

APLICACIÓN PARA SINCRONIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS OBTENIDOS DE PRUEBAS MECÁNICAS

Autores.

Alfredo Alán Rey Calderón.

Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C.

Ave. Miguel de Cervantes #120, Complejo Industrial Chihuahua.

alfredo.rey@cimav.edu.mx

Dr. Alberto Díaz Díaz.

Departamento de Metalurgia e Integridad Estructural.

Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C.

Ave. Miguel de Cervantes #120, Complejo Industrial Chihuahua.

alberto.diaz@cimav.edu.mx

Resumen.

En el presente trabajo se desarrolla una herramienta que permite sincronizar y procesar los datos que se obtienen al realizar pruebas mecánicas en tensión. En estos ensayos se aplican esfuerzos a una probeta mediante una máquina de ensayos universal y las mediciones de deformación se leen por medio de galgas extensiométricas. Estas mediciones son independientes una de la otra. Al iniciar ambas mediciones no se garantiza que el comienzo del ensayo sea en el mismo instante de tiempo; esto ocasiona incertidumbre en la concordancia de los datos recabados, es decir, no hay seguridad en la correspondencia del esfuerzo y la deformación reportados para un mismo instante de tiempo en cada medición. La aplicación desarrollada empata visualmente los esfuerzos aplicados con las deformaciones leídas; esta acción mejora la correspondencia entre ambas mediciones. Al hacer esta sincronización, se grafica el comportamiento esfuerzo contra deformación del material. Al obtener esta curva se procede a calcular el módulo de elasticidad (E) y el coeficiente de Poisson (ν) en un área de interés. Esta aplicación fue desarrollada dentro de las instalaciones del Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV) usando la herramienta Embarcadero RAD Studio Seattle. Mediante esta aplicación se obtienen rápidamente datos sincronizados y procesados para una mejor correspondencia entre los esfuerzos aplicados y las deformaciones provocadas, además que se realiza el cálculo de las constantes E y ν de una forma amigable para el usuario.

Palabras clave. Sincronización de datos, procesamiento, tratamiento, ajuste de curvas, pruebas mecánicas en tensión, comportamiento mecánico, módulo de elasticidad, coeficiente de Poisson.

Introducción.

El laboratorio de Prototipos e Integridad Mecánica del Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV) realiza el servicio de pruebas mecánicas a materiales usando una máquina universal Instron 3382. Las deformaciones se miden mediante el uso de galgas extensiométricas. Esta estancia recomienda el uso de galgas extensiométricas para garantizar que la lectura de las deformaciones sea únicamente del material ensayado. La incertidumbre que existe en las mediciones de deformación leídas por la máquina surge a raíz de que la medición se toma del desplazamiento que tiene el bastidor del cual se sujeta la probeta. Si bien este desplazamiento es reflejo del desplazamiento la probeta, en ocasiones se puede presentar un acomodo del bastidor, que no refleja el desplazamiento de la probeta.

Sin embargo, el interés de obtener mediciones de deformación más precisas involucra ciertos inconvenientes. Los esfuerzos son aplicados por la máquina universal, mientras que las deformaciones son censadas por un software independiente de la máquina. Debido a que no hay comunicación entre la máquina y el software, surge un problema ocasionado al iniciar el ensayo. No existe garantía de que ambas pruebas (aplicación de esfuerzos y medición de deformaciones) se inicien en el mismo instante. Esto ocasiona incertidumbre en las mediciones, pues no se asegura que cierto esfuerzo σ_i en un tiempo t_i de esfuerzos corresponde a la deformación ε_i en el instante t_i de deformaciones; este debido a cierto desfase de tiempo en la iniciación de los ensayos.

Previendo la necesidad de realizar numerosas pruebas experimentales resulta conveniente automatizar un método que realice el ajuste de la curva de comportamiento esfuerzo-deformación y calcule ciertos parámetros de interés.

El presente artículo se desglosa en cuatro secciones. La primera sección, *Operaciones Gráficas*, presenta el mecanismo que se lleva a cabo para sincronizar las mediciones en cierta zona de interés. La segunda sección, *Algoritmos*, presenta los algoritmos involucrados en la tarea de sincronización de las mediciones. La tercera sección, *Aplicación*, detalla el uso de la herramienta que se desarrolló. Por último, la cuarta sección *Discusión y Conclusiones*, presenta una síntesis de los aspectos fundamentales del programa, así como visiones a futuro.

Operaciones gráficas.

Los datos de interés que se obtienen de la máquina universal de ensayos son los esfuerzos aplicados en un instante de tiempo dado. De las galgas extensiométricas se extraen las mediciones de deformación axial y transversal, además del instante de tiempo en el cual se tomó la lectura. Al contar con esta información es posible obtener gráficas de esfuerzo contra tiempo y deformación contra tiempo. Estos gráficos permiten observar la evolución de los esfuerzos y deformaciones en el tiempo. En la Figura 1 se presenta gráficos de mediciones de una prueba mecánica en tensión. En la Figura 1.a se muestra una gráfica de esfuerzo contra tiempo (curva en

color azul) y deformación contra tiempo (curva en color rosa). En la Figura 1.b se muestra una gráfica de esfuerzo contra deformación. La Figura 1.c es un acercamiento de la Figura 1.a al inicio de la prueba. La Figura 1.d es un acercamiento de la Figura 1.a al finalizar la prueba. Se observa que existe un desfase de diez segundos entre la lectura de esfuerzos y deformaciones; esto supone que la lectura de esfuerzos comenzó diez segundos después de iniciar la lectura de la deformaciones, razón por la cual no se registran deformaciones los primeros diez segundos.

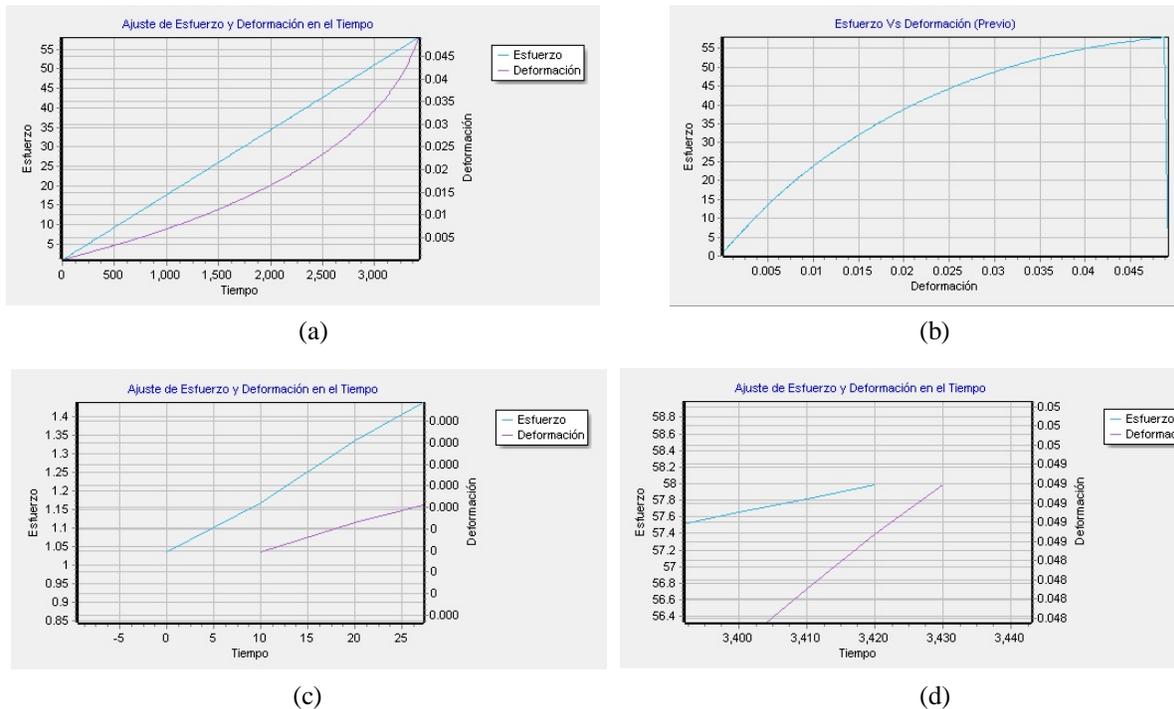


Figura 1. Datos iniciales.

El problema anterior se soluciona al trasladar la curva de deformaciones hacia la izquierda diez segundos. Debido a que el programa considera como referencia la curva de esfuerzos, la curva que se debe trasladar hacia la izquierda o hacia la derecha es la curva de deformaciones. Al hacer esta operación se obtienen nuevas gráficas; este resultado se presenta en la Figura 2. Al observar la Figura 2.a y Figura 2.b pareciera no existir mucha variación, pero al hacer un acercamiento a las curvas de Figura 2.a se puede ver en las Figura 2.c y Figura 2.d que existe una mejor correspondencia entre la aplicación de esfuerzos y las deformaciones presentadas.

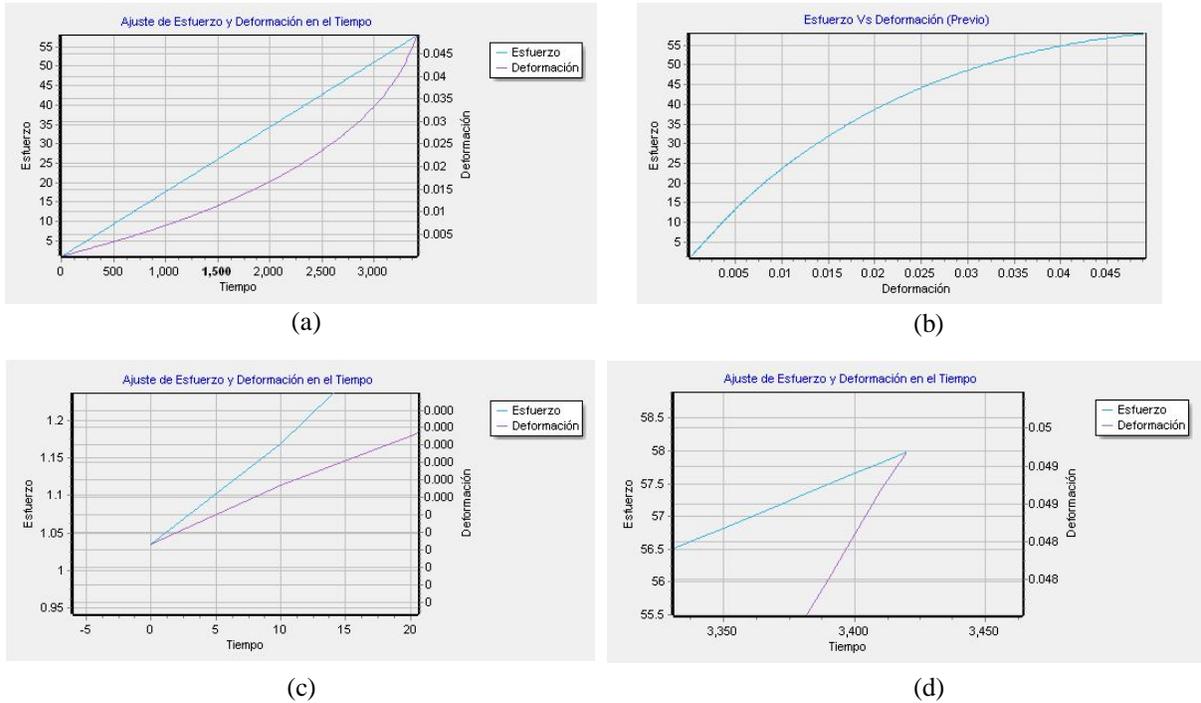


Figura 2. Sincronización de datos.

El desfase es deducido por el usuario de manera visual. El proceso de sincronización es iterativo hasta el momento en que el usuario esté conforme con las gráficas de comportamiento.

Algoritmos.

En la sección anterior se explicó la forma gráfica que la aplicación efectúa una sincronización de tiempos para mejorar la correspondencia entre un esfuerzo aplicado y una deformación provocada. Al hacer este ajuste, los tiempos de las deformaciones difieren de los tiempos de los esfuerzos; de esta manera surge la problemática de que no se conocen las deformaciones que le corresponden a los esfuerzos. También es posible que la velocidad de lectura de esfuerzos difiera de la velocidad de lectura de deformaciones. La sincronización y la posible diferencia de velocidad de lectura de datos implican efectuar una interpolación para obtener valores intermedios entre los datos conocidos. La manera más sencilla de interpolar es uniendo dos puntos con una línea recta (Chapra & Canale, 2007). Esta técnica se llama interpolación lineal y su fórmula es la siguiente:

$$f(x) = f(x_i) + \frac{f(x_{i+1}) - f(x_i)}{x_{i+1} - x_i} (x - x_i) \quad (1)$$

Donde $f(x)$ es la predicción del valor de deformación o esfuerzo en el instante de tiempo x , cuyo valor se encuentra entre los tiempos x_i y x_{i+1} ; $f(x_i)$ y $f(x_{i+1})$ son los valores de deformación o esfuerzo en los instantes de tiempo x_i y x_{i+1} respectivamente.

Una vez obtenida la interpolación de los valores faltantes, es posible graficar la deformación (en el eje de las abscisas) contra el esfuerzo (en el eje de las ordenadas) que lo provoca para cada instante de tiempo. Esta curva representa el comportamiento mecánico del material.

Una vez sincronizados los tiempos, el comportamiento mecánico obtenido tiene una mejor representación de la realidad. A partir de aquí es posible calcular las constantes que describen la zona elástica del material, el módulo de elasticidad (E) y el coeficiente de Poisson (ν). Para obtener estos valores se requiere efectuar una regresión; esta técnica consiste en obtener una función de aproximación que se ajuste a la tendencia general de los datos (Chapra & Canale, 2007). Por tratarse de la zona elástica lo adecuado es ajustar una línea recta al conjunto de las observaciones. El objetivo es encontrar la recta de ecuación:

$$y = ax + b \quad (2)$$

que mejor se aproxime a la serie de datos. De tal manera que:

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}, \quad b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - a \sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3)$$

Además se define el coeficiente de correlación como:

$$r = \sqrt{\frac{E_B - E_r}{E_B}} \quad (4)$$

Dónde:

$$E_B = \sum_{i=1}^n \left(y_i - \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \right)^2, \quad E_r(a,b) = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (ax_i + b - y_i)^2 \quad (5)$$

El coeficiente de correlación predice el grado de ajuste de la recta respecto a las observaciones. En un ajuste perfecto, $E_r = 0$ y $r = 1$, significa que la línea explica el 100 % de variabilidad de los datos. Si $E_r = E_B$, $r = 0$, significa que el ajuste realizado no representa mejora alguna.

Para obtener E , se procede a realizar una regresión lineal de la zona elástica en la curva esfuerzo contra deformación axial. Así, el valor de E corresponde a a calculado. Por otro lado, la obtención de ν proviene de realizar una regresión lineal en la curva de deformación axial contra deformación transversal en el mismo rango de valores utilizados en la obtención de E .

Aplicación.

La ventana que abre la aplicación se muestra en la Figura 3. Antes de comenzar a usarlo, el usuario debe de tener dos archivos de texto con las mediciones correspondientes a una zona de interés para observar el comportamiento mecánico del material. Estos archivos se compondrán de tres columnas cada uno. El archivo de deformaciones contiene los siguientes datos: la primera columna corresponde a los tiempos, la segunda columna corresponde a las deformaciones axiales y la tercera columna contiene las deformaciones transversales. En el caso del archivo de esfuerzos, la primera columna contiene los tiempos, la segunda columna contiene los esfuerzos aplicados, mientras que la tercera columna se conforma de ceros – esto debido a que se creó una sola función que leyera los dos archivos, y dado que para los esfuerzos no se necesitan conocer más datos, se debe crear una tercera columna nula.



Figura 3. Programa desarrollado.

La Figura 4 exhibe un ejemplo ejecutado. En la parte superior de la ventana se observa la sección en la cual el usuario debe adjuntar los dos archivos de texto que contienen los datos de interés. Al dar clic en el botón *Graficar* el programa grafica los datos adjuntados: en la gráfica superior izquierda se grafican esfuerzo contra tiempo (curva azul) y deformación contra tiempo (curva rosa); en la gráfica superior derecha se presenta el comportamiento esfuerzo contra deformación preliminar. Del lado izquierdo se ingresan los datos necesarios para realizar la sincronización de esfuerzos y deformaciones en base a un desfase de tiempo que el usuario determina de forma visual al analizar la primer grafica mencionada. Cada vez que se ingresa un nuevo desfase y se selecciona *Graficar corrección*, se grafican un nuevo ajuste de esfuerzo y deformación en el tiempo y un nuevo previo del comportamiento esfuerzo contra deformación. Este proceso es iterativo hasta que el usuario establece visualmente que la sincronización de datos ha resultado lo más satisfactoria posible.

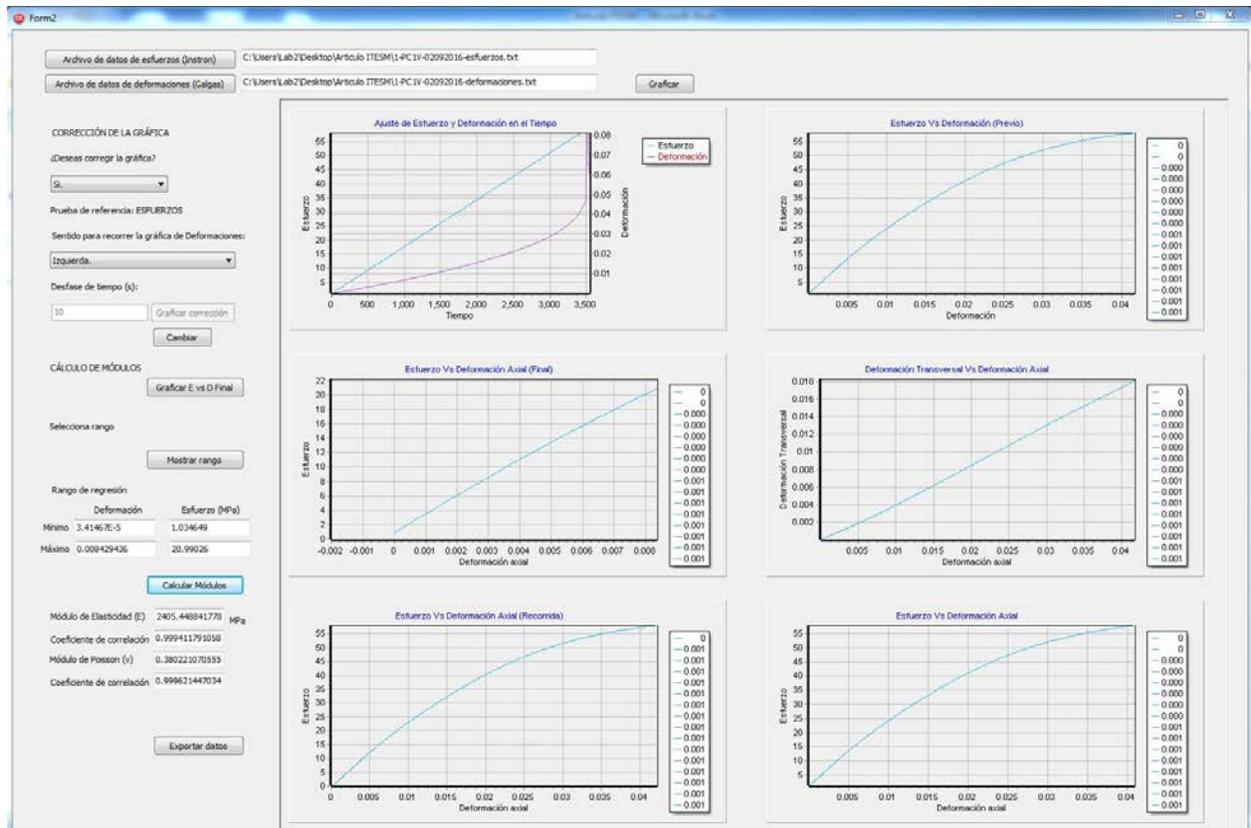


Figura 4. Programa desarrollado en ejecución.

En la gráfica media izquierda se presenta el comportamiento esfuerzo contra deformación final después de la sincronización más apropiada que el usuario determina visualmente. En la gráfica media derecha se exhibe la deformación transversal contra la deformación axial. Después de obtener el ajuste final de las mediciones, se procede a hacer el cálculo de los módulos elásticos. En el gráfico medio izquierdo el usuario determina la zona en la que desee obtener el *módulo de elasticidad* (E) y el *coeficiente de Poisson* (ν); esta región se elige mediante un clic izquierdo para crear una ventana de selección en la zona de interés. Al dar clic en *Mostrar rango* se muestra el límite inferior y superior de esfuerzos y deformaciones axiales que fue seleccionado en la ventana. Haciendo clic en *Calcular Módulos* se realiza el cálculo de E y ν con sus respectivos coeficientes de correlación. Finalmente se presentan dos últimas gráficas; la gráfica inferior izquierda muestra el comportamiento esfuerzo contra deformación axial al recorrer las deformaciones en el eje de las abscisas para iniciar la curva en cero deformación contra cero esfuerzo; esta operación se recorre una deformación que corresponde con cero esfuerzo, calculada a partir de la regresión calculada. La gráfica inferior derecha muestra la curva de esfuerzo contra deformación axial original, es decir, sin realizar el corrimiento.

La Figura 5 muestra el comportamiento esfuerzo contra deformación axial obtenida al recorrer las deformaciones en el eje horizontal para iniciar la curva en cero deformación contra

cero esfuerzo. Por otra parte, en la Figura 6 se exhibe la curva esfuerzo contra deformación axial original sin recorrer las deformaciones axiales.

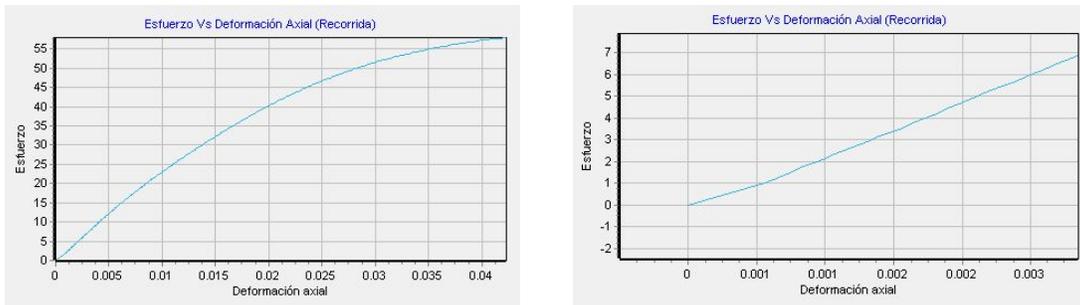


Figura 5. Gráfica de comportamiento recorrida.

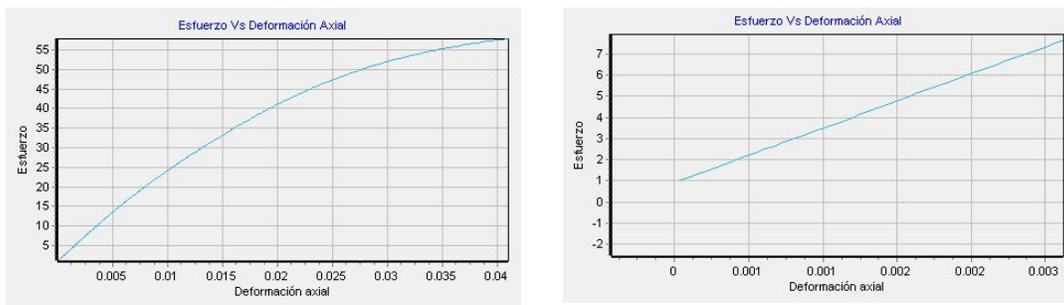


Figura 6. Gráfica de comportamiento original.

El ejemplo mostrado se efectuó con datos de una prueba de tensión a una probeta de policarbonato Makrolon GP. La sincronización se realizó desplazando la curva deformación contra tiempo hacia la izquierda un desfase de diez segundos. El rango seleccionado para efectuar el cálculo de E y ν fue: esfuerzo mínimo = 1.03 MPa, deformación axial mínima = 0.00003, esfuerzo máximo = 20.99 MPa, deformación máxima = 0.00843. La Tabla 1 presenta una comparación entre las constantes calculadas y las proporcionadas por el proveedor del material.

Tabla 1. Comparación de constantes elásticas.

<i>Propiedad</i>	<i>Prueba realizada</i>	<i>Especificaciones técnicas (Product Center Sheets Covestro)</i>
E (MPa)	2405 (Coeficiente de correlación = 0.999)	2344
ν	0.38 (Coeficiente de correlación = 0.999)	0.38

Discusión y conclusiones.

La interpolación se implementó para solucionar dos situaciones. Al momento de hacer la sincronización de las mediciones se obtienen nuevos tiempos en los que no se conocen uno u otro valor. El otro posible caso se presenta cuando la velocidad de lectura de esfuerzos difiere de la velocidad de lectura de las deformaciones; por ejemplo, la medición del esfuerzo aplicado se hace cada 20 segundos, mientras que las deformaciones se leen cada 25 segundos, ocasionando que no se conozca exactamente la deformación que es provocada por cierto esfuerzo.

Las constantes calculadas mediante la herramienta desarrollada tienen una buena aproximación respecto a las propiedades típicas reportadas por el proveedor del material. Esta comparación demuestra que las operaciones implementadas son correctas.

Anteriormente se explicó la forma en que se obtienen los parámetros E y ν en el programa desarrollado. Eventualmente se prevé implementar el cálculo del *esfuerzo de cedencia*. Este esfuerzo divide los comportamientos elástico y plástico del material. En algunos materiales, el esfuerzo en el cual se da el cambio de un comportamiento elástico a uno plástico no se detecta fácilmente. Cuando sucede esto, se determina un *esfuerzo de cedencia convencional* (ver Figura 7). Para hacer este cálculo se deberá trazar una línea paralela a la línea de proporcionalidad elástica (regresión realizada) pero desplazada a un 0.2% (0.002 mm/mm) de deformación. El esfuerzo de cedencia convencional de 0.2% es el esfuerzo en el cual la línea mencionada interseca la curva esfuerzo-deformación (Askeland, 1998).

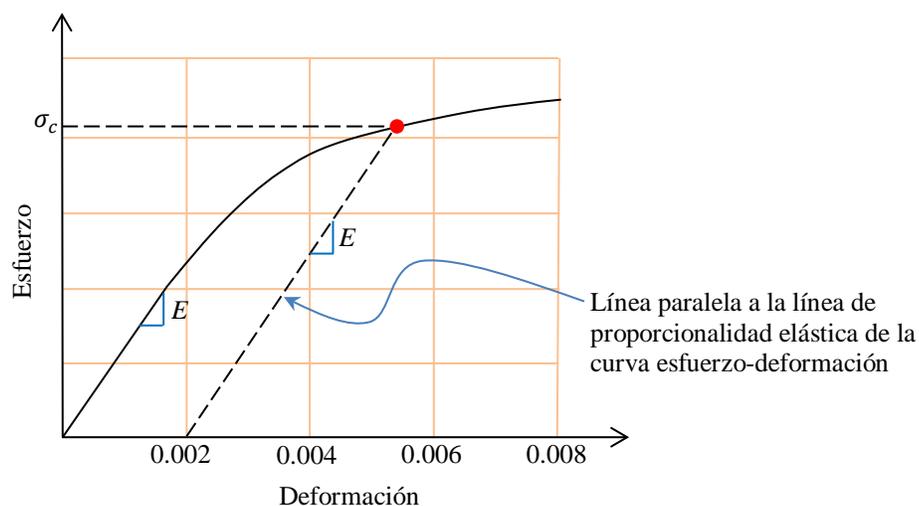


Figura 7. Determinación del esfuerzo de cedencia convencional.

Se desarrolló una herramienta sencilla que permite realizar una sincronización entre esfuerzos y deformaciones respecto al tiempo para establecer una concordancia de las mediciones. El programa únicamente hace el cálculo de las constantes elásticas E y ν , además de una corrección considerando la proporcionalidad elástica. Resulta interesante implementar en un futuro el cálculo del esfuerzo de cedencia σ_c .

Únicamente se consideran pruebas en tensión. Para implementar el uso en pruebas de compresión se deberán hacer ajustes en el programa. El programa se encuentra disponible para quien desee utilizarlo con fines académicos.

BIBLIOGRAFÍA

Askeland, D. (1998). Ciencia e ingeniería de los materiales (3ra Edición ed.). México: International Thomson Editores.

Chapra, S., & Canale, R. (2007). Métodos numéricos para ingenieros (5ta Edición ed.). México: McGraw Hill Interamericana Editores.

Product Center Sheets Covestro. (s.f.). Recuperado el 8 de septiembre de 2016, de <http://www.sheets.covestro.com/Product-Repository/Makrolon-GP/ProductList/201509161114/Makrolon-GP.aspx?region=8AFF11D2344143BCA7C2817A7A923E33&panel=datasheet>.