

INSTRUMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA UNIVERSAL DE PRUEBAS BALDWIN.

Mancilla Alonso Humberto, Macedo Chagolla Fernando, Cruz Galván Diego.
Facultad de Estudios Superiores Aragón, Universidad Nacional Autónoma de México,
Rancho Seco S/N Col. Impulsora, Nezahualcoyotl, Estado de México C.P.: 57130
humberto_6@hotmail.com

RESUMEN.

El propósito del proyecto es, medir y mostrar por medio de dispositivos electrónicos, las variaciones de fuerza y desplazamiento que se presentan en una probeta sometida a una fuerza de tracción o compresión. El desarrollo del proyecto se realizó planteando una metodología para el éxito del proyecto, el primer paso que se realizó fue la identificación de variables y rangos de medición, para la selección de los sensores, una vez seleccionados e instalados, se implementó una etapa de acondicionamiento para las señales producidas, por último se adquieren y se manipulan las señales para generar un gráfico y un reporte con los datos de fuerza e incremento de la longitud inicial.

ABSTRACT.

The object of this project is to measure and show by means of electronic devices, the corresponding variables of force and displacement which are present in a specimen that it was subjected to compression or tensile force. In order of develop the project successfully a method was created. The first step was to identify variables and measurement ranges, to select the sensors; once they were selected and installed, the conditioning stage was implemented for the signals to be produced. Finally we acquired and manipulated the signals to generate a chart and a report with the respective data of the force and displacement that occurred in the specimen.

NOMENCLATURA.

DAQ: Adquisición de datos.
 Δl = Incremento de la longitud.
 l_i = Longitud instantánea.
 l_0 = longitud original.
PCIe = Interconexión de Componentes Periféricos express.
V = Volts.
mV = Milivolts.
mm = Milímetros.
FS = Rango completo.
ASM = Automatic Sensor Messtechnik.
ks/s = Kilo samples por segundo.
 V_o = Voltaje de salida.
S = Sensibilidad del sensor.
 V_c = Voltaje de alimentación.
d = Distancia recorrida en el sensor.
VI = Instrumento virtual.

INTRODUCCIÓN.

Dentro del laboratorio del área de ingeniería civil de la FES Aragón, se cuenta con una máquina universal de pruebas de la marca Baldwin, esta máquina tiene una capacidad de fuerza de 200 toneladas (1.962 MN), por lo que se pueden realizar pruebas no solo para fines académicos, esta máquina tiene la capacidad de realizar pruebas a nivel industrial, con esto se pueden interactuar con la iniciativa privada proporcionándoles información relacionada con las propiedades mecánica de los materiales. Lamentablemente el sistema de indicación de la maquina se encuentra dañado, por lo cual los datos de fuerza que proporciona, no son confiables, entonces al realizan las pruebas se desconocen los datos de cargar que se le aplica a la probeta obteniéndose resultados erróneos lo que llevo al uso limitado de la máquina.

La instrumentación electrónica de la máquina es una solución factible, ya que además de medir las variables que intervienen en la prueba, podemos manipular las señales para generar resultados de una manera más sencilla.

DESARROLLO.

Las máquinas de pruebas son esencialmente instrumentos para aplicar una fuerza medida y controlada sobre una probeta la cual que sirve para determinar las propiedades mecánicas del material del cual está hecha dicha probeta.

La máquina universal Baldwin consta principalmente de 3 sistemas básicos: el sistema de aplicación de fuerza, el sistema de detección de la fuerza y el sistema de indicación.

El sistema de la aplicación de fuerza es un sistema hidráulico en el que, a través del fluido se genera el desplazamiento del pistón y de esta manera aplicar la fuerza hacia la probeta. [Figura 1].

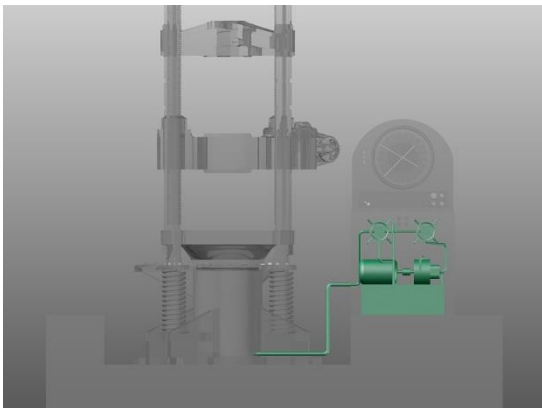


Figura 1. Sistema de aplicación de fuerza de la máquina universal.

El sistema de detección de la fuerza, identifica la el valor de la fuerza que se está ejerciendo sobre la probeta, esto lo hace tomando una muestra de la presión del fluido que existe entre el cilindro y el pistón, a esta parte de la maquina se le llama capsula [Figura 2].

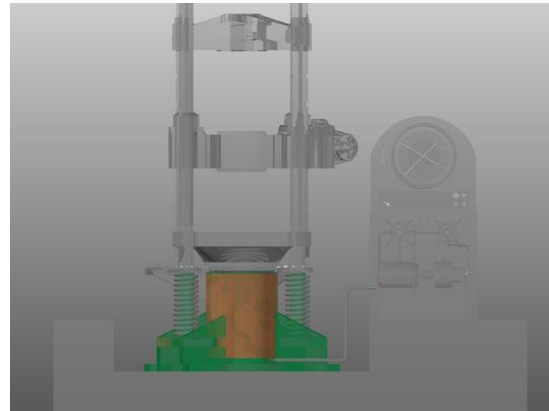


Figura 2. Sistema de detección de la fuerza de la máquina universal.

El sistema de indicación transforma la presión hidráulica en movimiento de una aguja, que da el valor de la fuerza a través de un panel graduado [Figura 3].

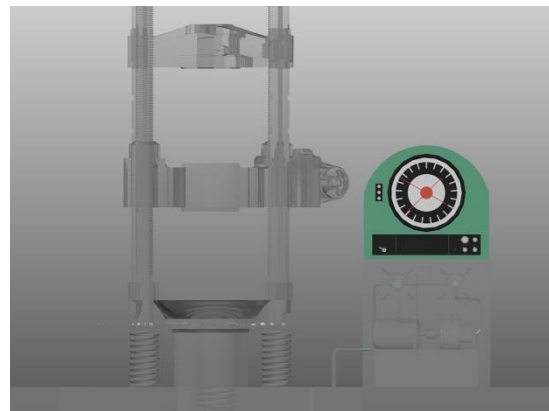


Figura 3. Sistema de indicación de la máquina universal.

Al iniciar el proyecto planteo una metodología de trabajo, la cual consta de los siguientes pasos:

1. Identificación de las variables.
2. Selección de los sensores.
3. Acondicionamiento de señal.
4. Lectura de señal
5. Manipulación de la señal.

Con estos puntos podemos instrumentar el proceso y obtener los objetivos planteados.

Identificación de las Variables.

El objetivo de este punto es identificar las variables las cuales intervienen en el proceso de una prueba.

De acuerdo a la teoría de los de materiales, al realizar una prueba de este tipo, las variables involucradas son la fuerza aplicada y el incremento de la longitud, de las probetas. A partir de estos datos determinamos el esfuerzo y deformación, dando a conocer las características mecánicas de materiales con la construcción de una gráfica.[Figura 4].

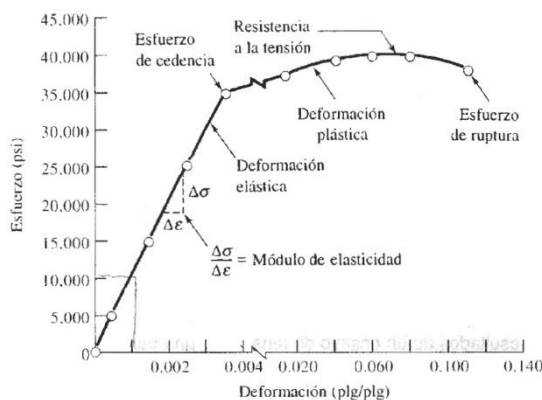


Figura 4. Grafica esfuerzo-deformación con sus partes principales.

Con la interpretación de la gráfica se pueden indicar otras características mecánicas del material como la resiliencia, la tenacidad y la ductilidad.

Selección de sensores.

Conociendo las variables que interviene al realizar una prueba y la capacidad de la máquina se puede seleccionar los sensores. Un sensor es dispositivo electrónico, capaz de transformar el valor de una variable física a una señal eléctrica, con esta definición, los sensores que necesitamos para instrumentar la maquina universal son, un sensor de desplazamiento (con el cual mediremos la deformación de la probeta) y un sensor con el que se obtiene la presión que se encuentra en sistema de aplicación de fuerza de la máquina.

El sensor de desplazamiento que seleccionamos fue un potenciómetro lineal de la marca ASM con características de: resolución infinita, sensibilidad de 0.7651 mV/V/mm y rango de 0mm a 1250mm estas características son suficientes para medir la diferencia de longitud que sufre la probeta, la decisión de medir la diferencia de longitud de la probeta se tomó ya que para fines prácticos, la diferencia de longitud que se produce en la probeta al aplicar la carga es suficiente para determinar características mecánicas de los materiales, la ecuación 1 se utiliza para medir el incremento de longitud que existe en la probeta con la aplicación de una determinada carga.

$$\Delta l = \frac{(l_i - l_0)}{l_0} \dots \dots \dots (1)$$

Dónde: Δl = Incremento de la longitud.

l_i = Longitud instantánea (mm).

l_0 = Longitud original (mm).

Por lo tanto el desplazamiento del pistón es igual al incremento de longitud que está sufriendo la probeta, por lo cual es aceptable medir el desplazamiento del pistón.

En un sistema hidráulico como el de la maquina Baldwin, cuando se le aplica una fuerza, la presión existente es igual en todos sus puntos, por lo que se puede ocupar un sensor de presión. El esfuerzo presente en la probeta, es igual a la presión que existe en el sistema hidráulico, siempre y cuando se elimine el peso del pistón, respecto a la colocación del sensor se encuentra en la línea de fuerza de la máquina, Figura 5.

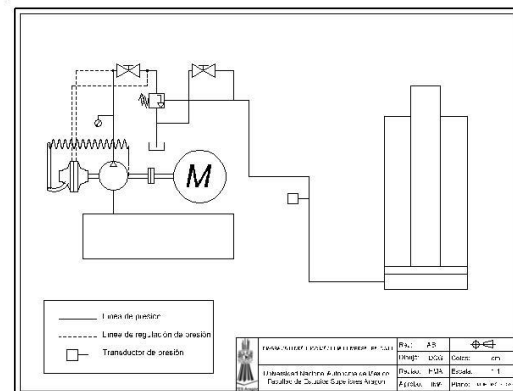


Figura 5. Diagrama hidráulico del sistema de carga.

El sensor utilizado consta de las siguientes características: repetitividad de 0.05%FS, linealidad: 0.05%FS, rango de presión de 0 a 400 bars y voltaje de salida de 0 a 5 volts.

Acondicionamiento de señal

La mayoría de las señales de salida de los sensores, no se pueden conectar directamente a un sistema de adquisición de datos, ya que sus señales pueden ser muy pequeñas, contener muchas variaciones, o no tener un comportamiento lineal entre la variable física y la señal, por lo que deben implementarse procesos que solucionen estos problemas, como la amplificación, el filtrado o la linealización, a todos estos procesos de modificación se les llama acondicionamiento de señal.

En las señales de los sensores seleccionados, no fue necesaria la amplificación y la linealización, ya que ambas señales pueden adaptarse al rango de lectura para las tarjetas de adquisición de datos y tienen un comportamiento lineal, por lo tanto solamente se implementó un filtrado, el cual consiste en un filtro digital con una aproximación de butterworth, el cual es aplicado por medio del software.

Lectura de señal

La lectura de la señal se realizó por DAQ de National Instruments, el modelo es PCIe-6321, esta tarjeta tiene una velocidad de muestreo de 250 Ks/s y sus rangos de entrada de voltaje para señales analógicas son de:

-10 V a 10 V resolución nominal 320 μ V,
-5 V to 5 V resolución nominal 160 μ V,
-1 V to 1 V resolución nominal 32 μ V,
-200 mV to 200 mV resolución nominal 6.4 μ V.

Para determinar el rango de lectura tomamos las características de las señales de ambos sensores. La señal del sensor de presión puede trabajarse a partir del rango de -5 a 5 volts y el sensor de desplazamiento puede adaptarse a cualquier rango de lectura, dependiendo del voltaje de alimentación.

Para trabajar sin ningún inconveniente debido a la cercanía entre los rangos de salida del sensor de presión y el rango de lectura de -5 a 5 volts, se eligió el rango de -10 a 10 volts. Seleccionado el

rango de lectura, podemos determinar el voltaje de alimentación para el sensor de desplazamiento.

El voltaje de salida del sensor se determina con la ecuación 2.

$$V_o = S * V_c * d \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

V_o =Voltaje de salida (V)

S=Sensibilidad del sensor (mV/V/mm)

V_c =Voltaje de alimentación

d= Distancia recorrida en el sensor

De la ecuación 2 despejamos el voltaje de alimentación, ya que el voltaje de salida, el máximo valor de lectura del rango seleccionado y el valor máximo de desplazamiento ya los conocemos, por lo tanto:

Despejando:

$$V_c = \frac{V_o}{S * d} = \frac{10}{(0.7651 \times 10^{-3}) * 1250}$$

$$V_c = 10.4561V$$

A partir de este resultado se decidió usar un voltaje de alimentación de 10 volts, de esta manera, nuestro valor máximo de voltaje de salida es de 9.56 volts, así no sobrepasamos el voltaje de lectura de la tarjeta de adquisición de datos.

Por último se realizó la conexión de los sensores y la tarjeta de adquisición de datos. Quedando representada dicha conexión con el diagrama que se muestra en la figura 6.

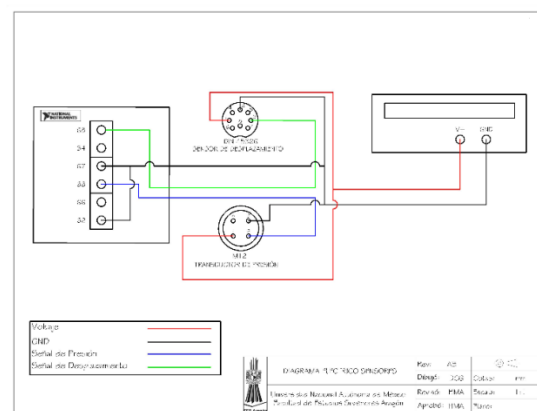


Figura 6. Diagrama de conexiones para sensores y tarjeta de adquisición de datos.

Manipulación de las señales

El proceso de manipulación de las señales se realizó con LabVIEW, con este programa se realizó la interfaz, en la cual el usuario podrá interactuar al realizar la prueba en la maquina universal. Además que se realizó una interfaz para la calibración de las señales.

Interfaz de desarrollo de la prueba

La interfaz de desarrollo de la prueba cuenta con 3 ventanas:

- a) Bienvenida.
- b) Parámetros de la prueba.
- c) Desarrollo de la prueba.

Cada una de las ventanas son un VI que se comunican por medio de la programación realizada en LabVIEW.

Ventana de bienvenida

Esta ventana es donde se inicia y termina la interfaz, además de contener el control para pasar a la ventana de parámetros de la prueba [Figura 7].



Figura 7. Ventana de bienvenida de la interfaz de desarrollo de la prueba.

Ventana de parámetros.

La ventana de parámetros [Figura 8] tiene como objetivo capturar todos los datos necesarios para identificar la prueba, entre ellos están:

- 1) Carrera
- 2) Materia

- 3) Grupo
- 4) Tipo de prueba
- 5) Material
- 6) Tipo de probeta

Estos datos se ingresan para poder generar el reporte, para llevar un registro de las pruebas generadas y tener los datos necesarios para realizar las actividades académicas correspondientes.

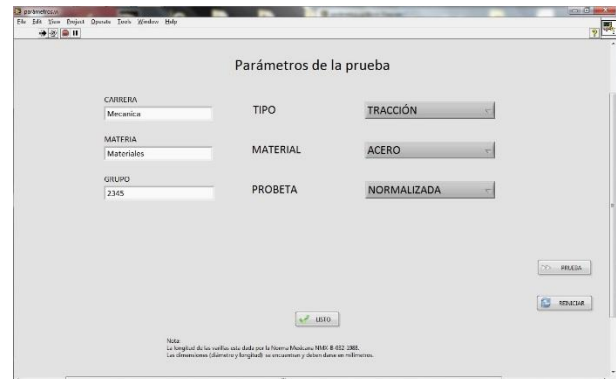


Figura 8. Ventana de parámetros de la interfaz de desarrollo de la prueba.

El funcionamiento de la ventana consta de los siguientes pasos:

- 1) Ingresamos los datos correspondientes en los campos de carrera, materia y grupo (estos tres campos restringen el acceso al botón de listo, si no son llenados no se podrá continuar a la ventana de desarrollo de la prueba)
- 2) Seleccionamos los parámetros correspondientes a la prueba que se vaya a efectuar.
- 3) Una vez seleccionados los parámetros presionamos el botón listo.
- 4) Al presionar el botón de listo bloqueamos los parámetros seleccionados.
- 5) Si los parámetros seleccionados son correctos presionamos el botón de prueba, en caso de que exista algún error en los parámetros seleccionados presionamos el botón de reiniciar que limpia los parámetros establecidos, y debemos volver a repetir estos puntos.

Ventana de Desarrollo de la prueba.

La ventana de desarrollo de la prueba [Figura 9] tiene como objetivo manipular y mostrar los datos adquiridos.

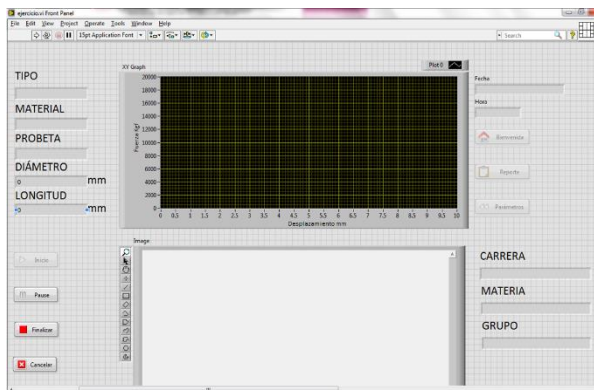


Figura 9. Ventana de desarrollo de la prueba.

Los datos adquiridos serán mostrados por medio de una gráfica fuerza-desplazamiento.

El funcionamiento de la ventana de desarrollo de la prueba debe realizarse de la siguiente manera:

Una vez que la probeta y la maquina están en la posición para el inicio de la prueba, presionamos el botón de inicio con el cual comenzamos la adquisición de los datos.

Al abrir la válvula de carga y dar inicio a la prueba tenemos las opciones de, pausar la prueba o cancelarla, en caso de que la prueba sea cancelada se detiene la adquisición de datos y podemos regresar, ya sea a la ventana de bienvenida o a la ventana de parámetros.

Si la prueba termina de manera exitosa presionamos el botón finalizar.

Al presionar el botón de finalizar se detiene la adquisición de los datos y tenemos la opción de generar un reporte en excel que contiene los datos adquiridos y los parámetros de la prueba que se realizó.

Una vez generado el reporte podemos regresar a la ventana de parámetros para realizar otra prueba o regresar a la venta de bienvenida y terminar la aplicación.

Interface de calibración

Al igual que la interface de desarrollo de la prueba la interface de calibración cuenta con una ventana de bienvenida [Figura 10], la cual tiene la función de mandar a la ventana de calibración.



Figura 10. Ventana de bienvenida de la interfaz de calibración.

La ventana de calibración [Figura 11] de la prueba como lo dice su nombre tiene el objetivo de calibrar los valores de las señales que se están adquiriendo para que concuerden con los datos reales de fuerza y desplazamiento que se presentan en una prueba, esta calibración se realiza cambiando los valores de sensibilidad correspondiente a cada uno de nuestros sensores, este cambio se realiza por medio de las perillas virtuales que se encuentran en la interfaz. Una vez calibradas las señales, guardamos el valor seleccionado con el botón de guardar y terminamos la calibración, presionando el botón de alto, por ultimo regresamos a la ventana de bienvenida y cerramos nuestra aplicación.



Figura 11. Ventana de calibración.

Realización de la prueba y resultados.

La prueba que se realizó, una vez instrumentada la maquina fue una prueba de tensión en una varilla grado 42, con un diámetro de $\frac{3}{4}$ " (Numero 6) y una longitud de 700 mm.

Esta prueba se realizó de acuerdo a la norma mexicana NMX-B-032-1988, que se utiliza dentro del laboratorio L4 de la institución, para pruebas de tensión en varillas, los resultados que se deben de obtener de acuerdo a la norma al realizar una prueba de tensión sobre una varilla de grado 42 son los siguientes.

Tabla 1. Valores de una varilla grado 42 al realizar una prueba de tensión

| | Grado 42 |
|---|----------|
| Resistencia a la tensión mínima en N/mm ² (Kgf/mm ²) | 618(63) |
| Límite de fluencia mínimo en N/mm ² (Kgf/mm ²) | 412(42) |
| Alargamiento mínimo en % para varilla Numero 6 | 8 |

Los resultados obtenidos al realizar fueron los siguientes:

La grafica fuerza-desplazamiento que se muestra en la figura12, podemos observar que la gráfica tiene un comportamiento esperado y es muy parecida a una gráfica esfuerzo-deformación.

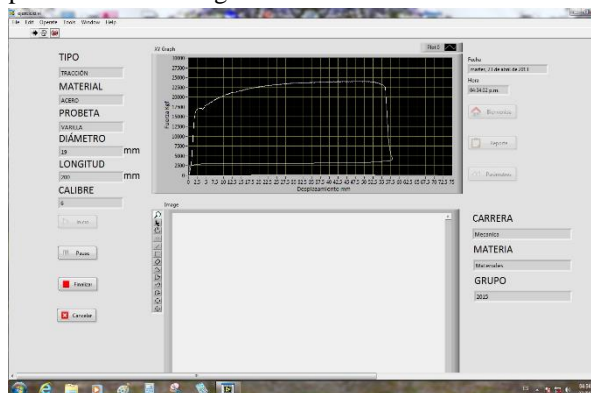


Figura 12. Grafica generada con los datos adquiridos en la prueba.

Y en el reporte de datos [Figura 13] podemos observar que nuestros valores de esfuerzo no difieren mucho de los valores esperados [Tabla 1] según la norma.

| Microsoft Excel - 04_23_2013_2015 [Modo de compatibilidad] | | | | |
|--|-----------|-----------------------------|------------|-------------|
| | A | B | C | D |
| 1 | FECHA | martes, 23 de abril de 2013 | | |
| 2 | HORA | 04:35:06 p.m. | | |
| 3 | CARRERA | Mecanica | | |
| 4 | MATERIA | Materiales | | |
| 5 | GRUPO | 2015 | | |
| 6 | Tipo | TRACCIÓN | | |
| 7 | Material | ACERO | | |
| 8 | Probeta | VARILLA | | |
| 9 | Diámetro | 19 | | |
| 10 | Longitud | 200 | | |
| 11 | Numero | 6 | | |
| 12 | Fuerza | Desplazamiento | Esfuerzo | Deformacion |
| 13 | 47.67 | 0.111 | 0.16724969 | 0.00015857 |
| 14 | 255.153 | 0.146 | 0.89520157 | 0.00020857 |
| 15 | 562.994 | 0.195 | 1.97525844 | 0.00027857 |
| 16 | 1042.169 | 0.326 | 3.6564388 | 0.00046571 |
| 22 | 16327.005 | 1.898 | 57.2831226 | 0.00271143 |
| 23 | 16790.5 | 2.222 | 58.9092899 | 0.00317429 |
| 24 | 16935.424 | 2.505 | 59.4177542 | 0.00357857 |
| 26 | 17107.172 | 3.104 | 60.0203302 | 0.00443429 |
| 29 | 16991.628 | 3.869 | 59.6149453 | 0.00552714 |
| 32 | 16770.94 | 4.029 | 58.8406638 | 0.00575571 |
| 33 | 16929.317 | 4.075 | 59.3963279 | 0.00582143 |
| 39 | 17318.204 | 4.418 | 60.7607337 | 0.00631143 |
| 40 | 17402.55 | 4.452 | 61.0566608 | 0.00636 |
| 377 | 23243.934 | 25.885 | 81.5510941 | 0.03697857 |
| 416 | 23485.915 | 28.47 | 82.4000819 | 0.04067143 |
| 491 | 23704.457 | 33.567 | 83.1668342 | 0.04795286 |
| 642 | 24007.594 | 43.894 | 84.2303871 | 0.06270571 |
| 778 | 23770.73 | 53.17 | 83.3993523 | 0.07595714 |
| 791 | 23542.696 | 54.112 | 82.5992974 | 0.07730286 |
| 803 | 23219.917 | 54.946 | 81.4668308 | 0.07849429 |
| 804 | 23214.965 | 54.98 | 81.4494567 | 0.07854286 |
| 805 | 23136.561 | 55.068 | 81.1743771 | 0.07866857 |
| 806 | 23090.344 | 55.186 | 81.0122253 | 0.07883714 |
| 807 | 23081.843 | 55.263 | 80.9823996 | 0.07894714 |
| 813 | 22784.648 | 55.657 | 79.9396941 | 0.07951 |

Figura 13. Reporte generado en Excel (con filas ocultas para observar los valores más relevantes) de los datos adquiridos y generación de las celdas de esfuerzo y deformación.

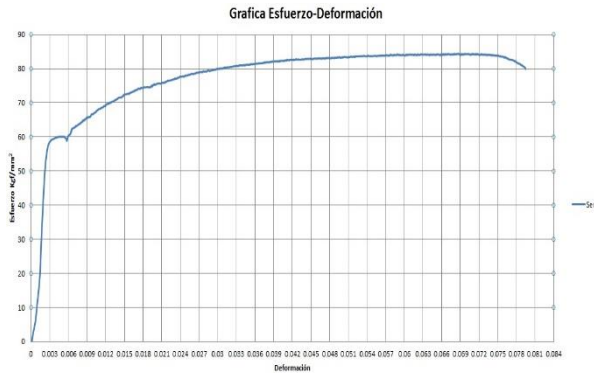


Figura 144. Gráfica esfuerzo-deformacion generada con el reporte generado en Excel

En la figura 14 se presenta una gráfica esfuerzo-desplazamiento donde podemos apreciar que el valor del límite de fluencia es aproximadamente 60 Kg/mm^2 , el valor de resistencia máxima a la tensión aproximadamente es de 84 Kg/mm^2 y el alargamiento aproximado que sufrió la varilla fue de 56 mm.

La variación que se presenta entre los datos adquiridos y los reportados en la norma, es atribuible al factor de seguridad que maneja el fabricante de las varillas, ya que en la norma se presentan los datos mínimos y con la presencia del factor de seguridad los valores deben aumentar, para verificar esto es necesario certificar el equipo.

CONCLUSIONES.

Al realizar las pruebas se observa que el comportamiento de los valores adquiridos corresponde al comportamiento teórico esperado, sin embargo, en este tipo de pruebas deben ser certificadas a través de dispositivos previamente calibrados.

La certificación del equipo tiene como resultado un crecimiento académico, además se crea un parámetro de confianza para las pruebas, tanto sobre nuevos materiales como de colaboración con la industria.

La rehabilitación del equipo a través de este proyecto, beneficia institucionalmente a las carreras de ingeniería civil, ingeniería mecánica e

ingeniería industrial y desarrollando conocimiento hacia el área de mecatrónica.

REFERENCIAS.

- (1) W. Callister, "Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales", Reverte, 3ª ed. 1995.
- (2) R. Pallás, "Sensores y Acondicionadores de Señal", Marcombo, 4ª ed. 2004.
- (3) M.Perez, A et al, "Instrumentación electrónica", Thomson, 2ª ed. 2005.
- (4) DIRECCION GENERAL DE NORMAS, "Varillas corrugadas y lisas de acero procedentes de eje, para refuerzo de concreto", México, Secretaria de Comercio y Fomento Industrial, 1988. (NMX-B-032-1988).