 1. Ejemplo de una ventana del programa de control tras haberse producido un impacto

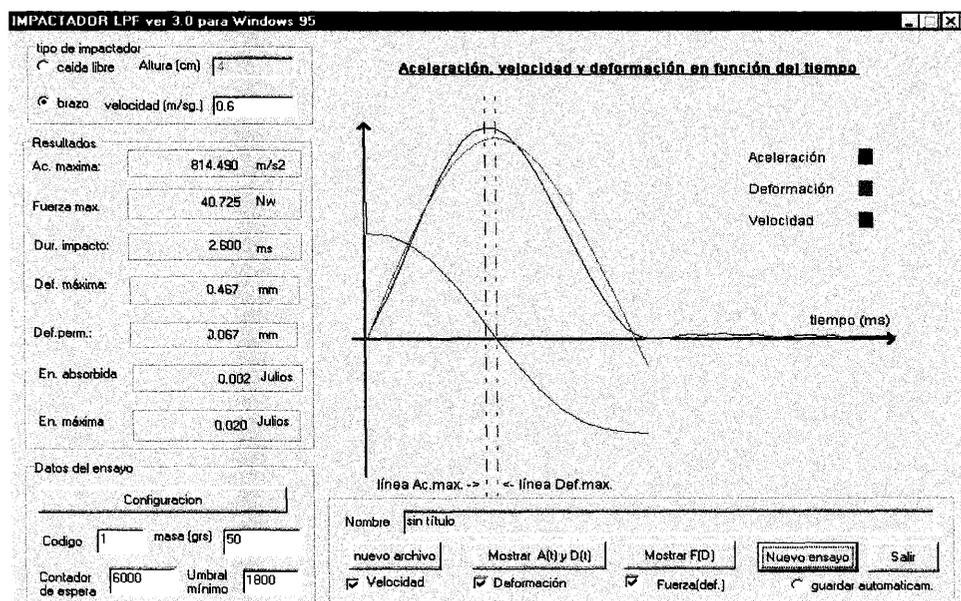


Figura 2. Discriminación entre los Materiales I, II, V, VI, VII y VIII en los ensayos desde 4 cm de altura de caída

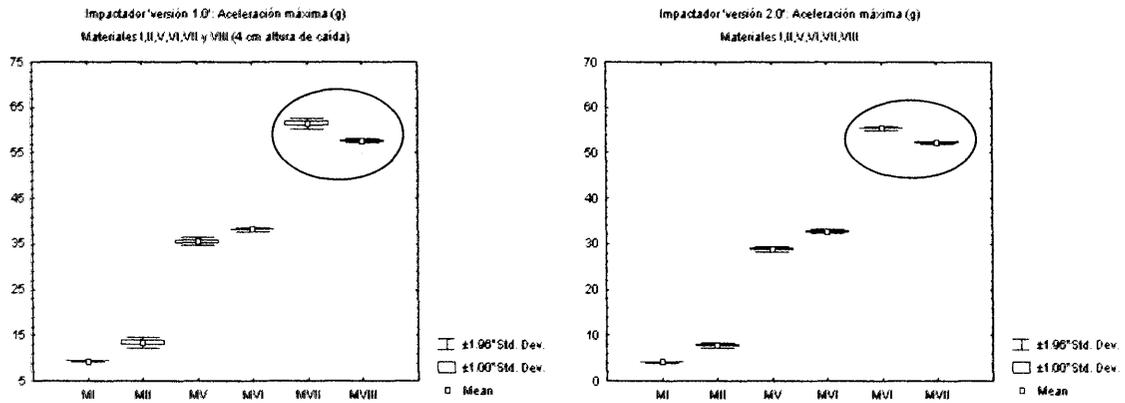


Figura 3. Discriminación entre los Materiales VII y VIII en los ensayos desde 4 cm de altura de caída

