



## TRABAJO PRÁCTICO

### Estudio de la compresión y expansión de gases ideales, en procesos adiabáticos e isotérmicos

#### Objetivos

- Medir la relación entre los calores específicos de un gas ( $\gamma = c_p / c_v$ )
- Medir el trabajo realizado sobre el gas y compararlo con el trabajo teórico, calculado a partir de considerar  $\gamma = 1,4$ .
- Comparar la presión y temperatura finales con los valores predichos por la ley de los gases en procesos adiabáticos.
- Investigar la compresión y expansión isotérmica de un gas.

# Estudio de la compresión y expansión de gases ideales en procesos adiabáticos e isotérmicos

## Equipo Requerido

- Aparato para verificación de las leyes de los gases
- Computadora con interfase
- 1 diskette (que debe traer el alumno)

## Descripción del aparato utilizado

Un pistón (a) de acetato plástico se mueve manualmente hacia arriba y abajo dentro de un cilindro de acrílico (b), el cual puede llenarse con distintos gases. Estos son inyectados y extraídos a través de dos llaves de bronce (c). Montado al costado del pistón hay un divisor lineal de potencial (d), usado para monitorear la posición del pistón y así medir el volumen del gas confinado en el cilindro.

La base de acetato (f) que sella la parte inferior del cilindro tiene dos transductores montados en ella. Sellado contra la superficie inferior de la base hay un transductor de presión de estado sólido. El elemento activo del transductor es un dispositivo piezo-resistivo, el cual forma parte de un circuito puente. Montado en el brazo superior del circuito puente está el sensor de temperatura (g). El elemento activo es un alambre extremadamente fino de níquel el cual tiene un coeficiente de resistencia térmica muy alto. El alambre también tiene una relación superficie-masa muy alta la cual permite que su temperatura cambie muy rápido cuando el gas es comprimido o expandido (sin embargo hay aún un pequeño retardo debido a la inercia térmica del sensor de temperatura).

Una escala milimetrada transparente (h) en el frente del cilindro facilita las mediciones de las posiciones iniciales y finales del pistón. Estas mediciones son necesarias para calibrar el volumen en la adquisición de datos.

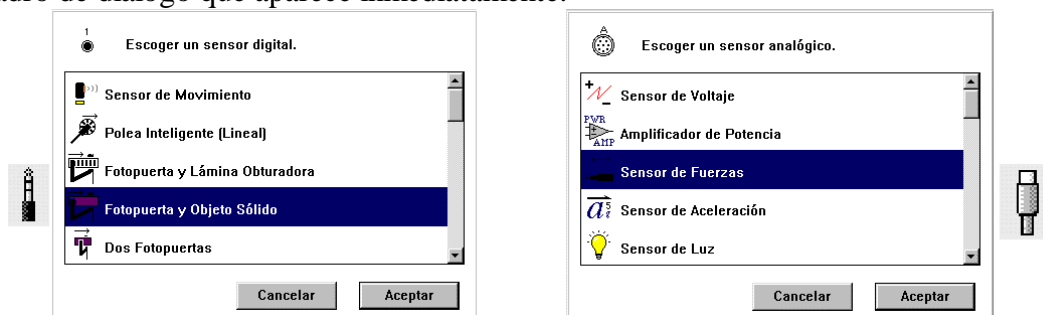
Dos topes removibles (i) son provistos para variar la carrera del pistón, limitando su movimiento. Hay 2 orificios para guardar los topes cuando no se utilizan.

## Conexiones de la Computadora y calibración de los sensores

- Conectar la interfase a la computadora, encenderla y luego encender la computadora.
- Instalar una batería de 9v in el compartimento ubicado en el frente de la caja electrónica y luego poner el indicador en ON para batería. No olvidar de ubicar el indicador en OFF cuando no se usa el aparato. Puede también funcionar con una fuente externa que provea un voltaje estable de DC de no más de 15 volts.
- Conectar al canal analógico A de la interfase, el cable del sensor de volumen que está permanentemente en la base del cilindro.
- Los otros dos cables adaptadores, que se conectan por un lado en la parte posterior de la caja electrónica y por el otro extremo a los canales B y C de la interfase son los sensores de temperatura y presión.



- Para conectar los sensores, haga clic sobre el icono del conector analógico, arrástrelo y luego suéltelo sobre un canal de entrada en la imagen de la interfase. Seleccione un sensor en el cuadro de diálogo que aparece inmediatamente.



En el canal A, se conecta el sensor de volumen, y se elige del cuadro de diálogo "sensor de voltaje".

En el canal B, se conecta el sensor de temperatura, y se elige del cuadro de diálogo "sensor de temperatura".

En el canal C, se conecta el sensor de presión, y se elige del cuadro de diálogo "sensor de presión absoluta".

## Calibración de los sensores de salida

El aparato trae una tarjeta con la información necesaria para interpretar el voltaje de salida de los sensores de presión, volumen y temperatura.

Para calibrar los sensores se hace doble clic sobre el icono que está debajo de cada canal analógico, y aparece un cuadro de diálogo.

**Canal A: Volumen:** En el cuadro de diálogo escribir "Volumen" y en unidades " $\text{cm}^3$ " Llevar el pistón a la posición superior (aproximadamente 15,5 cm) y apretar <enter> (READ) cuando la

lectura esté estabilizada. Introduzca el volumen correspondiente a la lectura de acuerdo a la ecuación y a los siguientes datos suministrados por el fabricante

diámetro exterior del pistón: 4,45 cm

Diámetro interior del pistón  $d = 4,418$  cm

Volumen =  $\pi (d^2/4) h = (15,33 \text{ cm}^2) h$

Luego lleve el pistón a la posición inferior y entre el otro punto de calibración.

**NOTA:** Hay un error menor en las mediciones del volumen causada por el gas residual en la abertura de la llave. Para contemplarlo, sume 1centímetro cúbico a todo el volumen o 0,06 cm al desplazamiento del pistón.

**Canal B Temperatura:** El sensor de temperatura ha sido calibrado por el fabricante de acuerdo a la siguiente ecuación de calibración.

$$T_K = 34,917 V_t + 298,361,$$

donde  $V_t$  es la tensión.

Para realizar la calibración, lea la tensión cuando el pistón está en su punto más alto y calcule la temperatura utilizando la ecuación de calibración, para la lectura menor. Luego presurice el sistema y rápidamente presione <enter> para obtener la lectura mayor, entonces use la ecuación de calibración nuevamente para obtener el segundo punto.

**Canal C Presión:** El sensor de presión ha sido calibrado por el fabricante de modo tal que el voltaje de salida es de 1,00V para una presión absoluta de 100kPa. Es decir

$$P_{\text{kPa}} = 100V_p$$


Lleve el pistón a la posición superior y cuando la lectura se estabilice presione <enter>. La presión en Pascal es 100 veces el voltaje desde el aparato, introduzca ese valor. Asegúrese que las llaves estén cerradas y mueva el pistón a la posición inferior. Cuando la lectura se haya estabilizado presione <enter> e introduzca el nuevo valor.

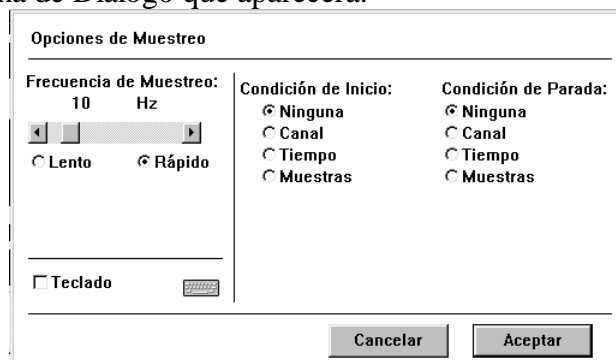
Datos para tener en cuenta:  $1\text{atm} = 101,3 \text{ kPa} = 1,013 \text{ bar} = 76 \text{ cm Hg} = 1,013 \times 10^5 \text{ N/ m}^2$

**Nota:** La respuesta temporal de los transductores de presión y volumen son despreciables. Sin embargo la inevitable inercia térmica del sensor de temperatura causa mediciones de temperatura con un retraso de 30-50 ms.

## Toma de Datos

Para realizar una medición

- Antes de iniciar la toma de los datos debe ajustar la frecuencia de muestreo. Para ello haga clic en el botón Opciones  en la Ventana de Preparación, y elija la opción deseada en la Ventana de Diálogo que aparecerá.





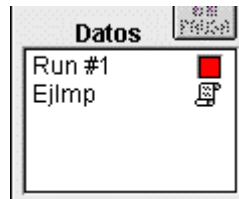
Opciones de Muestreo

| Frecuencia de Muestreo:   | Condición de Inicio:                     | Condición de Parada:                     |
|---|--|--|
| 10 Hz   | <input checked="" type="radio"/> Ninguna | <input checked="" type="radio"/> Ninguna |
| <input type="radio"/> Lento <input checked="" type="radio"/> Rápido | <input type="radio"/> Canal              | <input type="radio"/> Canal              |
|   | <input type="radio"/> Tiempo             | <input type="radio"/> Tiempo             |
|   | <input type="radio"/> Muestras           | <input type="radio"/> Muestras           |

Teclado

Cancelar Aceptar

- Cuando esté listo para comenzar el experimento, presione el botón GRABAR  , para empezar a registrar los datos
- Haga clic en el botón ALTO  cuando haya terminado de recoger los datos deseados.
- Los datos recolectados mediante la grabación mostrarán una leyenda de color junto al número de secuencia de datos (run 1).



## Realización del experimento

A medida que el gas es comprimido o expandido los sensores miden presión, volumen y temperatura simultáneamente. Si esta compresión se hace rápidamente el proceso será aproximadamente adiabático, mientras que si se realiza lentamente será isotérmico.

### Compresión adiabática del gas

- Llene el cilindro hasta el máximo desplazamiento con aire a presión atmosférica, luego cierre la llave.
- Comprima rápidamente el gas para realizar un proceso adiabático y tome los datos como se indica en el punto anterior.
- Construya para cada toma de datos una tabla con los valores de P, V y T. Grabe la tabla en un diskette.
- Con los datos recolectados
  1. Determine la presión, volumen y temperatura final del sistema.
  2. Grafique P vs. V y P vs. T.
  3. En la gráfica P vs. V, realice la integración numérica (W).
  4. Grafique log de P vs. log de V y calcule  $\gamma$  para el aire.
  5. Compare con los resultados teóricos. Para ello considere al aire como un gas diatómico ideal, es decir tome el valor  $\gamma_{\text{aire}} = 1,4$ . ¿Por qué es posible esta aproximación?
- Repita dos veces más la experiencia con el recorrido máximo del pistón.
- Repita tres veces el experimento con el recorrido corto.

### Expansión adiabática del gas

- Asegure el pie del aparato a la mesa
- Llene el cilindro hasta el máximo desplazamiento con aire a la presión atmosférica.
- Cierre la llave y comprima el gas.
- Espere hasta que se haya logrado el equilibrio (aproximadamente 30 seg.) y luego expanda muy rápidamente todo el gas y tome los datos como se indica en el punto anterior
- Con los datos recolectados (grabarlos en un diskette), realice los puntos del 1 al 6
- Repita dos veces más la experiencia con el recorrido máximo del pistón.
- Repita tres veces el experimento con el recorrido corto.

### Compresión Isotérmica del gas

- Llene el cilindro hasta el máximo desplazamiento con aire a presión atmosférica, luego cierre la llave.
- Comprima lentamente el gas para realizar un proceso isotérmico y tome los datos como se indica en el punto anterior
- Con los datos recolectados (grabarlos en un diskette)
  1. De la tabla de datos, obtenga la presión, volumen y temperatura a lo largo del proceso y verifique la ley de Boyle y Mariotte
  2. Grafique P vs. V
  3. Grafique P vs. T
  4. Calcule el trabajo por integración numérica y compárelo con los resultados teóricos.
- Repita dos veces más la experiencia con el recorrido máximo del pistón.
- Repita tres veces el experimento con el recorrido corto.

### **Expansión isotérmica del gas**

- Asegure el pie del aparato a la mesa
- Llene el cilindro hasta el máximo desplazamiento con aire a la presión atmosférica.
- Cierre la llave y comprima el gas.
- Espere hasta que se haya logrado el equilibrio (aproximadamente 30 seg.) y luego expanda muy lentamente todo el gas. y tome los datos como se indica en el punto anterior
- Con los datos recolectados, realice los puntos del 1 al 4.
- Repita dos veces más la experiencia con el recorrido máximo del pistón.
- Repita tres veces el experimento con el recorrido corto.

Dé todos los resultados con sus correspondientes errores, sabiendo que los errores de la interfase son en las

- Mediciones de Voltaje  $\pm 15$  mV
- Mediciones de temperatura  $\pm 2$ K
- Mediciones de presión  $\pm 2$  kPa

### **Cuestiones**

- Cuales de las mediciones realizadas para determinar el  $\gamma$  del aire da a su parecer mejores resultados. ¿Porqué?
- Analice los resultados obtenidos, compárelos con los teóricos. De sus conclusiones.

## Notas para el Docente

- Que pasa con la reversibilidad?
- Dice el manual que cuando se usa la máxima relación de compresión los resultados no son buenos
- $1\text{ m}^3$  de aire contiene  $790\text{ dm}^3$  de  $\text{N}_2$  y  $210\text{ dm}^3$  de  $\text{O}_2$   
 $\gamma_{\text{aire}} = 1,396$  (Temperatura ambiente)  
Zemansky : aire (impuro y húmedo) = 1,390 y 1,373.- Medido por dos métodos diferentes.
- Como se seleccionan solo algunas mediciones?

Para muchos cálculos sólo se necesitan el volumen final e inicial. Estos pueden ser determinados leyendo la escala transparente ubicada en el frente del cilindro que indica el desplazamiento del pistón que cuando lo multiplicamos por el área de la base del cilindro nos da el volumen. Ya que en algunos cálculos solo se necesita el cociente entre los volúmenes se pueden utilizar directamente el cociente entre los desplazamientos.

La ecuación de calibración supone una relación lineal la cual es aproximadamente correcta. Son provistos tres puntos de calibración de modo que se pueden mejorar las mediciones un poco ajustando una curva a los puntos.

$$(2,923 ; 348,90) \quad (1,273 ; 346,40) \quad (0,056 ; 298,25)$$
$$\text{Corr: } 0,4981$$

$$T_K = 34,917 V_t + 298,361,$$
$$T_K = 34,917 (2,923) + 298,361 = 400,42$$
$$T_K = 34,917 (1,273) + 298,361 = 342,81$$
$$T_K = 34,917 (0,056) + 298,361 = 300,32$$

$$\text{Error en } V = 15 \text{ mV} \quad \Delta V = 30 \text{ mV} \quad \Delta T = 34,917 * 0,030 = 1,05$$

**Nota:** Cuando se comprime el gas, se hace trabajo disipativo debido a la fricción del cilindro con el pistón, pero la parte del cilindro que aumenta su temperatura no está en contacto con el gas. Sin embargo cuando expandimos el gas la parte del cilindro que aumenta su temperatura debida al rozamiento está en contacto con el gas. Por esta razón los datos obtenidos durante la expansión no son cuantitativamente buenos.

- Muestreo entre 75 y 100
- Como se eliminan los valores de los extremos de los datos tomados?

# Apéndice

## Uso de la calculadora

La Calculadora se puede utilizar para realizar cálculos basados en los datos ingresados. Por ejemplo si utiliza un sensor de movimientos para medir el movimiento de un carrito dinámico, puede usar la Calculadora para crear el cálculo de su momentum (cantidad de movimiento), o su energía cinética. Los cálculos creados serán presentados en Gráficos, Tablas, medidores Digitales o Analógicos como si fueran una entrada más.



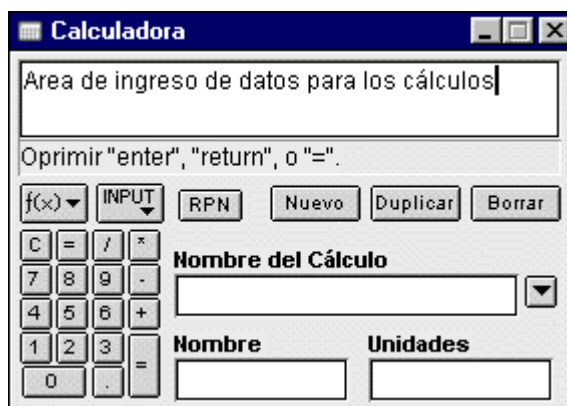
Para crear un cálculo, haga clic en el botón de la Calculadora en la ventana de Cofiguración de Experimentos: se abrirá la ventana de la calculadora.

La ventana de 'Calculadora' incluye los siguientes componentes:

- Menú con teclas de números y operadores algebraicos (similares a los del teclado de una calculadora)
- Botón de Menú de Funciones
- Botón de Menú de Entradas
- Area de presentación de cálculos
- Botón de Notación Polaca Invertida
- Botón de nuevo cálculo
- Botón de Borrado
- Area de texto 'Nombre del Cálculo'
- Botón de Menú de cálculo (un pequeño triángulo apuntado hacia abajo).
- Area de texto 'Nombre' (abreviado)
- Area de texto 'Unidades'

### Ventana 'Calculadora'

El área de presentación de cálculos arriba del teclado es donde el cálculo se puede ver y donde se va formulando. Por ejemplo, usted puede usar este área para ingresar valores (tales como la masa de un carrito dinámico o deslizador) como parte de un cálculo. Seleccione los valores y los operadores desde el menú o ingréselos desde el teclado. Puede usar los comandos típicos de edición de textos (por ej. Cortar, Copiar, Pegar) para los valores y operadores en todas las áreas de texto de la ventana de la Calculadora.



### Partes de la Calculadora

#### Menú de Funciones "f(x)"

El menú de funciones "f(x)" le permite seleccionar entre tres listas de funciones (Estándar, Estadísticas, y Especiales). Cuando hace una selección en el menú de funciones la función se ingresa automáticamente en el área de presentación de la calculadora donde quiera que el cursor de inserción se encuentre. La variable "x" en la función se volverá la parte marcada del campo de expresiones, ya que usted querrá que "x" sea un valor real.

#### Funciones Estándar

Las funciones estándar se muestran en la siguiente tabla.



| Nombre de la función | Descripción                           |
|----------------------|---------------------------------------|
| Seno(x)              | Seno del valor x                      |
| Coseno(x)            | Coseno del valor x                    |
| Tangente(x)          | Tangente del valor x                  |
| Exp(x)               | "e" elevado a la potencia x ( $e^x$ ) |
| ln(x)                | logaritmo natural del valor x         |
| log(x)               | logaritmo en base 10 del valor x      |
| Sqrt(x)              | raíz cuadrada del valor de x          |
| Pow(x,n)             | "x" elevado a la potencia n ( $x^n$ ) |
| abs(x)               | valor absoluto de x                   |
| Pi                   | 3.14159...                            |

Haga clic en el botón 'Menú de Funciones' . Mueva el cursor hacia la derecha para abrir el submenú de funciones **Estándar**.

### Funciones Estadísticas

Las funciones Estadísticas se muestran en la siguiente tabla.

| Nombre de la función | Descripción                   |
|----------------------|-------------------------------|
| Mínimo(x)            | mínimo valor de x             |
| Máximo(x)            | máximo valor de x             |
| Promedio(x)          | valor promedio de x           |
| DesvEst(x)           | desviación estándar de x      |
| Cuentas(x)           | número de valores de x        |
| Sumas(x)             | sumatoria de los valores de x |

Haga clic en el botón 'Menú de Funciones'. Mueva el cursor hacia la derecha para abrir el submenú de funciones **Estadísticas**.


### Funciones Especiales

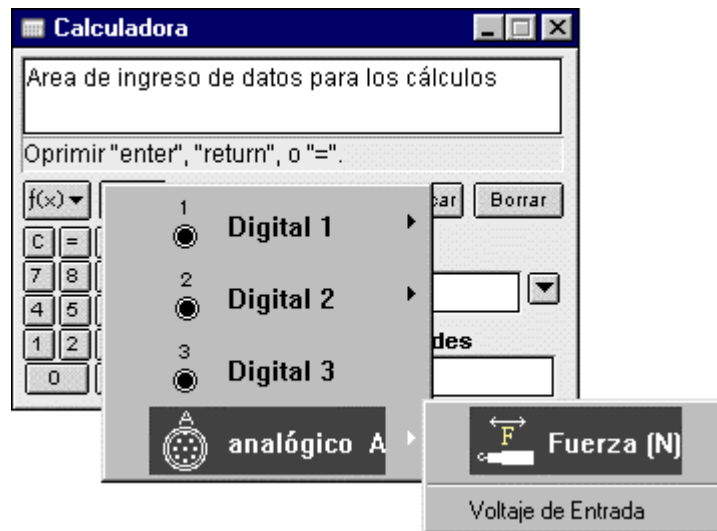
El menú de funciones Especiales se muestran en la siguiente tabla:

| Nombre de la función   | Descripción   |
|------------------------|---|
| Integral(x)            | valor de la integral de una función continua                      |
| Derivada(n,x)          | derivada de una función continua sobre un intervalo de "n" puntos |
| Alisar(x)              | aplica un alisado promedio de "n" puntos a una función            |
| Cuando (x)             | momento en que ocurrió el valor "x"                               |
| Ultimo(n, x)           | accede a los últimos "n" valores de x                             |
| Período(L1,R1,L2,R2,x) | si x sigue a una función periódica devuelve su período            |
|                        |   |

### El Botón INPUT

El menú de entrada le permitirá seleccionar la fuente de datos que será la base para los cálculos. Este menú es idéntico al menú ENTRADA en las ventanas Gráficos, Tabala, Digital y Analógico. Este menú muestra una lista de sensores que están conectados la interfaz, y submenús de cálculos de cada sensor en particular.

Haga clic en el botón del menú ENTRADA  para ver dicho menú. En el ejemplo, el menú muestra sensores en los canales digitales 1, 2 y 3 y en el canal analógico A. Hay por lo menos un cálculo disponible. La pequeña flecha en el menú significa que hay un submenú junto a ese ítem.



Cuando selecciona un sensor y un cálculo en el menú ENTRADA, su símbolo aparecerá en el área de muestra de cálculo, sobre el teclado. En el ejemplo, “@A.Force” significa la fuerza medida por el sensor de Fuerza en el Canal A.

El caracter @ le permite a Science Workshop saber que usted se refiere a un canal de entrada.

Note que el Menú ENTRADA también lista los cálculos que usted ya tiene definidos. En este ejemplo el cálculo es “Momento”.

Puede usar un cálculo adentro de otro para simplificar una expresión si fuera necesario. A veces, esto ayuda a disminuir la complejidad de algunas expresiones.

#### Botón RPN

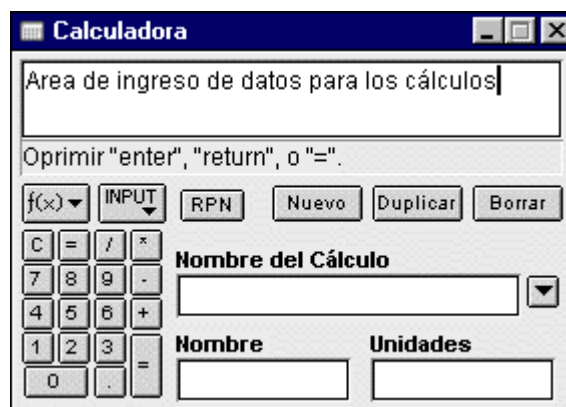
El botón RPN alterna entre la notación algebraica estándar (opción por defecto), y Notación Polaca Invertida (RPN). La notación RPN es popular entre los usuarios de calculadoras Hewlett-Packard. Puede cambiar de una o otra notación en cualquiera de las expresiones que haya ingresado.

#### Botones Nuevo, Borrar y Borrar

El botón Nuevo le permite crear un nuevo cálculo. El botón Duplicar le permite duplicar un cálculo ya existente. El botón Borrar le permite borrar un cálculo ya existente.

#### Nombre del Cálculo, Nombre Corto y Unidades

Cada cálculo requiere un nombre, un nombre corto y una unidad. Por ejemplo, el nombre del cálculo podría ser “Momento”, el nombre corto podría ser una abreviación apropiada, tal como “p”, y la unidad podría ser “kg m/s” o “newton seg”.



- Haga clic en el área de texto Nombre e introduzca una abreviación adecuada tal como InP. Note que el Nombre Corto debe comenzar con una letra, contener sólo letras o dígitos, y no incluir espacios entre las letras o números.
- Haga clic en el área de texto Unidades e introduzca una unidad apropiada o una abreviación.
- Haga clic en el botón 'igual' en el menú o presione <enter> o <return> en el teclado para guardar el cálculo como parte de un documento Science Workshop.
- Abra una pantalla de Gráficos. Haga clic en el botón Add Plot Menú. Seleccione el cálculo desde dicho menú. Para crear una nueva función, haga clic en el botón 'Nuevo'.