



PONTIFICIA **UNIVERSIDAD CATÓLICA** DEL PERÚ

Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons  
Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú.

Para ver una copia de dicha licencia, visite  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

**INCERTIDUMBRE DE LOS RESULTADOS MEDIDOS EN EL  
ENSAYO DE TRACCIÓN, OBTENIDOS EN LAS MAQUINAS DEL  
LABORATORIO DE MATERIALES DE ING. MECANICA PUCP**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecánico,  
que presenta el bachiller:

MANUEL ENRRIQUE SÁNCHEZ GAVIDIA

ASESOR: Ing. Daniel Merino Ponce

Lima, Febrero del 2010

## RESUMEN

En la actualidad el concepto de incertidumbre viene creciendo e incorporándose como un parámetro objetivo que caracteriza la calidad y la buena práctica de un ensayo o de un resultado experimental. Pues los resultados de ensayos contenidos en un informe de laboratorio no pueden ser comparados con los valores de referencia dados por normas si es que no se tienen o no se acompañan de sus respectivas incertidumbres.

En el presente trabajo se busca encontrar los valores de incertidumbre en las medidas obtenidas al realizar ensayos de tracción con las máquinas universales de ensayo ZWICK SP- 600 y MFL DE 60 TONELADAS. Lo novedoso de este trabajo es que estos valores de incertidumbre se encontraron usando la “Directriz para la Estimación y Expresión de la Incertidumbre de la Medición”, dada por INDECOPI, que nos establece los criterios para la estimación y expresión de la incertidumbre de la medición en ensayos cuantitativos.

Los ensayos se realizaron en el laboratorio de materiales de la PUCP, trabajando junto a los analistas de dicho laboratorio. Para los ensayos de tracción se usaron probetas planas y redondas estándares de acero, dichas probetas se realizaron bajo la norma ASTM A370 - 08. Obteniéndose incertidumbres para los esfuerzos de fluencia, máximo y deformación plástica final; que son las tres propiedades que se le otorga a los clientes cuando solicitan el trabajo de ensayo de tracción para un material.

Por último, este trabajo otorga una garantía de calidad en los resultados obtenidos para los ensayos de tracción realizados por el laboratorio de materiales de la PUCP, dando mayor confianza en las mediciones tanto a los analistas como a los clientes del laboratorio.

## INDICE DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION .....	1
1. DESCRIPCION GENERAL .....	3
1.1 Acreditacion de los laboratorios de ensayo .....	3
1.2 Certificados del laboratorio de materiales PUCP .....	4
1.3 Descripcion de los equipos.....	5
1.3.1 Maquina Zwick SP-600 .....	5
1.3.2 Maquina MFL de 60 toneladas .....	6
1.4 Procedimientos para ensayo .....	7
1.4.1 Procedimiento para Maquina Zwick SP-600 .....	7
1.4.2 Procedimiento para Maquina MFL - 60 toneladas .....	10
1.5 Las probetas de ensayo .....	12
1.6 El ensayo de tracción .....	14
2. DETERMINACIÓN DEL MENSURANDO, IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES Y DEFINICIÓN DEL MÉTODO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE .....	15
2.1 La incertidumbre .....	15
2.2 Método de estimación .....	16
2.2.1 Modelamiento del mesurando.....	16
2.2.2 Calculo tipo A de la incertidumbre.....	16
2.2.3 Calculo tipo B de la incertidumbre.....	17
2.2.4 Calculo de incertidumbre combinada .....	18
2.2.5 Calculo de incertidumbre expandida .....	19
2.3 Incertidumbre asociadas a las magnitudes que influyen en el valor de la medida .....	20
3. REALIZACIÓN DE ENSAYOS MECÁNICOS.....	23

3.1	Ensayo en el laboratorio de materiales PUCP .....	23
3.2	Datos obtenidos en los ensayos .....	24
3.2.1	Datos en maquina Zwick.....	24
3.2.2	Datos en maquina MFL .....	30
4	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS Y DETERMINACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE.....	36
4.1	Modelos matemáticos.....	36
4.2	Identificación y organización de las fuentes de incertidumbre.....	37
4.3	Incetidumbre en Maquina Zwick.....	38
4.3.1	Incetidumbre asociada al esfuerzo de fluencia.....	38
4.3.2	Incetidumbre asociada al esfuerzo máximo.....	45
4.3.3	Incetidumbre asociada a la deformación plastica final .....	51
4.4	Incetidumbre en máquina MFL .....	56
4.4.1	Incetidumbre asociada al esfuerzo de fluencia.....	56
4.4.2	Incetidumbre asociada al esfuerzo máximo.....	63
4.4.3	Incetidumbre asociada a la deformación plastica final .....	70
4.5	Incetidumbre juntando las dos máquinas .....	75
	CONCLUSIONES .....	95
	BIBLIOGRAFÍA .....	99
	<b>ANEXOS</b>	
	<b>ANEXO A : Ensayos de tracción en probetas redondas de acero, maquina MFL</b>	
	<b>ANEXO B: Ensayos de tracción en probetas planas de acero, maquina MFL</b>	
	<b>ANEXO C: Ensayos de tracción en probetas redondas de acero, maquina ZWICK</b>	
	<b>ANEXO D: Ensayos de tracción en probetas planas de acero, maquina ZWICK</b>	

## ANEXO E: Incertidumbre de ensayos, método antiguo



## INTRODUCCIÓN

Cuando se realiza un ensayo de laboratorio, el resultado obtenido para la magnitud medida es en realidad la mejor aproximación del verdadero valor de dicha magnitud que se puede conseguir con los medios y equipos con los que se cuenta y con el procedimiento de ensayo empleado. Sin embargo, el valor real de dicha magnitud se desconoce pues por mucha precisión que se intente obtener en el ensayo siempre existirán factores que aporten una incertidumbre al resultado de la medida, impidiéndonos obtener el valor real consistente con la magnitud que es objeto de medición.

Toda medición siempre necesita la utilización de uno o más instrumentos de los cuales debemos tener cuidado al interpretar los resultados entregados pues introducen errores aleatorios (errores que se produce durante el proceso de medición) los cuales no pueden ser eliminados completamente, es por esto que la metrología introduce la noción de incertidumbre como una cuantificación del grado de seguridad del resultado obtenido, que se expresa como un intervalo donde se encuentre contenido el valor real de la medida con una probabilidad o nivel de confianza determinados.

En el laboratorio de materiales de la PUCP, se realizan ensayos de tracción en dos maquinas la Zwick SP-600 y la MFL de 60 toneladas las cuales nos proporcionan las magnitudes asociadas a los esfuerzo de fluencia, esfuerzo máximo y deformación plástica final y para obtener una buena confianza en estos resultados brindados, el laboratorio posee una acreditación emitida por un organismo que avale el cumplimiento de los requisitos exigidos para el mismo. Actualmente uno de esos requisitos es la capacidad de brindar la incertidumbre asociada al resultado de estos ensayos.

El objetivo de este trabajo es identificar las fuentes de incertidumbre asociadas a la medidas dadas por las maquinas en los ensayos de tracción y encontrar el valor de incertidumbre para las mediciones realizadas en el ensayo de tracción de probetas estándares de acero siguiendo el método de ensayo dado en la NORMA ASTM A370-2008, que es la última edición vigente; para las dos maquinas antes mencionadas;

Además, la obtención de el valor de incertidumbre se estimará bajo la DIRECTRIZ CRT-acr-09-D dada por el Organismo Peruano de Acreditación INDECOPI-CRT.

El trabajo estará estructurado de la siguiente forma: El primer capítulo presentará unas descripciones generales en cuanto al laboratorio, las maquinas, el procedimiento de ensayo en cada maquina y probetas a usar. El segundo capitulo expondrá el concepto que se tiene acerca de la incertidumbre, los tipos que encontramos, su forma de calculo y los factores que tienen influencia en el ensayo de tracción. El tercer capitulo comprenderá la realización de los ensayos y el calculo de su incertidumbre; es decir, identificar las causas que aportan incertidumbre, evaluar las incertidumbres típicas, la incertidumbre típica combinada y la incertidumbre expandida y al final dar un reporte de estos resultados.





## CAPÍTULO 1

### 1. DESCRIPCIÓN GENERAL

#### 1.1 ACREDITACIÓN DE LOS LABORATORIOS DE ENSAYO

Un laboratorio de ensayo como organismo independiente o como parte de una empresa es un lugar dedicado esencialmente al ensayo de productos en proceso o terminados y para que este laboratorio tenga un respaldo del servicio prestado, necesita cumplir ciertos requisitos y entre estos requisitos se encuentra el haber implementado un sistema de gestión de calidad asegurada (en conformidad a las normas ISO 9001 por ejemplo). Pero este requisito no es suficiente para acreditar al laboratorio, pues su competencia técnica ha de ser comprobada sobre la base de los requisitos expuesto en la norma Técnica Peruana NTP ISO/IEC 17025. Ambos documentos establecen criterios comunes para juzgar la idoneidad de los laboratorios y unificar sus prácticas.

Dentro del proceso de acreditación de un laboratorio según la norma Técnica Peruana NTP ISO/IEC 17025 incluye, además de todos los aspectos relacionados a la calidad, una minuciosa revisión a los aspectos tales como:

- La capacidad técnica del personal;
- Condiciones controladas de operación para el ensayo;
- Los procedimientos de medición y ensayo;
- El registro de los resultados ;

- Los métodos para identificar y hallar los resultados de incertidumbre en los ensayos.

El último aspecto mencionado trata sobre el tema de incertidumbre en los resultados y su cuantificación y para cumplir con este aspecto INDECOPI a través de La Comisión De Reglamentos Técnicos Y Comerciales emite una guía llamada: “Directriz Para La Estimación Y Expresión De La Incertidumbre De La Medición”, que tiene por objeto establecer los criterios para la estimación y expresión de la incertidumbre en los ensayos.

Las acreditaciones emitidas por INDECOPI duran tres años y durante este periodo se verifica el cumplimiento de los requisitos expuestos en las normas a través de auditorias y luego del vencimiento de los tres años se tiene que renovar la acreditación demostrando nuevamente que el laboratorio cumple con el conjunto de acciones sistemáticas y planificadas para cumplir con todos los requisitos estipulados por la norma.

## 1.2 CERTIFICADOS DEL LABORATORIO DE MATERIALES PUCP

La Comisión De Reglamentos Técnicos Y Comerciales del INDECOPI, acreditó al laboratorio de materiales de la PUCP como laboratorio de ensayo, facultándolo a emitir informes de ensayo con valor oficial en el campo de pruebas mecánicas.

El laboratorio obtuvo la acreditación el 06 de octubre de 2003, cuyo período de vigencia era hasta el 06 de octubre de 2006, la renovación de la acreditación fue obtenida el 05 de setiembre de 2007 y que tiene como fecha de vencimiento el 05 de setiembre de 2010.

### 1.3 DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS

En el laboratorio de materiales PUCP se desea interpretar los resultados entregados por las maquinas universales de ensayo, Zwick SP-600 y MFL de 60 toneladas, descritas a continuación.

#### 1.3.1 MAQUINA Zwick SP-600:

La máquina de ensayos SP 600, es una maquina diseñada para aplicar fuerzas cuasiestáticas en proceso continuo, estático, pulsante o alternante mediante un accionamiento hidráulico. Esta desarrollada para ensayos de tracción, compresión y flexión.

El funcionamiento del equipo para el ensayo en diferentes materiales es realizado por una unidad básica formada por: el bastidor de la maquina, la unidad electrónica de medición, control, y regulación de la serie testcontrol y el grupo hidráulico.

El bastidor de carga de la máquina consta básicamente de un travesaño base, unas columnas guías y un travesaño donde descansa el pistón de ensayos. Sobre el vástago de pistón del cilindro descansa una placa que será guiada por las columnas guías y esta conectada a ellas mediante dos semicasquillos de material sintético y de baja fricción. El grupo hidráulico posee un electromotor que acciona una bomba de engranajes, que produce una presión máxima de 280 bar, para generar la fuerza necesaria en el ensayo.

Esta es una maquina en ejecución de pie con una máxima fuerza de ensayos de 600 kN. En su placa característica figura todos los datos relevantes de esta maquina.

#### **P1- F600SN.F06**

P1= Electrónica testcontrol

F= Maquina de ensayo de materiales

0600= Máxima fuerza de ensayo 600 kN

S= Maquina de ensayos con accionamiento hidráulico



Figura 1. Foto de maquina zwick SP-600

### 1.3.2 MAQUINA MFL (MOHR FEDERHAFF LOSENHAUSEN) de 60 toneladas

La maquina MFL de 60 toneladas es una maquina diseñada para aplicar una carga máxima de 60 toneladas. Posee cilindros de accionamiento hidráulico montados verticalmente, encima del bastidor principal de carga. Los ensayos de tracción se realizan por debajo de la viga transversal. Presenta un péndulo y un registrador autográfico para la toma de resultados.



Figura 2. Foto de maquina MFL de 60 toneladas

## 1.4 PROCEDIMIENTOS PARA ENSAYOS EN CADA MAQUINA

Los siguientes procedimientos son los que se seguirán para llevar a cabo un adecuado control del ensayo:

### 1.4.1 PROCEDIMIENTOS PARA MAQUINA Zwick SP-600

1. Medir las dimensiones de la sección transversal de la muestra y marcar la longitud inicial ( $L_0$ ) según la norma de ensayo aplicable (ASTM A370).
2. Seleccionar y colocar las mordazas respectivas para realizar el ensayo. Antes de poner en marcha la máquina de ensayos deberá verificar que el equipo no se encuentre bloqueado, para ello verificar que las perillas rojas de parada de emergencia no se encuentren aplastadas.
3. Poner en funcionamiento la máquina según los siguientes pasos:
  - a) Conectar la máquina mediante el interruptor principal
  - b) Girar la perilla del interruptor del tablero de control
  - c) Conectar la PC y abrir el programa de aplicación testExpert
  - d) Una vez seleccionado el programa testExpert aparecerá un mensaje de atención, seleccionar OK
  - e) Acto seguido, ir a Open y seleccionar el ícono
  - f) En la ventana que se presenta seleccionar Directory
  - g) Seguir la secuencia que se presenta en la figura siguiente, seleccionar el nombre correspondiente y aceptar
  - h) Acto seguido aparecerá una pantalla del programa seleccionado; apretar el botón de encendido "ON" del tablero de control.

- i) Mida la separación entre cabezales de la maquina y verifique que esa medida coincida con el de LE que aparece en la parte inferior de la pantalla
  - j) En caso de ser corregir el valor de LE para ello ir a machine y seleccionar "OK".
  - k) Seleccionar Crosshead y hacer doble click con el botón izquierdo del Mouse.
  - l) Seleccionar position.
  - m) Escribir el valor medido de separación entre cabezales y apretar "OK".
  - n) Verificar el valor ingresado en el paso anterior y apretar "OK", de no coincidir con el valor anteriormente ingresado, cambiar manualmente el valor de CURRENT LE.
  - o) En la pantalla aceptar con el botón "OK" y poner "SI" en el aviso de atención.
4. seleccionar la opción LE para que los cabezales se coloquen en su posición de trabajo.
  5. ajustar la fuerza a cero, seleccionando el botón FORCE 0
  6. Sujetar la probeta en la primera mordaza (inferior). Las mordazas deben estar listas para su uso, no deben estar en mal estado. La longitud de sujeción debe ser por lo menos 2/3 de la longitud de la mordaza.
  7. Sujetar la probeta en la segunda mordaza (superior). Verificar que la probeta se encuentre correctamente alineada. Se debe apreciar en la parte inferior izquierda que la probeta esta sometida a una carga de compresión, esto es debido al ajuste de las mordazas. **NO PRECIONAR Force 0.**
  8. Iniciar el ensayo, seleccionando para ello Start.

9. Llenar la información que sale en la ventana, si se trata de probeta plata pedirá introducir los datos de espesor y ancho, si se trata de probeta redonda se introduce el valor del diámetro; acto seguido presionar OK. Este paso se obvia si se trabaja con barras corrugadas.
10. Si sale un cuadro de opciones, seleccionar la primera opción **CONTINUAR.**
11. Si se está trabajando sin extensómetro esperar a que el ensayo termine, si se trabaja con extensómetro esperar a que el programa pida colocar el extensómetro, colocarlo y apretar OK. El ensayo se iniciará, esperar que el programa le pida retirar el extensómetro, retirarlo y apretar OK, esto sucederá cuando se pase el punto de fluencia del material.
12. Retirar la probeta, en caso de tener que ensayar otra muestra seguir las instrucciones de trabajo desde el paso 4.
13. Para identificar o colocar alguna información a o las muestra o muestras poner el mouse en la zona del gráfico, apretar el botón derecho y seleccionar la opción New information, aparecerá una ventana, seguir las instrucciones y en la parte inferior apretar “Siguiente” hasta que se terminen las ventanas y en la parte inferior salga “Complete”.
14. Para imprimir el reporte ir a File y seleccionar Protocolo Editor
15. Agregar el código de trabajo en la parte superior izquierda del gráfico y mandar a imprimir
16. Para salir de la presentación ir al ícono “Close Test Report Editor” ubicado en la parte superior central.
17. Guardar el trabajo realizado en la carpeta designada con el nombre del analista y tener cuidado de guardar los datos en el formato de “Serie”

#### 1.4.2 PROCEDIMIENTOS PARA MAQUINA MFL-60 toneladas

1. Medir las dimensiones de la sección transversal de la muestra y marcar la longitud inicial ( $L_0$ ) según la norma de ensayo aplicable (ASTM A370).
2. Seleccionar las mordazas respectivas y montarlas en el puente (cabezal superior) y cabezal inferior. Seleccionar y colocar los contrapesos correspondientes para la realización del ensayo.
3. Poner en funcionamiento la máquina accionando el botón verde. Subir y bajar el puente por lo menos 3 veces antes de montar la muestra (siempre y cuando la máquina se encuentre apagada), accionando para ello las palancas.
4. Colocar el papel milimetrado en el tambor de registro.
5. Colocar el puente en su posición más baja operativa, instalar la muestra y regular el cabezal inferior.
6. Seleccionar la escala de desplazamiento adecuada (1:1; 2:1) utilizando las poleas.

Las actividades del 1 al 6 se pueden hacer en distinto orden con tal que el analista responsable se asegure de realizarlas todas.

7. Verificar que la aguja indicadora de carga marque cero, caso contrario regular girando el botón.
8. Colocar el bolígrafo en el lugar correspondiente y ajustarlo. Baje el bolígrafo y marque sobre el papel milimetrado una línea la cual le dará el eje de la escala correspondiente a la carga previamente seleccionada (60000; 120000; 300000; 600000 Newtons), acto seguido realizar el eje horizontal sobre el papel milimetrado.
9. Posicionar el bolígrafo sobre el papel milimetrado y comience a aplicar la carga a la velocidad establecida por la norma aplicable. Verificar que se esté graficando la curva  $F$  vs.  $\Delta L$  (fuerza – alargamiento). Controlar la aguja indicadora de carga para obtener los valores de fluencia, (una vez



alcanzado el punto de fluencia colocar las planchas de caucho para la protección de las mordazas) cuando sea aplicable y fuerza máxima.

10. Una vez producida la rotura de la muestra, cierre la válvula.
11. Retire la probeta y retorne el cabezal superior a su posición inicial.
12. Una vez terminado con el ensayo o ensayos, el analista se encarga de limpiar las mordazas, retirar los contrapesos de la máquina o coordinar con el técnico de apoyo para la realización de estas tareas.
13. El analista es responsable de retornar todas las herramientas y/o accesorios utilizados durante, a sus respectivos lugares.



### 1.5 LAS PROBETAS DE ENSAYO

Para el ensayo de tracción a realizar se prepararon las probetas según lo indicado en la norma ASTM A 370-08a, ver figuras 3 y 4:

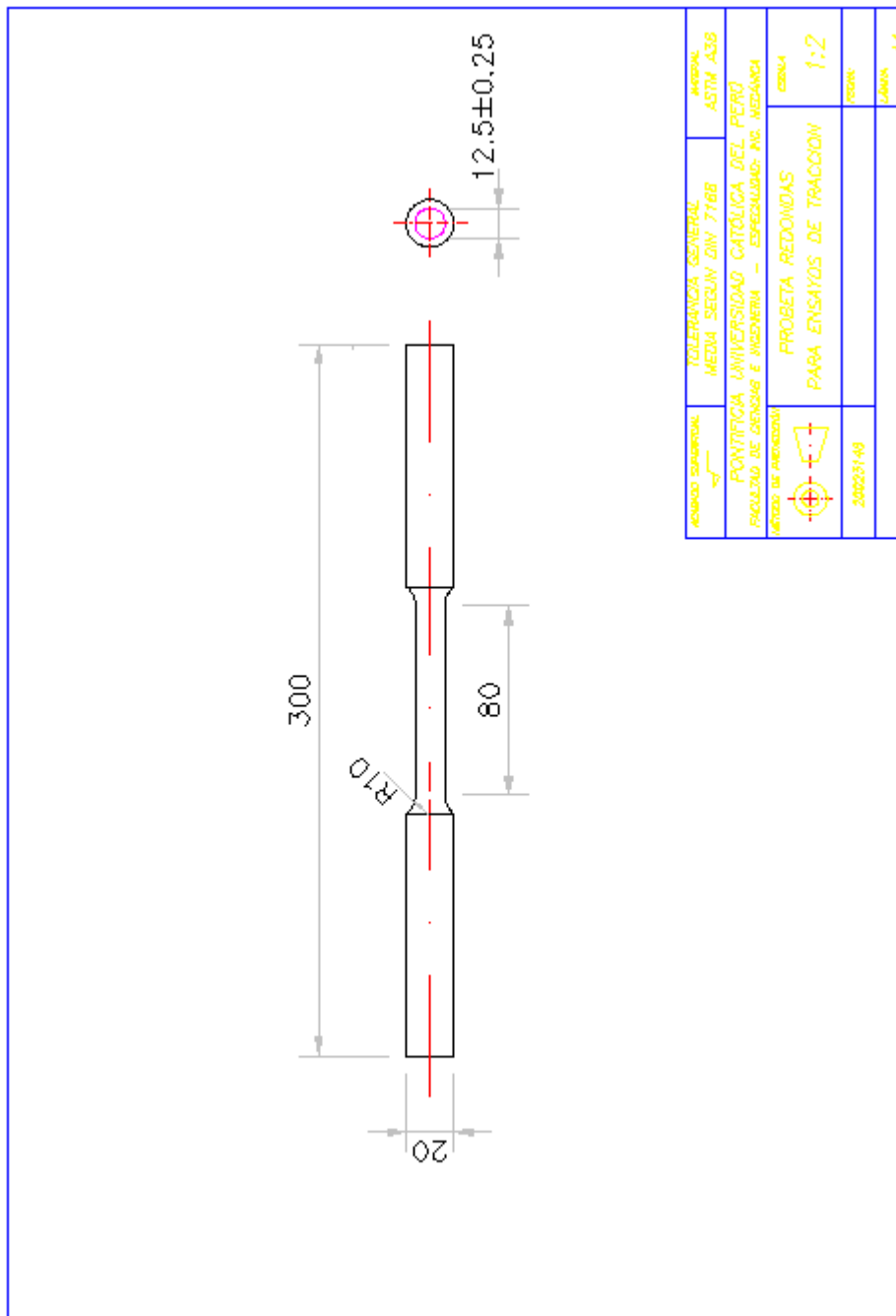


Figura 3. Probeta redonda para ensayo

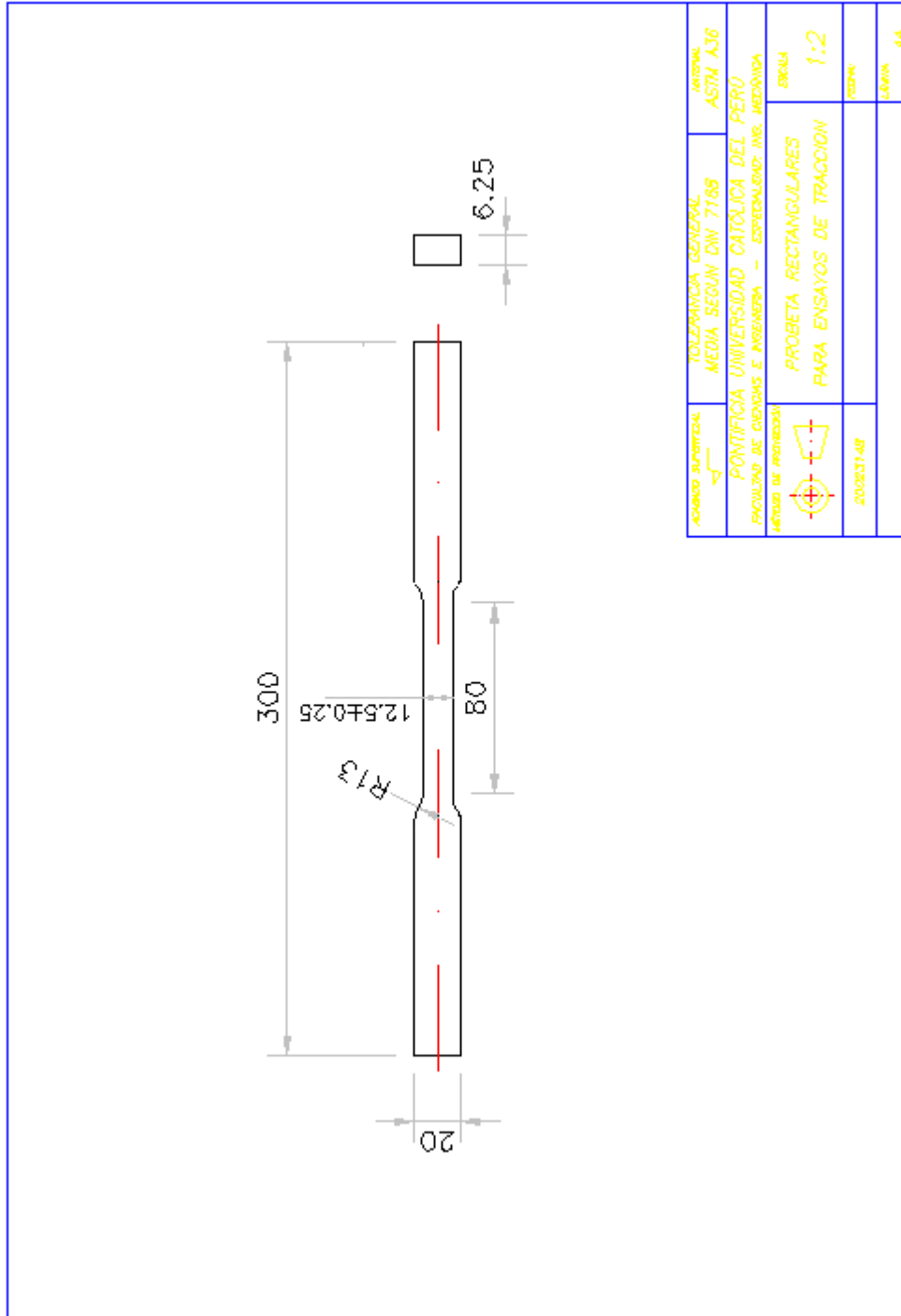


Figura 4. Probeta rectangular para ensayo

## 1.6 EL ENSAYO DE TRACCION

En la PUCP las magnitudes fundamentales que se determinan en los ensayos de tracción realizados en las maquinas Zwick SP-600 y MFL de 60 toneladas para los productos de acero son:

- **Esfuerzo de fluencia ( $\sigma_f$ )**, es el valor de esfuerzo que separa las zonas elásticas y plásticas para un material (en este caso acero). Un pequeño aumento en el esfuerzo por encima del límite elástico producirá un colapso en el material y provocara que se deforme permanentemente, a este comportamiento se le denomina fluencia y el esfuerzo que lo origina es el esfuerzo de fluencia.
- **Esfuerzo máximo ( $\sigma_u$ )**, es el máximo esfuerzo registrado por las maquinas durante el ensayo de tracción, y es el esfuerzo que se produce con la máxima carga también registrada. esta carga suele ser superior a la carga ultima de rotura. Es un parámetro esencial pues refleja la capacidad resistente del material.
- **Deformación plástica final ( $A_{pm}$ )**, es la deformación plástica máxima que experimenta un acero en el ensayo de tracción. Es el aumento de la longitud final del material con relación a la longitud inicial de la medida y esta expresada normalmente como porcentaje de deformación.

## CAPÍTULO 2

### 2. INCERTIDUMBRE Y METODO PARA SU ESTIMACION

#### 2.1 LA INCERTIDUMBRE

Es el parámetro que caracteriza el intervalo dentro del cual se cree se encuentra el valor verdadero de la magnitud medida. Pues aun cuando todos los errores posibles de ser estimados se hayan corregido, existen factores tales como la inevitable presencia de errores aleatorios, la posible existencia de errores sistémicos desconocidos o no constantes en el tiempo y la propia inseguridad de los valores de corrección, provocaran que el resultado corregido siga siendo inseguro. Dicho resultado puede ser muy cercano al valor verdadero de la magnitud medida pero jamás se podrá decir que son iguales.

La estimación de la incertidumbre es de real importancia pues permite a quienes solicitan los diferentes ensayos mecánicos evaluar el material, en un nivel mas allá del puro y simple ensayo pues los lleva al nivel de determinar la fiabilidad exacta del mismo ensayo.

## 2.2 METODO DE ESTIMACION

### 2.2.1 MODELAMIENTO DEL MENSURANDO

Es el modelamiento matemático de la magnitud particular u objeto de medición, el conjunto de operaciones por las cuales se obtiene el valor de un mensurando  $Y$  (magnitud de salida) con la combinación de una serie de magnitudes  $X$  (magnitud de entrada) según un modelo matemático, que puede representarse mediante una ecuación como la siguiente:

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_N), \text{ donde } N \text{ puede tomar el valor de } 1.$$

Esta expresión no es solo la representación matemática de una ley física, sino la expresión de un procedimiento.

### 2.2.2 CALCULO TIPO A DE LA INCERTIDUMBRE

Cuando se realizan una serie de mediciones iguales en condiciones básicamente idénticas, el mejor estimador del valor real es la media ( $\bar{X}$ ) de los resultados individuales obtenidos ( $X_1, X_2, \dots, X_n$ ), estos resultados presentan una dispersión alrededor del valor medio. Un estimador apropiado para esta dispersión es la desviación estándar experimental ( $s$ ):

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Cuando el resultado de la medida es una media, el estimador para la dispersión de los resultados sería la desviación típica experimental de la media, esto es:

$$s' = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

El método de evaluación se basa en la aplicación de métodos estadísticos a una serie de determinaciones repetidas.

Se caracteriza por la varianza estimada a partir de la varianza muestral.

### 2.2.3 CALCULO TIPO B DE LA INCERTIDUMBRE

En realidad todas las incertidumbres estándar podrían evaluarse como se evalúan las incertidumbres tipo A. Con disponibilidad de tiempo y mayores recursos podríamos evaluar las diferentes causas de incertidumbre, algo que no es viable en muchas ocasiones. Es por eso que se dispone de una nueva forma de estimar la desviación estándar asociada al estimador de una magnitud, forma que no esta basada en la distribución de frecuencia de las medidas de la magnitud, dichas formas de cálculo son llamadas tipo B. Las situaciones que se pueden presentar son muchas, pero las dos mas frecuentes con las que se pueden resolver casi todos los casos existentes son:

1. El aporte a la incertidumbre procede de un certificado de calibración. en dicho certificado aparecerá la corrección y la incertidumbre asociada a la calibración con su correspondiente factor de cobertura para estimar la incertidumbre. En este caso la incertidumbre se obtendrá como el cociente entre la incertidumbre de calibración y el factor de cobertura.
2. Cuando la distribución normal no se puede aplicar porque no existe antecedentes que permitan estimar la probabilidad. Es posible que se admita una distribución de probabilidad rectangular, ya que lo único que se puede establecer son los límites superiores e inferiores dentro de los cuales se puede esperar que se encuentre el valor verdadero. La desviación estándar de la distribución rectangular que corresponde a la incertidumbre estándar asociada al estimador es:

$$u(x) = \frac{a}{\sqrt{3}} = 0.5774a$$

## 2.2.4 CALCULO DE INCERTIDUMBRE COMBINADA.

Para determinar la incertidumbre final de la magnitud u objeto de medición, es necesario establecer de qué forma influye cada variable de entrada en el resultado final. Para esto se usa la Ley de Propagación de Varianzas (esta ley combina apropiadamente las incertidumbres aportadas por las magnitudes que influyen sobre el resultado de la medición).

Como cada incertidumbre típica viene representada por una desviación típica el cuadrado de cada una de ellas, es decir, las varianzas, se relacionaran de la siguiente manera:

$$U^2(Y) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial Y}{\partial X_i}\right) U^2(X_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{\partial Y}{\partial X_i} \frac{\partial Y}{\partial X_j} U(X_i) U(X_j) r(X_i, X_j)$$

Donde,

$U(Y)$ , Incertidumbre combinada estimada para la magnitud de salida

$U(X_i)$ , Incertidumbre típica estimada para cada magnitud de entrada

$\left(\frac{\partial Y}{\partial X}\right)$ , Derivadas parciales que representan el coeficiente de sensibilidad de la magnitud de salida con respecto a cada magnitud de entrada

$U(X_i)U(X_j)r(X_i, X_j)$ , Covarianza asociada a las magnitudes de entrada, (r) es el coeficiente de correlación entre cada par de magnitudes de entrada. En la realidad, las magnitudes de entrada casi nunca están correlacionadas, y el coeficiente (r) es de valor cero. Entonces la formula para obtener la incertidumbre combinada seria:

$$U^2(Y) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial Y}{\partial X_i}\right) U^2(X_i)$$



### 2.2.5 CALCULO DE INCERTIDUMBRE EXPANDIDA.

Esta incertidumbre es el producto de la incertidumbre combinada y el **factor de cobertura**. Obteniéndose un intervalo donde se encuentran los valores que puede adoptar la magnitud medida, con una probabilidad o nivel de confianza determinados por el **factor de cobertura**.

En función de los grados efectivos de libertad se determina el factor de cobertura, estos grados se calculan de la siguiente manera:

$$V_{ef} = \frac{U^4(Y)}{\sum_{i=1}^N \frac{(\frac{\partial Y}{\partial X_i})U^4(X_i)}{V_i}}$$

$V_i$  Son los grados de libertad de cada variable que contribuye con la incertidumbre.

Para las contribuciones a la incertidumbre tipo A, el grado de libertad será  $V_i = N - 1$ , donde N es el número de veces que se repite la medición en el ensayo.

Para las contribuciones a la incertidumbre tipo B, el valor de los grados de libertad es 8. Una vez determinados los grados de libertad efectivos, el valor de cobertura (K) se obtiene de la tabla 1.

Vef	1	2	3	4	5	6	7	8	10	20	50	8
K	13.97	4.53	3.31	2.87	2.65	2.52	2.43	2.37	2.28	2.13	2.05	2

**Tabla 1.** Distribución t-Student para un nivel de confianza de aproximadamente el 95%

Al final el valor de la incertidumbre expandida será:

$$U = KU(Y).$$

### 2.3 INCERTIDUMBRES ASOCIADAS A LAS MAGNITUDES QUE INFLUYEN EN EL VALOR DE LA MEDIDA.

Las posibles fuentes de incertidumbre son muchas y entre ellas se encuentran algunas bastante frecuentes que son necesarias examinar:

- **Incetidumbre de repetibilidad ( $U_{Re p}$ )**, tiene su procedencia de las diferencias en el resultado de medida cuando se hace una serie de mediciones iguales. Esta incertidumbre es del tipo A y se usa como estimador la desviación típica experimental de la media:

$$s' = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Una forma que permite obtener adecuadamente la incertidumbre tipo A sin realizar un gran número de repeticiones en cada medida, consiste en mantener un control estadístico que caracterice correctamente la medición.

- **Incetidumbre de la calibración ( $U_C$ )**, es la contribución a la incertidumbre del resultado de medida asociada al certificado de calibración, esta incertidumbre se obtiene dividiendo la incertidumbre expandida de calibración entre el nivel de confianza determinado por el factor de cobertura, de la siguiente manera:

$$U_C = \frac{U_{cal}}{K_{cal}}$$

- **Incetidumbre debido a la exactitud o a la deriva ( $U_D$ )**, cuando se hacen calibraciones de los equipos durante un cierto tiempo representativo, puede existir una contribución a la incertidumbre debido a las diferencias de los equipos en calibraciones sucesivas. Esta incertidumbre es del tipo B y se obtendrá tomando el máximo valor absoluto de la comparación hecha de las diferencias de corrección entre todas las calibraciones consecutivas, de la siguiente manera:

$$U_D = \frac{|C_m - C_{m-1}| \max}{\sqrt{3}}$$

Si en caso no se disponga de valores históricos de calibración, el numerador de la expresión anterior se puede reemplazar por el valor de exactitud en un periodo de tiempo dado por el fabricante del equipo.

- **Incertidumbre debido a la temperatura ( $U_T$ )**, esta contribución a la incertidumbre tiene importancia en equipos en cuyo funcionamiento influye de manera importante la temperatura. Si este no es el caso y se trabaja dentro de los rangos admisibles de temperatura garantizados por el fabricante, entonces no es necesario tener en cuenta esta contribución a la incertidumbre. Esta contribución a la incertidumbre es del tipo B y se calcula de la siguiente manera:

$$U_T = \frac{\text{límite}}{\sqrt{3}}; U_T = \frac{K_T \Delta T L}{\sqrt{3}}$$

$K_T$  Coeficiente que expresa la variación de la sensibilidad del equipo por grado de temperatura

$\Delta T$  Diferencia entre la temperatura medida y la temperatura de calibración

$L$  Lectura de la medida realizada con el equipo

- **Incertidumbre debido a la inestabilidad del instrumento de medida ( $U_I$ )**, se debe a la variación o la oscilación entre varios valores en cada medida tomada por el equipo. Este en un caso de incertidumbre tipo B donde se toma como valor de la medida el valor máximo y el mínimo y se expresa de la siguiente forma:

$$U_I = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{\sqrt{3}}$$

No se debe incluir cuando se ha tomado en cuenta la incertidumbre de tipo A de repetibilidad. Además, esta contribución a la incertidumbre se tendrá en cuenta en equipos digitales solo en el caso que estos presenten inestabilidad en su lectura.

- **Incertidumbre debida al criterio de medida y el operador ( $U_o$ )**, esta contribución a la incertidumbre depende si el equipo es analógico o digital, pues en los equipos analógicos el operador da lectura de punto en punto de la escala y esto puede contribuir a la incertidumbre, la contribución a la incertidumbre será de la siguiente manera:

$$U_o = \frac{(1/2)escala}{\sqrt{3}}$$

No se debe tomar en cuenta si es que previamente se ha considerado la incertidumbre de repetibilidad tipo A.

- **Incertidumbre debida a la resolución ( $U_R$ )**, esta contribución a la incertidumbre solo se debe tener en cuenta en los equipos digitales y es una incertidumbre del tipo B representada de la siguiente manera:

$$U_R = \frac{resolucion}{\sqrt{3}}$$

La resolución del equipo proporciona una incertidumbre mayor cuando menor sea dicha resolución

- **Incertidumbre debida al redondeo ( $U_{Red}$ )**, cuando se redondean los valores obtenidos en una medición se debe considerar la contribución a la incertidumbre tipo B de la siguiente manera:

$$U_{Red} = \frac{unidad_{menor}}{\sqrt{3}}$$

### CAPÍTULO 3 3. REALIZACIÓN DE ENSAYOS MECÁNICOS

#### 3.1 ENSAYOS EN LABORATORIO DE MATERIALES PUCP

Los ensayos de tracción se realizaron en el laboratorio de materiales de la PUCP, con participación de los analistas del área. Estos ensayos se realizaron en las máquinas de tracción bajo los pasos enunciados en el apartado 1.4 perteneciente al capítulo 1, obteniéndose las propiedades de esfuerzo de fluencia, esfuerzo máximo y deformación plástica final.

Las imágenes mostradas en las figuras 5, 6, 7, 8 y 9 pertenecen a la realización de estos ensayos realizados para el presente trabajo.



Figura 5. Probeta redonda para ensayo



Figura 6. Probeta plana para ensayo



Figura 7. Medición de probeta por analista



Figura 8. Realización de ensayo



Figura 9. Probeta redonda después del ensayo

## 3.2 DATOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS

### 3.2.1 DATOS EN MAQUINA ZWICK

Con cada modelo matemático Hallamos cada propiedad cuantificada con su respectivo método. Es decir en esta parte se tiene que hallar el valor de la incertidumbre según el tipo al que pertenezca con su respectiva forma estadística. Los datos usados son los obtenidos en el ensayo de tracción y mostrados en la tabla 2 y 3.

Tabla 2. Resultados de probetas redondas en maquina ZWICK

MUESTRA	PROPIEDAD	N° DE ENSAYO				ANALISTA	INFORME
		1	2	3	4		
Probetas Redondas ASTM A370 - 08	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	336	345	334	348	DM	MAT- TRAC-06- 2/2009
	Esfuerzo Máximo (MPa)	479	480	481	482		
	Alargamiento (%)	36.7	39.5	40.5	36.5		
	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	323	336	331	331	AR	MAT- TRAC-07- 2/2009
	Esfuerzo Máximo (MPa)	475	478	478	481		
	Alargamiento (%)	36.0	40.4	40.0	37.2		
	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	328	328	321	326	RH	MAT- TRAC-10- 2/2009
	Esfuerzo Máximo (MPa)	476	474	474	471		
	Alargamiento (%)	38.2	37.6	40.5	39.9		
	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	330	332	332	327	JS	MAT- TRAC-09- 2/2009
	Esfuerzo Máximo (MPa)	474	479	477	476		
	Alargamiento (%)	39.3	39.8	38.0	39.3		
Esfuerzo de	344	338	339	337	RL	MAT-	

	Fluencia (MPa)						TRAC-01-2/2009
	Esfuerzo Máximo (MPa)	488	487	486	487		
	Alargamiento (%)	37.2	35.6	36.2	36.2		

Tabla 3. Resultados de probetas planas en maquina ZWICK

MUESTRA	PROPIEDAD	N° DE ENSAYO				ANALISTA	INFORME
		1	2	3	4		
Probetas Planas de acero ASTM A370 - 08	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	365	353	354	355	DM	MAT-TRAC-06-3/2009
	Esfuerzo Máximo (MPa)	487	481	481	480		
	Alargamiento (%)	33.7	34.6	34.5	35.2		
	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	357	356	354	354	AR	MAT-TRAC-07-3/2009
	Esfuerzo Máximo (MPa)	474	478	478	481		
	Alargamiento (%)	33.2	33.2	33.2	33.4		
	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	354	358	359	361	JS	MAT-TRAC-09-3/2009
	Esfuerzo Máximo (MPa)	471	471	473	474		
	Alargamiento (%)	33.4	35.0	34.2	35.7		

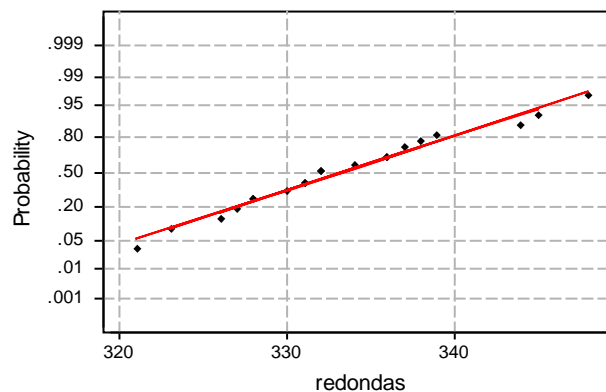


Esfuerzo de Fluencia (MPa)	351	358	349	347	RH	MAT-TRAC-10-3/2009
Esfuerzo Máximo (MPa)	473	476	476	475		
Alargamiento (%)	32.5	33.9	33.3	34.5		
Esfuerzo de Fluencia (MPa)	355	361	354	350	RL	MAT-TRAC-01-3/2009
Esfuerzo Máximo (MPa)	490	484	476	473		
Alargamiento (%)	34.8	33.6	33.2	34.6		

Con los datos de las tablas 2 y 3 realizamos una **prueba de normalidad** para las tres propiedades a estudiar usando Anderson-Darling donde si el P-Value es mayor a 0.05, los datos siguen una distribución normal. Para estas pruebas de normalidad se empleó el software MINITAB

Para el esfuerzo de fluencia tenemos:

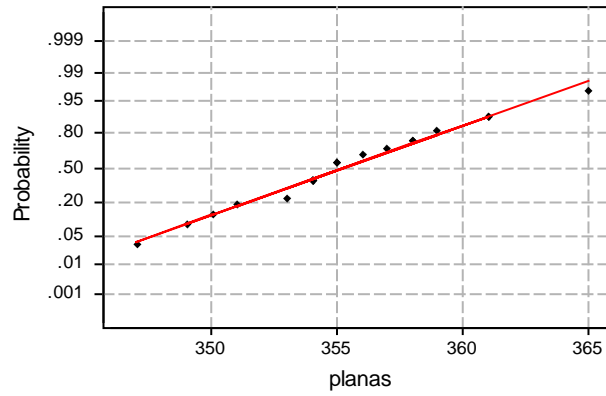
Probetas Redondas



Average: 333.3  
StDev: 7.18991  
N: 20

Anderson-Darling Normality Test  
A-Squared: 0.212  
P-Value: 0.831

Probetas Planas

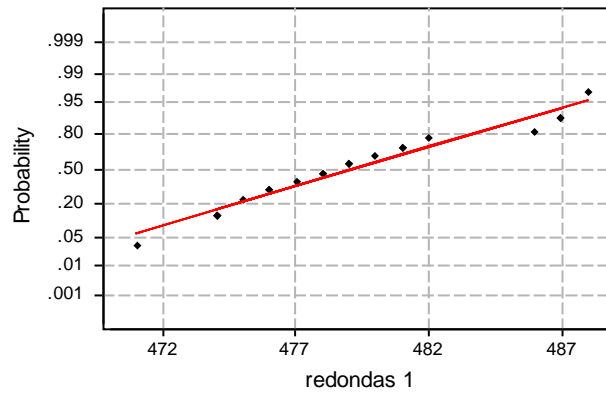


Average: 355.25  
StDev: 4.35135  
N: 20

Anderson-Darling Normality Test  
A-Squared: 0.286  
P-Value: 0.588

Para el esfuerzo máximo tenemos:

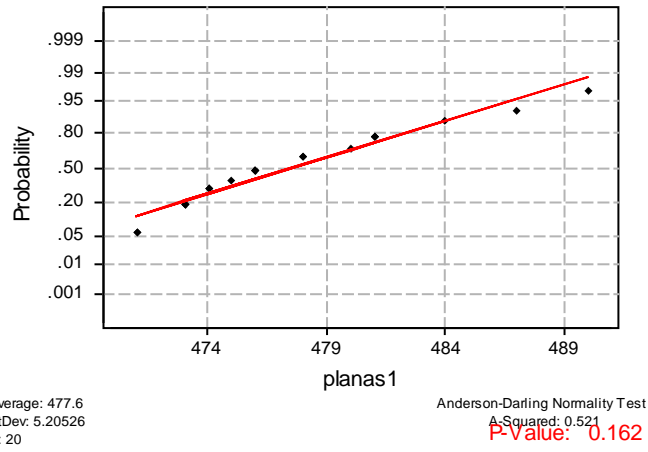
Probetas Redondas



Average: 479.15  
StDev: 4.89118  
N: 20

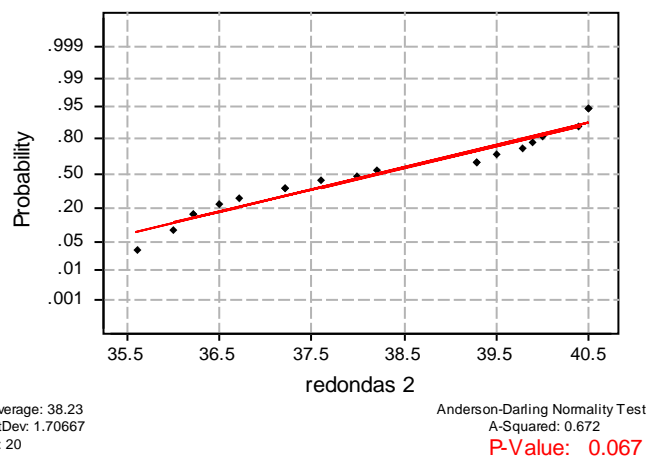
Anderson-Darling Normality Test  
A-Squared: 0.443  
P-Value: 0.258

Probetas Planas

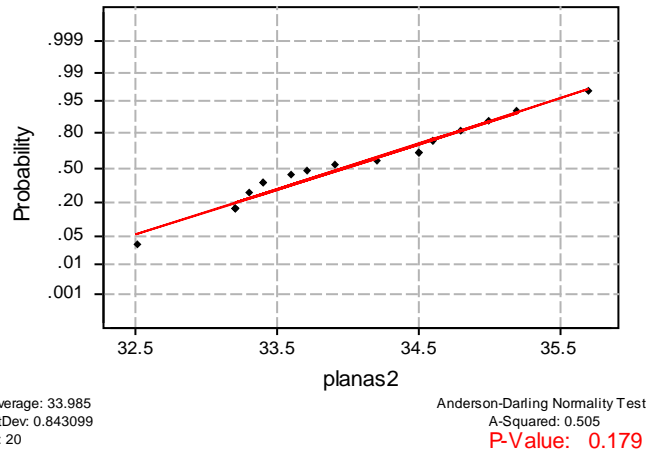


Para la deformación plástica final tenemos:

Probetas Redondas



Probetas Planas



### 3.2.2 DATOS EN MAQUINA MFL

En las tablas 4 y 5 se muestran los datos obtenidos en los ensayos para esta máquina.

Tabla 4. Resultados de probetas redondas en maquina MFL

MUESTRA	PROPIEDAD	N° DE ENSAYO				ANALISTA	INFORME
		1	2	3	4		
Probetas Redondas ASTM A370 - 08	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	325	322	331	326	DM	MAT-TRAC-06-5/2009
	Esfuerzo Máximo (MPa)	482	487	480	487		
	Alargamiento (%)	38.9	37.1	38.3	36.7		
	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	323	325	327	329	AR	MAT-TRAC-07-5/2009
	Esfuerzo Máximo (MPa)	479	476	479	474		

Alargamiento (%)	37.6	38.0	37.2	36.6		
Esfuerzo de Fluencia (MPa)	331	323	328	331	JS	MAT-TRAC-09-5/2009
Esfuerzo Máximo (MPa)	480	480	482	478		
Alargamiento (%)	38.4	39.1	39.1	39.9		
Esfuerzo de Fluencia (MPa)	318	318	325	325	RH	MAT-TRAC-10-5/2009
Esfuerzo Máximo (MPa)	48	480	476	483		
Alargamiento (%)	38.2	37.3	36.9	39.7		
Esfuerzo de Fluencia (MPa)	324	323	321	322	RL	MAT-TRAC-01-5/2009
Esfuerzo Máximo (MPa)	479	478	479	479		
Alargamiento (%)	36.8	36.5	36.8	36.8		

Tabla 5. Resultados de probetas planas en maquina MFL

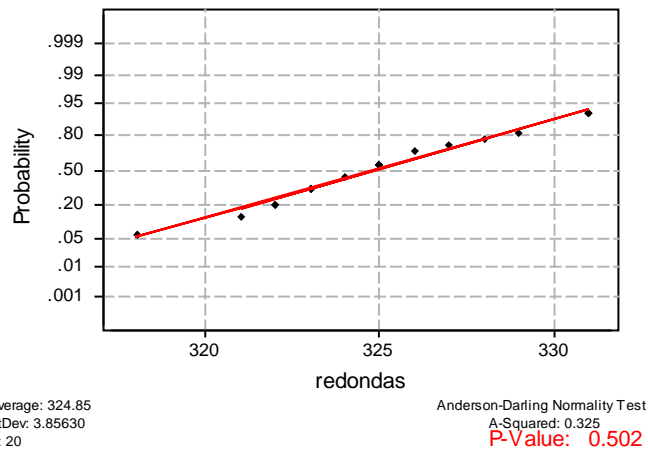
MUESTRA	PROPIEDAD	N° DE ENSAYO				ANALISTA	INFORME
		1	2	3	4		
Probetas Planas de acero	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	358	355	353	353	DM	MAT-TRAC-06-6/2009

ASTM A370 - 08 métrico y ASTM E8M - 08	Esfuerzo Máximo (MPa)	486	488	482	482		
	Alargamiento (%)	33.8	32.7	34.6	32.6		
	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	351	340	353	350	AR	MAT- TRAC-07- 6/2009
	Esfuerzo Máximo (MPa)	475	472	473	471		
	Alargamiento (%)	33.6	33.4	32.8	31.4		
	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	347	342	335	327	JS	MAT- TRAC-09- 6/2009
	Esfuerzo Máximo (MPa)	469	475	474	471		
	Alargamiento (%)	35.5	33.9	32.8	33.8		
	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	358	367	363	362	RH	MAT- TRAC-10- 6/2009
	Esfuerzo Máximo (MPa)	483	489	480	482		
	Alargamiento (%)	32.5	32.8	32.6	33.0		
	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	355	352	356	367	RL	MAT- TRAC-10- 6/2009
Esfuerzo Máximo (MPa)	481	477	483	492			
Alargamiento (%)	30.2	31.8	31.6	31.6			

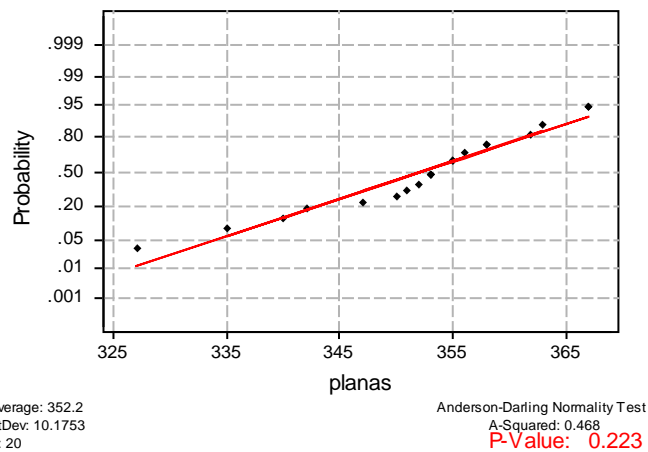
Con los datos de las tablas 4 y 5 realizamos una **prueba de normalidad** para las tres propiedades a estudiar usando Anderson-Darling donde si el P-Value es mayor a 0.05, los datos siguen una distribución normal.

Para el esfuerzo de fluencia tenemos:

Probetas Redondas

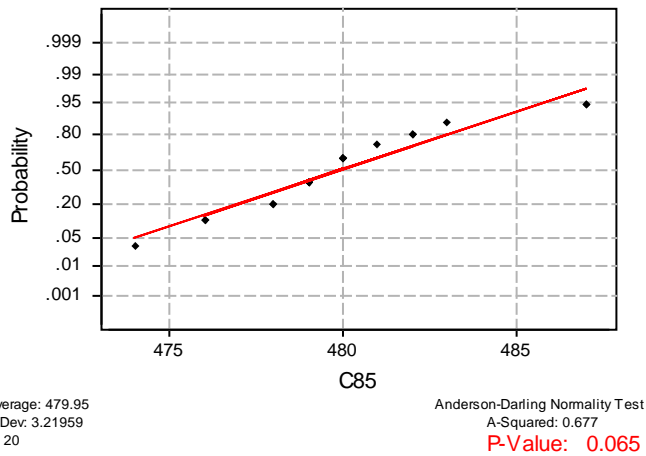


Probetas Planas

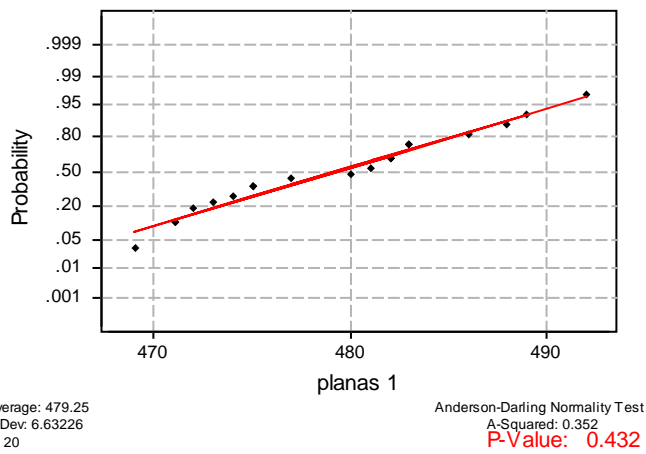


Para el esfuerzo máximo tenemos:

Probetas Redondas



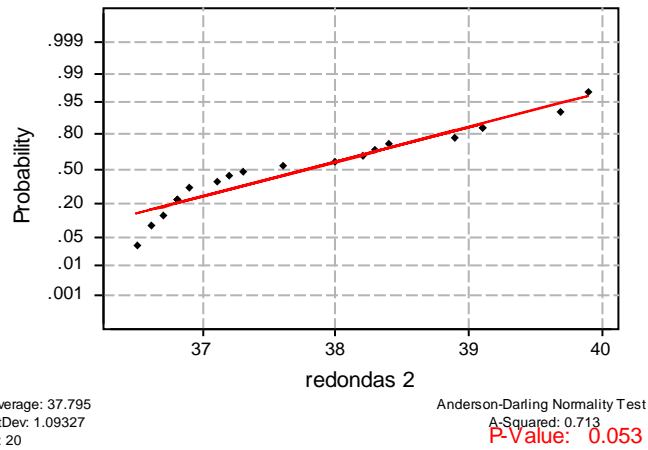
Probetas Planas



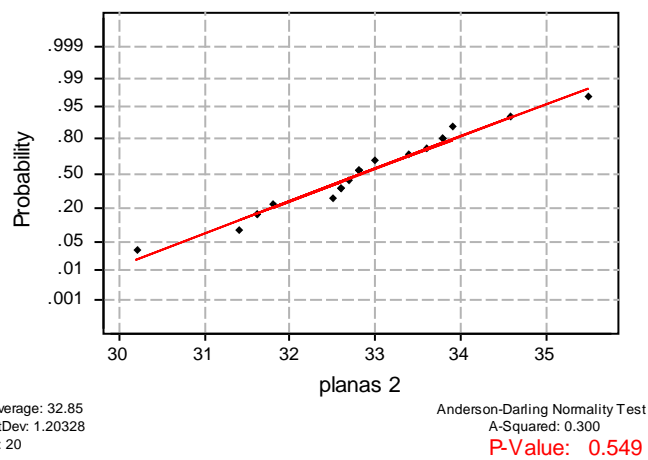


Para la deformación plástica final tenemos:

Probetas Redondas



Probetas Planas



Para estimar la desviación estándar de los ensayos obtenidos se hará el método de estimación de sigma mediante el grafico de control S para así eliminar datos atípicos.

## CAPÍTULO 4

### 4. ANALISIS DE RESULTADOS

#### 4.1 MODELOS MATEMÁTICOS

Los modelos matemáticos asociados a las propiedades que nos brinda el ensayo de tracción son los siguientes:

##### Modelo asociado a la medida de Esfuerzo de Fluencia

$$\sigma_f = \frac{F_x}{S_e}$$

$$\sigma_f = \frac{F_x}{S_e} = \frac{4F_x}{\pi d^2} \dots \text{para probetas redondas}$$

$$\sigma_f = \frac{F_x}{A} = \frac{F_x}{ab} \dots \text{para probetas planas}$$

F<sub>x</sub>: Valor de la carga leído en la maquina.

S<sub>e</sub>: Superficie transversal de la probeta.

ab: área transversal de probeta plana

d: diámetro de probeta redonda

### Asociada a la medida de Esfuerzo Máximo

$$\sigma_u = \frac{F_x}{S_e}$$

$$\sigma_f = \frac{F_x}{S_e} = \frac{4F_x}{\pi d^2} \dots \text{para probetas redondas}$$

$$\sigma_f = \frac{F_x}{A} = \frac{F_x}{ab} \dots \text{para probetas planas}$$

F<sub>x</sub>: Valor de la carga leído en la maquina.

S<sub>e</sub>: Superficie transversal de la probeta.

ab: área transversal de probeta plana

### Medición asociada a la Deformación Plástica Final

$$A_{pm} = \frac{L_f - L_{om}}{L_{om}} 100$$

A<sub>pm</sub>: Alargamiento permanente.

L<sub>f</sub>: longitud final medida.

L<sub>om</sub>: longitud inicial medida.

## 4.2 IDENTIFICACION Y ORGANIZACIÓN DE LAS FUENTES DE INCERTIDUMBRE

### ASOCIADA AL ESFUERZO DE FLUENCIA Y MAXIMO

**1. Medición de la fuerza.** La fuerza se mide con las maquinas de tracción empleadas en el laboratorio de materiales, produciéndose las siguientes fuentes de incertidumbre tales como la incertidumbre de repetibilidad, de calibración, debido a la resolución y a la deriva.

**2. Medición de la superficie transversal.** La superficie transversal de las probetas se mide con un pie de rey o vernier el cual presenta las incertidumbres como error de

abbe, efecto de paralaje, falta de paralelismo entre mordazas, resolución del vernier y repetibilidad.

Todo esto se puede reemplazar si es que se tiene un certificado de calibración que entregue la incertidumbre expandida y el factor de cobertura, pues solo se tendrá que dividir la incertidumbre expandida entre el factor de cobertura para obtener la incertidumbre estándar del instrumento.

### **ASOCIADA A LA DEFORMACION PLASTICA FINAL**

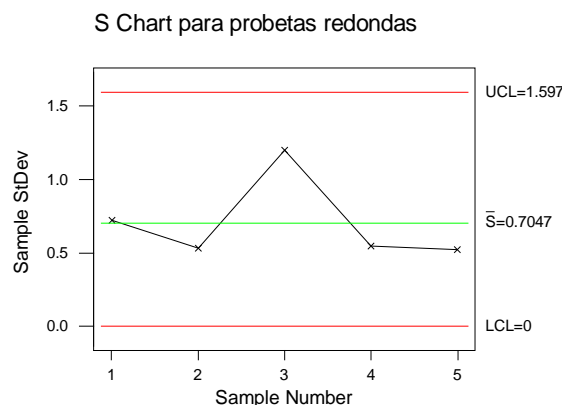
**1. Medición de las longitudes inicial y final.** Realizada también por un vernier presentando las mismas fuentes de incertidumbre ya planteadas.

#### **4.3 INCERTIDUMBRE EN MAQUINA ZWICK**

##### **4.3.1 INCERTIDUMBRE ASOCIADA AL ESFUERZO DE FLUENCIA**

###### **Medición de la fuerza**

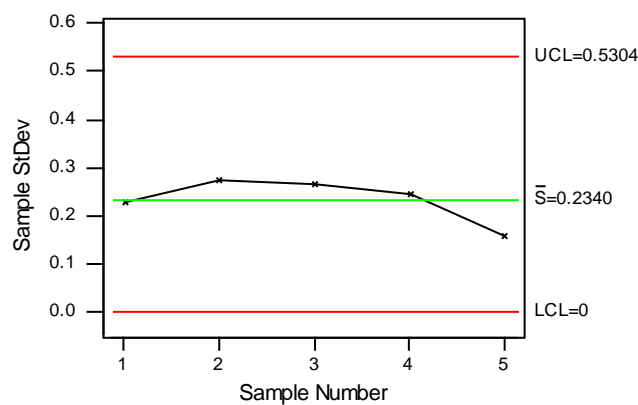
**a) Incertidumbre de repetibilidad (Tipo A):**



Usando los datos obtenidos en los ensayos se toman los valores obtenidos de fuerza donde el valor de desviación estándar (incertidumbre tipo A) para el método ensayado en las probetas redondas se obtiene de la siguiente manera:

$$U_a = \sigma = \frac{\bar{S}}{C_4} = \frac{0.7047}{0.94} = 0.7245kN$$

S Chart para probetas planas



El valor de desviación estándar para las probetas planas es:

$$U_a = \sigma = \frac{\bar{S}}{C_4} = \frac{0.2340}{0.94} = 0.241kN$$

#### b) Incertidumbre de la calibración:

El certificado de calibración de la maquina ZWICK expuesto en el expediente INF-LE 111-07, nos reporta una incertidumbre de 0.020 kN para una capacidad de 200kN con un factor de cobertura de K=2

$$U_c = \frac{0.020}{2} = 0.010kN$$

### c) Incertidumbre debido a la resolución:

La resolución de la maquina ZWICK dada por el fabricante es de 0.001kN, y la incertidumbre para este caso se estima de la siguiente manera:

$$U_R = \frac{0.001}{\sqrt{12}} = 0.000289kN$$

### d) Incertidumbre debida a deriva:

Con los expedientes de calibración LFP-002-2009 y INF-LE 111-07, se cuenta con una calibración histórica, la contribución de esta incertidumbre es la siguiente:

$$U_D = \frac{|0.020 - 0.074|}{\sqrt{3}} = 0.03kN$$

### e) Incertidumbre debida al proceso de medida:

Esta incertidumbre proviene de las posibles contribuciones que ofrecen factores tales como el posible mal centrado de una probeta en la maquina, que las probetas presenten desviaciones de forma y dimensiones. Esta incertidumbre se calcula de la siguiente manera:

Fuerzas en probetas redondas				Rangos
40.96	40.1	40.65	41.83	1.73
39	39.9	40.22	39.98	1.22
39.8	42.12	39.4	40.4	2.72
40.1	41.23	40.6	40.06	1.17
39.9	40.11	41.09	40.44	0.54

$$U_P = \frac{V_{\max}}{\sqrt{3}} = \frac{2.72}{\sqrt{3}} = 1.57kN$$

Fuerzas en probetas planas				Rangos
20.84	20.29	20.57	20.48	0.28
20.63	20.36	20.14	20	0.63
20.64	20.91	20.79	21.26	0.62
20.15	20.48	19.93	20	0.55
20.24	20.3	20	20	0.3

$$U_p = \frac{V_{\max}}{\sqrt{3}} = \frac{0.63}{\sqrt{3}} = 0.364kN$$

Ahora combinaremos todas las contribuciones de incertidumbre tipo B que estén presentes en la fuerza como variable de entrada:

Para las probetas redondas tendríamos:

$$u_{fuerza} = \sqrt{U_R^2 + U_D^2 + U_C^2 + U_a^2 + U_p^2} = 0.000289^2 + 0.03^2 + 0.010^2 + 0.7245^2 + 1.57^2 = 1.73kN$$

Para las probetas planas tendríamos:

$$u_{fuerza} = \sqrt{U_R^2 + U_D^2 + U_C^2 + U_a^2 + U_p^2} = 0.000289^2 + 0.03^2 + 0.010^2 + 0.241^2 + 0.364^2 = 0.37kN$$

### **Medición del área**

#### **f) Incertidumbre obtenida del certificado de calibración:**

Se tiene una incertidumbre en el certificado LLA-066-2007, este dato puede ser utilizado para encontrar la incertidumbre estándar del vernier, de la siguiente manera:

$$U = \frac{U_{\text{certificado}}}{k} = \frac{13}{2} = 6.5\mu m$$

### g) Incertidumbre obtenida de la repetibilidad:

Se tienen datos de mediciones hechas por diferentes analistas con el vernier con estos datos obtendremos la incertidumbre tipo A, de la siguiente manera:

#### DATOS REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD

N°	Medidas (mm) por analista			
	DM	JS	AR	RH
1	50.04	50.04	50.08	50.04
2	50.05	50.04	50.05	50.06
3	50.04	50.04	50.05	50.06
4	50.05	50.03	50.08	50.05
5	50.04	50.04	50.05	50.04
6	50.04	50.05	50.05	50.05
7	50.04	50.05	50.06	50.03
8	50.04	50.04	50.06	50.05
9	50.04	50.04	50.07	50.05
10	50.05	50.04	50.06	50.04

$$U_{\text{repetibilidad}} = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.011368 \text{ mm}$$

### h) Incertidumbre debido a la resolución del vernier:

En el certificado de calibración LLA-066-2007 del vernier encontramos el valor de resolución del instrumento que nos proporciona la siguiente incertidumbre a la medida:

$$U_R = \frac{0.01}{\sqrt{12}} = 0.00289 \text{ mm}$$



Ahora combinaremos todas las contribuciones de incertidumbre para el vernier, tanto para probetas redondas como planas:

$$u_d = \sqrt{U_R^2 + U_{\text{repetibilidad}}^2 + U^2} = \sqrt{0.00284^2 + 0.011368^2 + 0.0065^2} = 0.0134\text{mm}$$

### Para probetas redondas

¡Error! Marcador no definido.

$$S_e = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$u_{s_e} = \frac{\pi d u_d}{2} = \frac{3.1416 \times 12.445 \times 0.0134}{2} = 0.26\text{mm}^2$$

### Para probetas planas

¡Error! Marcador no definido.  $S_e = a.b$

$$u_{s_e} = a.u_d + b.u_d = 12.451 \times 0.0134 + 4.611 \times 0.0134 = 0.23\text{mm}^2$$

### Incertidumbre combinada para probetas redondas:

Para incorporar las diferentes contribuciones a la incertidumbre combinada del esfuerzo de fluencia se necesita conocer el coeficiente de sensibilidad de cada fuente en base al modelo matemático planteado para esta propiedad.

$$\sigma_f = \frac{F_x}{S_e}$$

Los valores promedio de cada una de las magnitudes de entrada son:

$$F_x = 43.54\text{kN} \quad \text{Es el promedio tomado de las probetas redondas}$$

$$S_e = 121.62\text{mm}^2 \quad \text{Es el promedio tomado de las probetas redondas}$$

$$C_{F_x} = \frac{1}{S_e} = \frac{1}{121.62} = 0.0082 \text{ mm}^{-2} \quad \text{Para probetas redondas}$$

$$C_{S_e} = -\frac{F}{S_e^2} = \frac{-43.54}{121.62^2} = -0.00294 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^4} \quad \text{Para probetas redondas}$$

$$U_\sigma = \sqrt{C_{F_x}^2 \cdot \mu_{fuerza}^2 + C_{S_e}^2 \cdot \mu_{S_e}^2} = \sqrt{0.0082^2 \times 1.73^2 + 0.00294^2 \times 0.26^2} = 0.014 \text{ MPa}$$

### **Incertidumbre combinada para probetas planas:**

Para incorporar las diferentes contribuciones a la incertidumbre combinada del esfuerzo de fluencia se necesita conocer el coeficiente de sensibilidad de cada fuente en base al modelo matemático planteado para esta propiedad.

$$\sigma_f = \frac{F_x}{S_e}$$

Los valores promedio de cada una de las magnitudes de entrada son:

$$F_x = 21.4 \text{ kN} \quad \text{Es el promedio tomado de las probetas planas}$$

$$S_e = 57.405 \text{ mm}^2 \quad \text{Es el promedio tomado de las probetas planas}$$

$$C_{F_x} = \frac{1}{S_e} = \frac{1}{57.405} = 0.0174 \text{ mm}^{-2} \quad \text{Para probetas planas}$$

$$C_{S_e} = -\frac{F}{S_e^2} = \frac{-21.4}{57.405^2} = -0.00649 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^4} \quad \text{Para probetas planas}$$

$$U_\sigma = \sqrt{C_{F_x}^2 \cdot \mu_{fuerza}^2 + C_{S_e}^2 \cdot \mu_{S_e}^2} = \sqrt{0.0174^2 \times 0.37^2 + 0.00649^2 \times 0.23^2} = 0.0066 \text{ MPa}$$

### **Incertidumbre expandida:**

Considerando el nivel de confianza al 95 % para la magnitud evaluada cuyos resultados siguen una distribución normal de probabilidades se trabaja con el factor de cobertura  $k=2$ , de manera que la incertidumbre expandida asociada al proceso de medición será:

$$U = k u_c$$

Para probetas redondas:

$$U = k u_c = 2(0.014) = 0.028MPa$$

Para probetas planas:

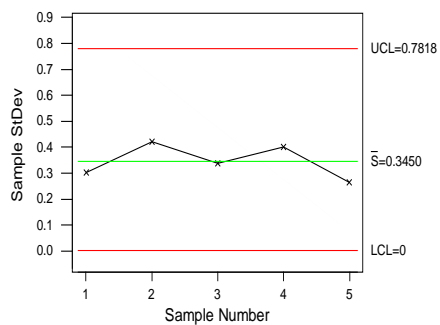
$$U = k u_c = 2(0.0066) = 0.0132MPa$$

#### 4.3.2 INCERTIDUMBRE ASOCIADA AL ESFUERZO MÁXIMO

##### Medición de la fuerza

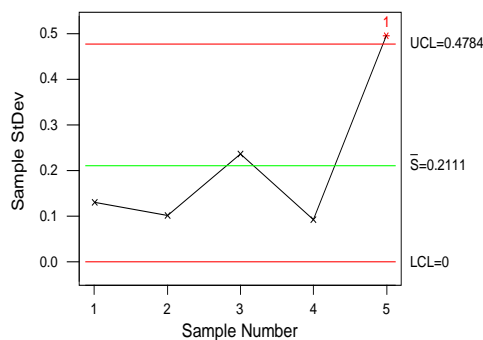
##### a) Incertidumbre de repetibilidad

S Chart para probetas redondas



$$U_a = \sigma = \frac{\bar{S}}{C_4} = \frac{0.3450}{0.94} = 0.37kN$$

S Chart para probetas planas



$$U_a = \sigma = \frac{\bar{S}}{C_4} = \frac{0.2111}{0.9727} = 0.22kN$$

**b) Incertidumbre de la calibración:**

El certificado de calibración de la maquina ZWICK expuesto en el expediente INF-LE 111-07, nos reporta una incertidumbre de 0.020 kN para una capacidad de 200kN con un factor de cobertura de K=2

$$U_c = \frac{0.020}{2} = 0.010kN$$

**c) Incertidumbre debido a la resolución:**

$$U_R = \frac{0.001}{\sqrt{12}} = 0.000288kN$$

**d) Incertidumbre debida a deriva:**

Con los expedientes de calibración LFP-002-2009 y INF-LE 111-07, se cuenta con una calibración histórica, la contribución de esta incertidumbre es la siguiente:

$$U_D = \frac{|0.020 - 0.074|}{\sqrt{3}} = 0.03kN$$

**e) Incertidumbre debida al proceso de medida:**

Esta incertidumbre proviene de las posibles contribuciones que ofrecen factores tales como el posible mal centrado de una probeta en la maquina, que las probetas presenten desviaciones de forma y dimensiones. Calculándose como sigue:

Fuerzas en probetas redondas				Rangos
58.4	58.61	58.54	57.94	0.67
57.62	58.65	58.1	58.105	1.03
57.83	57.97	58.54	58.4	0.71
57.6	58.5	58.34	58.31	0.9

58.36	58.34	58.9	58.44	0.56
-------	-------	------	-------	------

$$U_p = \frac{V_{\max}}{\sqrt{3}} = \frac{1.03}{\sqrt{3}} = 0.595kN$$

Fuerzas en probetas planas				Rangos
27.81	27.66	27.95	27.7	0.15
27.4	27.34	27.2	27.2	0.2
27.46	27.51	27.4	27.92	0.52
27.15	27.23	27.18	27.36	0.18
27.93	27.2	26.85	26.91	1.02

$$U_p = \frac{V_{\max}}{\sqrt{3}} = \frac{1.02}{\sqrt{3}} = 0.589kN$$

Ahora combinaremos todas las contribuciones de incertidumbre tipo B que están presentes en la fuerza como variable de entrada:

Para las probetas redondas tendríamos:

$$u_{\text{fuerza}} = \sqrt{U_R^2 + U_D^2 + U_C^2 + U_a^2 + U_p^2} = 0.000289^2 + 0.03^2 + 0.010^2 + 0.37^2 + 0.595^2 = 0.691kN$$

Para las probetas planas tendríamos:

$$u_{\text{fuerza}} = \sqrt{U_R^2 + U_D^2 + U_C^2 + U_a^2 + U_p^2} = 0.000289^2 + 0.03^2 + 0.010^2 + 0.22^2 + 0.589^2 = 0.629kN$$

### Medición del área

#### e) Incertidumbre obtenida del certificado de calibración:

Se tiene una incertidumbre en el certificado LLA-066-2007, este dato puede ser utilizado para encontrar la incertidumbre estándar del vernier, de la siguiente manera:

$$U = \frac{U_{\text{certificado}}}{k} = \frac{13}{2} = 6.5 \mu\text{m}$$

#### f) Incertidumbre obtenida de la repetibilidad:

Se tienen datos de mediciones hechas por diferentes analistas con el vernier con estos datos obtendremos la incertidumbre tipo A, de la siguiente manera:

#### DATOS REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD

N°	Medidas (mm) por analista			
	DM	JS	AR	RH
1	50.04	50.04	50.08	50.04
2	50.05	50.04	50.05	50.06
3	50.04	50.04	50.05	50.06
4	50.05	50.03	50.08	50.05
5	50.04	50.04	50.05	50.04
6	50.04	50.05	50.05	50.05
7	50.04	50.05	50.06	50.03
8	50.04	50.04	50.06	50.05
9	50.04	50.04	50.07	50.05
10	50.05	50.04	50.06	50.04

$$U_{\text{repetibilidad}} = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.011368\text{mm}$$

#### g) Incertidumbre debido a la resolución del vernier:

En el certificado de calibración LLA-066-2007 del vernier encontramos el valor de resolución del instrumento que nos proporciona la siguiente incertidumbre a la medida:

$$U_R = \frac{0.01}{\sqrt{12}} = 0.00288\text{mm}$$

Ahora combinaremos todas las contribuciones de incertidumbre para el vernier

$$u_d = \sqrt{U_R^2 + U_{\text{repetibilidad}}^2 + U^2} = \sqrt{0.00284^2 + 0.011368^2 + 0.0065^2} = 0.0134\text{mm}$$

### Para probetas redondas

¡Error! Marcador no definido.

$$S_e = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$u_{s_e} = \frac{\pi d u_d}{2} = \frac{3.1416 \times 12.445 \times 0.0134}{2} = 0.26\text{mm}^2$$

### Para probetas planas

¡Error! Marcador no definido.  $S_e = a.b$

$$u_{s_e} = a.u_d + b u_d = 12.451 \times 0.0134 + 4.611 \times 0.0134 = 0.23\text{mm}^2$$

### Incertidumbre combinada para probetas redondas:

Para incorporar las diferentes contribuciones a la incertidumbre combinada del esfuerzo de fluencia se necesita conocer el coeficiente de sensibilidad de cada fuente en base al modelo matemático planteado para esta propiedad.

$$\sigma_f = \frac{F_x}{S_e}$$

Los valores promedio de cada una de las magnitudes de entrada son:

$F_x = 58.28\text{kN}$  Es el promedio tomado de las probetas redondas

$S_e = 121.62\text{mm}^2$  Es el promedio tomado de las probetas redondas

$$C_{F_x} = \frac{1}{S_e} = \frac{1}{121.62} = 0.0082 \text{ mm}^{-2} \quad \text{Para probetas redondas}$$

$$C_{S_e} = -\frac{F}{S_e^2} = \frac{-58.280}{121.62^2} = -0.00394 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^4} \quad \text{Para probetas redondas}$$

$$U_\sigma = \sqrt{C_{F_x}^2 \cdot \mu_{\text{fuerza}}^2 + C_{S_e}^2 \cdot \mu_{S_e}^2} = \sqrt{0.0082^2 \times 0.691^2 + 0.00394^2 \times 0.26^2} = 0.00576 \text{ MPa}$$

### **Incertidumbre combinada para probetas planas:**

Para incorporar las diferentes contribuciones a la incertidumbre combinada del esfuerzo de fluencia se necesita conocer el coeficiente de sensibilidad de cada fuente en base al modelo matemático planteado para esta propiedad.

$$\sigma_f = \frac{F_x}{S_e}$$

Los valores promedio de cada una de las magnitudes de entrada son:

$F_x = 27.415 \text{ kN}$  Es el promedio tomado de las probetas planas

$S_e = 57.405 \text{ mm}^2$  Es el promedio tomado de las probetas planas

$$C_{F_x} = \frac{1}{S_e} = \frac{1}{57.405} = 0.0174 \text{ mm}^{-2} \quad \text{Para probetas planas}$$

$$C_{S_e} = -\frac{F}{S_e^2} = \frac{-27.415}{57.405^2} = -0.00831 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^4} \quad \text{Para probetas planas}$$

$$U_\sigma = \sqrt{C_{F_x}^2 \cdot \mu_{\text{fuerza}}^2 + C_{S_e}^2 \cdot \mu_{S_e}^2} = \sqrt{0.0174^2 \times 0.629^2 + 0.00831^2 \times 0.23^2} = 0.011 \text{ MPa}$$

### **Incertidumbre expandida:**

**Para probetas redondas:**

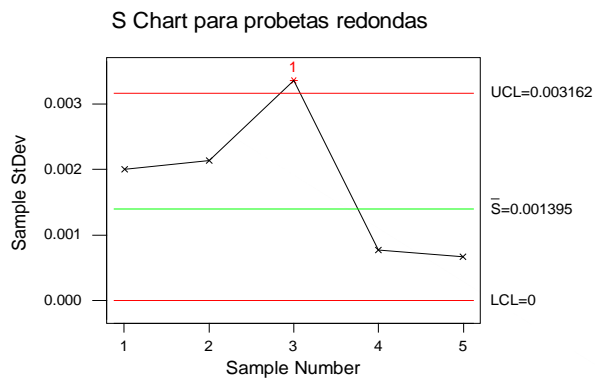
$$U = k u_c = 2(0.00576) = 0.011 \text{ MPa}$$



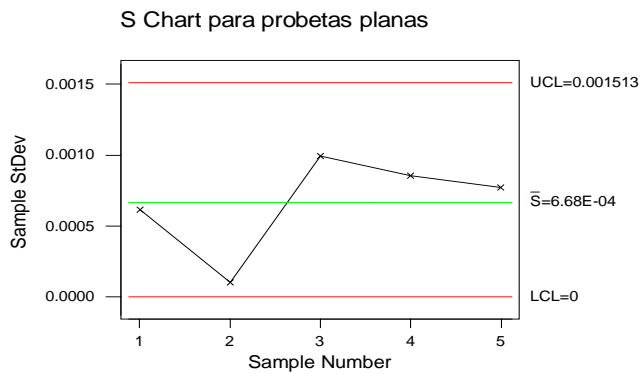
Para probetas planas:

$$U = k u_c = 2(0.011) = 0.022MPa$$

### 4.3.3 INCERTIDUMBRE ASOCIADA A LA DEFORMACION PLASTICA FINAL



$$U_a = \frac{0.001395}{0.94} = 0.00143mm$$



$$U_a = \frac{0.00067}{0.94} = 0.0007mm$$

### Medición de longitud inicial (Lom)

#### a) Incertidumbre obtenida del certificado de calibración:

Se tiene una incertidumbre en el certificado LLA-066-2007, este dato puede ser utilizado para encontrar la incertidumbre estándar del vernier, de la siguiente manera:

$$U = \frac{U_{certificado}}{k} = \frac{13}{2} = 6.5 \mu m$$

**b) Incertidumbre obtenida de la repetibilidad:**

Se tienen datos de mediciones hechas por diferentes analistas con el vernier con estos datos obtendremos la incertidumbre tipo A, de la siguiente manera:

**DATOS REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD**

N°	Medidas (mm) por analista			
	DM	JS	AR	RH
1	50.04	50.04	50.08	50.04
2	50.05	50.04	50.05	50.06
3	50.04	50.04	50.05	50.06
4	50.05	50.03	50.08	50.05
5	50.04	50.04	50.05	50.04
6	50.04	50.05	50.05	50.05
7	50.04	50.05	50.06	50.03
8	50.04	50.04	50.06	50.05
9	50.04	50.04	50.07	50.05
10	50.05	50.04	50.06	50.04

$$U_{\text{repetibilidad}} = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.011368\text{mm}$$

**c) Incertidumbre debido a la resolución del vernier:**

En el certificado de calibración LLA-066-2007 del vernier encontramos el valor de resolución del instrumento que nos proporciona la siguiente incertidumbre a la medida:

$$U_R = \frac{0.01}{\sqrt{12}} = 0.00288\text{mm}$$

$$u_{\text{vernier}} = \sqrt{U_R^2 + U_{\text{repetibilidad}}^2 + U^2} = 0.00288^2 + 0.011368^2 + 0.0065^2 = 0.0134\text{mm}$$

### Medición de longitud final (Lf)

#### a) Incertidumbre obtenida del certificado de calibración:

Se tiene una incertidumbre en el certificado LLA-066-2007, este dato puede ser utilizado para encontrar la incertidumbre estándar del vernier, de la siguiente manera:

$$U = \frac{U_{\text{certificado}}}{k} = \frac{13}{2} = 6.5 \mu m$$

#### b) Incertidumbre obtenida de la repetibilidad:

Se tienen datos de mediciones hechas por diferentes analistas con el vernier con estos datos obtendremos la incertidumbre tipo A, de la siguiente manera:

#### DATOS REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD

N°	Medidas (mm) por analista			
	DM	JS	AR	RH
1	50.04	50.04	50.08	50.04
2	50.05	50.04	50.05	50.06
3	50.04	50.04	50.05	50.06
4	50.05	50.03	50.08	50.05
5	50.04	50.04	50.05	50.04
6	50.04	50.05	50.05	50.05
7	50.04	50.05	50.06	50.03
8	50.04	50.04	50.06	50.05
9	50.04	50.04	50.07	50.05
10	50.05	50.04	50.06	50.04

$$U_{\text{repetibilidad}} = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.011368 \text{ mm}$$

**c) Incertidumbre debido a la resolución del vernier:**

En el certificado de calibración LLA-066-2007 del vernier encontramos el valor de resolución del instrumento que nos proporciona la siguiente incertidumbre a la medida:

$$U_R = \frac{0.01}{\sqrt{12}} = 0.00288mm$$

Para probetas redondas

$$u_{\text{vernier}} = \sqrt{U_R^2 + U_{\text{repetibilidad}}^2 + U^2 + U_a^2} = 0.00288^2 + 0.011368^2 + 0.0065^2 + 0.00143^2 = 0.0144mm$$

Para probetas planas

$$u_{\text{vernier}} = \sqrt{U_R^2 + U_{\text{repetibilidad}}^2 + U^2 + U_a^2} = 0.00288^2 + 0.011368^2 + 0.0065^2 + 0.0007^2 = 0.0134mm$$

**Incertidumbre combinada para probetas redondas:**

Para incorporar las diferentes contribuciones a la incertidumbre combinada del alargamiento final se necesita conocer el coeficiente de sensibilidad de cada fuente en base al modelo matemático planteado para esta propiedad.

$$A_{pm} = \frac{L_f - L_{om}}{L_{om}} 100$$

Los valores promedio de cada una de las magnitudes de entrada son:

$L_f = 69.1mm$  Es el promedio tomado de las probetas redondas

$L_{om} = 50mm$  Es el promedio tomado de las probetas redondas

$$C_{L_f} = \frac{100}{L_{om}} = \frac{100}{50} = 2mm^{-1} \text{ Para probetas redondas}$$

$$C_{L_{om}} = -\frac{L_f 100}{L_{om}^2} = -\frac{69.1(100)}{50^2} = -2.764mm^{-1} \text{ Para probetas redondas}$$

$$U_{\sigma} = \sqrt{C_{L_f}^2 \cdot \mu_{\text{vernier}}^2 + C_{L_{om}}^2 \cdot \mu_{\text{vernier}}^2} = \sqrt{2^2 \times 0.0144^2 + 2.764^2 \times 0.0134^2} = 0.047\%$$

### **Incertidumbre combinada para probetas planas:**

$$A_{pm} = \frac{L_f - L_{om}}{L_{om}} 100$$

Los valores promedio de cada una de las magnitudes de entrada son:

$L_f = 67.005\text{mm}$  Es el promedio tomado de las probetas planas

$L_{om} = 50\text{mm}$  Es el promedio tomado de las probetas planas

$$C_{L_f} = \frac{100}{L_{om}} = \frac{100}{50} = 2\text{mm}^{-1} \text{ Para probetas redondas}$$

$$C_{L_{om}} = -\frac{L_f 100}{L_{om}^2} = -\frac{67.005(100)}{50^2} = -2.68\text{mm}^{-1} \text{ Para probetas redondas}$$

$$U_{\sigma} = \sqrt{C_{L_f}^2 \cdot \mu_{\text{vernier}}^2 + C_{L_{om}}^2 \cdot \mu_{\text{vernier}}^2} = \sqrt{2^2 \times 0.0134^2 + 2.68^2 \times 0.0134^2} = 0.045\%$$

### **Incertidumbre expandida:**

**Para probetas redondas:**

$$U = k u_c = 2(0.047) = 0.094\%$$

**Para probetas planas:**

$$U = k u_c = 2(0.045) = 0.09\%$$

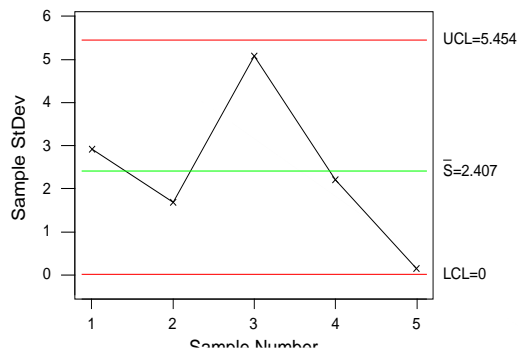
#### 4.4 INCERTIDUMBRE EN MAQUINA MFL

##### 4.4.1 INCERTIDUMBRE ASOCIADA AL ESFUERZO DE FLUENCIA

##### Medición de la fuerza

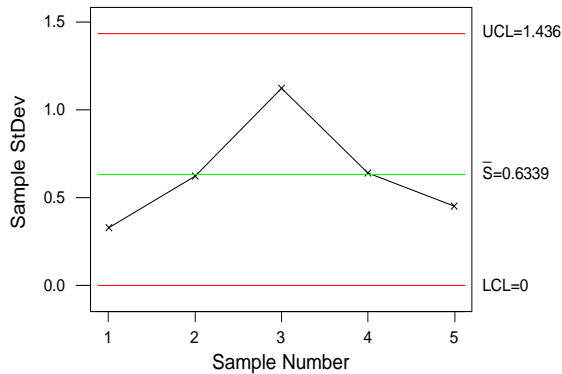
##### a) Incertidumbre de repetibilidad (Tipo A):

S Chart para probetas redondas



$$U_a = \sigma = \frac{\bar{S}}{C_4} = \frac{2.407}{0.94} = 2.475kN$$

S Chart para probetas planas



$$U_a = \sigma = \frac{\bar{S}}{C_4} = \frac{0.6339}{0.94} = 0.652kN$$

##### b) Incertidumbre de la calibración:

##### Para probetas redondas:

Usamos la curva de ajuste para el equipo dado en el certificado de calibración, para el dial de 0 a 120000N; 200N/div

$$Y = bX + a = 0.9908229329X + 0.00509012822$$

$$U_C = \sqrt{u_a x 0^2 + (u_b x X)^2 + (u_x b)^2} \dots (1)$$

$$u_x = \frac{U}{k} = \frac{0.020}{2} = 0.01kN$$

De las lecturas leídas obtenemos:

$$u_b = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} = \frac{0.04560}{\sqrt{11}} = 0.014kN$$

El valor de x que se tomara es el de la división del dial que es igual a 0.200kN, reemplazando valores en (1) tenemos:

$$U_C = \sqrt{u_a x 0^2 + (0.014 x 0.2)^2 + (0.01 x 0.9908229329)^2} = 0.01kN$$

### Para probetas planas:

Usamos la curva de ajuste para el equipo dado en el certificado de calibración, para el dial de 0 a 60000N; 100N/div

$$Y = bX + a = 0.9896471665X + 0.0597216963$$

$$U_B = \sqrt{u_a x 0^2 + (u_b x X)^2 + (u_x b)^2} \dots (1)$$

$$u_x = \frac{U}{k} = \frac{0.020}{2} = 0.01kN$$

De las lecturas leídas obtenemos:

$$u_b = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} = \frac{0.01376}{\sqrt{11}} = 0.0042kN$$

El valor de  $x$  que se tomara es el de la división del dial que es igual a 0.200kN, reemplazando valores en (1) tenemos:

$$U_c = \sqrt{u_a x^2 + (0.0042x \cdot 0.1)^2 + (0.01x \cdot 0.9896471665)^2} = 0.01kN$$

### c) Incertidumbre debida a deriva:

Con los expedientes de calibración LFP-002-2009 y INF-LE 111-07, se cuenta con una calibración histórica, la contribución de esta incertidumbre es la siguiente:

$$U_D = \frac{|0.42 - 0.09|}{\sqrt{3}} = 0.2kN$$

### d) Incertidumbre debida al proceso de medida:

Esta incertidumbre proviene de las posibles contribuciones que ofrecen factores tales como el posible mal centrado de una probeta en la maquina, que las probetas presenten desviaciones de forma y dimensiones. Esta incertidumbre se calcula de la siguiente manera:

Fuerzas en probetas redondas				Rangos
40.6	41	45.1	46.4	5.8
45.2	44.6	44.2	41.4	3.8
45.4	51.4	40.2	41.2	11.2
42.5	39.8	45.2	42.6	5.4
39.6	39.4	39.3	39.3	0.3

$$U_P = \frac{V_{\max}}{\sqrt{3}} = \frac{11.2}{\sqrt{3}} = 6.5kN$$



Fuerzas en probetas planas				Rangos
20.7	20.3	20.1	20.8	0.7
20.8	19.6	21	20.6	1.4
21.6	19.6	19.7	19	2.6
20.8	21.5	22.3	21.9	1.5
20.3	20.5	20.2	21.2	1

$$U_P = \frac{V_{\max}}{\sqrt{3}} = \frac{2.6}{\sqrt{3}} = 1.5kN$$

Ahora combinaremos todas las contribuciones de incertidumbre tipo B que están presentes en la fuerza como variable de entrada:

Para las probetas redondas tendríamos:

$$u_{\text{fuerza}} = \sqrt{U_D^2 + U_C^2 + U_a^2 + U_P^2} = 0.2^2 + 0.010^2 + 2.475^2 + 6.5^2 = 6.96kN$$

Para las probetas planas tendríamos:

$$u_{\text{fuerza}} = \sqrt{U_D^2 + U_C^2 + U_a^2 + U_P^2} = 0.2^2 + 0.01^2 + 0.652^2 + 1.5^2 = 1.65kN$$

### Medición del área

#### d) Incertidumbre obtenida del certificado de calibración:

Se tiene una incertidumbre en el certificado LLA-066-2007, este dato puede ser utilizado para encontrar la incertidumbre estándar del vernier, de la siguiente manera:

$$U = \frac{U_{\text{certificado}}}{k} = \frac{13}{2} = 6.5\mu m$$

#### e) Incertidumbre obtenida de la repetibilidad:

Se tienen datos de mediciones hechas por diferentes analistas con el vernier con estos datos obtendremos la incertidumbre tipo A, de la siguiente manera:

## DATOS REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD

N°	Medidas (mm) por analista			
	DM	JS	AR	RH
1	50.04	50.04	50.08	50.04
2	50.05	50.04	50.05	50.06
3	50.04	50.04	50.05	50.06
4	50.05	50.03	50.08	50.05
5	50.04	50.04	50.05	50.04
6	50.04	50.05	50.05	50.05
7	50.04	50.05	50.06	50.03
8	50.04	50.04	50.06	50.05
9	50.04	50.04	50.07	50.05
10	50.05	50.04	50.06	50.04

$$U_{\text{repetibilidad}} = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.011368 \text{mm}$$

## f) Incertidumbre debido a la resolución del vernier:

En el certificado de calibración LLA-066-2007 del vernier encontramos el valor de resolución del instrumento que nos proporciona la siguiente incertidumbre a la medida:

$$U_R = \frac{0.01}{\sqrt{12}} = 0.00289 \text{mm}$$

Ahora combinaremos todas las contribuciones de incertidumbre para el vernier

$$u_d = \sqrt{U_R^2 + U_{\text{repetibilidad}}^2 + U^2} = \sqrt{0.00284^2 + 0.011368^2 + 0.0065^2} = 0.0134 \text{mm}$$

### Para probetas redondas

$$\text{¡Error! Marcador no definido. } S_e = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$u_{s_e} = \frac{\pi d u_d}{2} = \frac{3.1416 \times 12.454 \times 0.0134}{2} = 0.26 \text{ mm}^2$$

### Para probetas planas

$$\text{¡Error! Marcador no definido. } S_e = a.b$$

$$u_{s_e} = a.u_d + b.u_d = 12.454 \times 0.0134 + 4.62 \times 0.0134 = 0.23 \text{ mm}^2$$

### Incertidumbre combinada para probetas redondas:

Para incorporar las diferentes contribuciones a la incertidumbre combinada del esfuerzo de fluencia se necesita conocer el coeficiente de sensibilidad de cada fuente en base al modelo matemático planteado para esta propiedad.

$$\sigma_f = \frac{F_x}{S_e}$$

Los valores promedio de cada una de las magnitudes de entrada son:

$$F_x = 42.72 \text{ kN} \quad \text{Es el promedio tomado de las probetas redondas}$$

$$S_e = 121.81 \text{ mm}^2 \quad \text{Es el promedio tomado de las probetas redondas}$$

$$C_{F_x} = \frac{1}{S_e} = \frac{1}{121.81} = 0.00821 \text{ mm}^{-2} \quad \text{Para probetas redondas}$$

$$C_{S_e} = -\frac{F}{S_e^2} = \frac{-42.72}{121.81^2} = -0.00288 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^4} \quad \text{Para probetas redondas}$$

$$U_{\sigma} = \sqrt{C_{F_x}^2 \cdot \mu_{fuerza}^2 + C_{S_e}^2 \cdot \mu_{S_e}^2} = \sqrt{0.00821^2 \times 6.96^2 + 0.00288^2 \times 0.26^2} = 0.057 MPa$$

### **Incertidumbre combinada para probetas planas:**

Para incorporar las diferentes contribuciones a la incertidumbre combinada del esfuerzo de fluencia se necesita conocer el coeficiente de sensibilidad de cada fuente en base al modelo matemático planteado para esta propiedad.

$$\sigma_f = \frac{F_x}{S_e}$$

Los valores promedio de cada una de las magnitudes de entrada son:

$$F_x = 20.63 kN \quad \text{Es el promedio tomado de las probetas planas}$$

$$S_e = 57.6 mm^2 \quad \text{Es el promedio tomado de las probetas planas}$$

$$C_{F_x} = \frac{1}{S_e} = \frac{1}{57.6} = 0.017 mm^{-2} \quad \text{Para probetas planas}$$

$$C_{S_e} = -\frac{F}{S_e^2} = \frac{-20.63}{57.6^2} = -0.00622 \frac{kN}{mm^4} \quad \text{Para probetas planas}$$

$$U_{\sigma} = \sqrt{C_{F_x}^2 \cdot \mu_{fuerza}^2 + C_{S_e}^2 \cdot \mu_{vernier}^2} = \sqrt{0.017^2 \times 1.65^2 + 0.00622^2 \times 0.23^2} = 0.03 MPa$$

### **Incertidumbre expandida:**

Considerando el nivel de confianza al 95 % para la magnitud evaluada cuyos resultados siguen una distribución normal de probabilidades se trabaja con el factor de cobertura  $k=2$ , de manera que la incertidumbre expandida asociada al proceso de medición será:

$$U = k u_c$$

**Para probetas redondas:**

$$U = k u_c = 2(0.057) = 0.114 MPa$$

Para probetas planas:

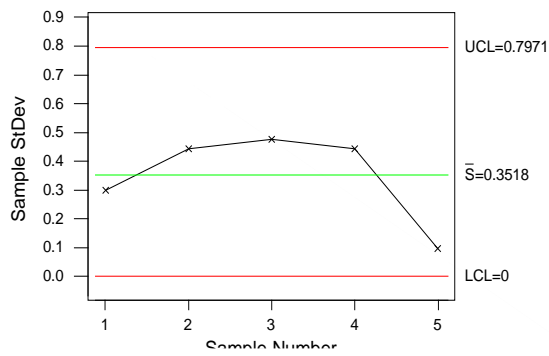
$$U = k u_c = 2(0.03) = 0.06MPa$$

#### 4.4.2 INCERTIDUMBRE ASOCIADA AL ESFUERZO MAXIMO

##### Medición de la fuerza

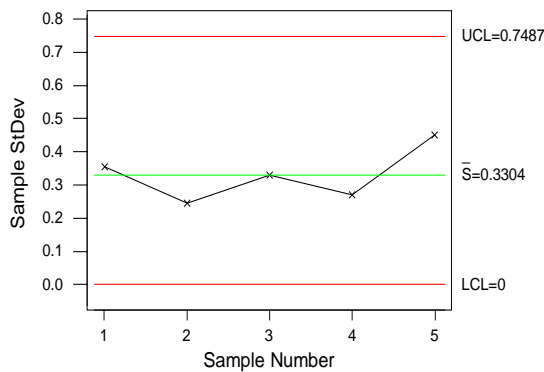
##### a) Incertidumbre de repetibilidad

S Chart para probetas redondas



$$U_a = \sigma = \frac{\bar{S}}{C_4} = \frac{0.3518}{0.94} = 0.362kN$$

S Chart para probetas planas



$$U_a = \sigma = \frac{\bar{S}}{C_4} = \frac{0.3304}{0.94} = 0.34kN$$

## b) Incertidumbre de la calibración:

### Para probetas redondas:

Usamos la curva de ajuste para el equipo dado en el certificado de calibración, para el dial de 0 a 120000N; 200N/div

$$Y = bX + a = 0.9908229329X + 0.00509012822$$

$$U_C = \sqrt{u_a x 0^2 + (u_b x X)^2 + (u_x b)^2} \dots (1)$$

$$u_x = \frac{U}{k} = \frac{0.020}{2} = 0.01kN$$

De las lecturas leídas obtenemos:

$$u_b = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} = \frac{0.04560}{\sqrt{11}} = 0.014kN$$

El valor de x que se tomara es el de la división del dial que es igual a 0.200kN, reemplazando valores en (1) tenemos:

$$U_C = \sqrt{u_a x 0^2 + (0.014 x 0.2)^2 + (0.01 x 0.9908229329)^2} = 0.01kN$$

### Para probetas planas:

Usamos la curva de ajuste para el equipo dado en el certificado de calibración, para el dial de 0 a 60000N; 100N/div

$$Y = bX + a = 0.9896471665X + 0.0597216963$$

$$U_B = \sqrt{u_a x 0^2 + (u_b x X)^2 + (u_x b)^2} \dots (1)$$

$$u_x = \frac{U}{k} = \frac{0.020}{2} = 0.01kN$$

De las lecturas leídas obtenemos:

$$u_b = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} = \frac{0.01376}{\sqrt{11}} = 0.0042kN$$

El valor de x que se tomara es el de la división del dial que es igual a 0.200kN, reemplazando valores en (1) tenemos:

$$U_c = \sqrt{u_a x 0^2 + (0.0042 x 0.1)^2 + (0.01 x 0.9896471665)^2} = 0.01kN$$

### c) Incertidumbre debida a deriva:

Con los expedientes de calibración LFP-002-2009 y INF-LE 111-07, se cuenta con una calibración histórica, la contribución de esta incertidumbre es la siguiente:

$$U_D = \frac{|0.42 - 0.09|}{\sqrt{3}} = 0.2kN$$

### d) Incertidumbre debida al proceso de medida:

Esta incertidumbre proviene de las posibles contribuciones que ofrecen factores tales como el posible mal centrado de una probeta en la maquina, que las probetas presenten desviaciones de forma y dimensiones. Esta incertidumbre se calcula de la siguiente manera:

Fuerzas en probetas redondas				Rangos
58.8	59	58.4	58.4	0.6
58.8	58.8	59	58	1
58.2	58.8	59	58	1
58.4	58.2	57.4	58.2	1

58.5	58.4	58.6	58.4	0.2
------	------	------	------	-----

$$U_p = \frac{V_{\max}}{\sqrt{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.58kN$$

Fuerzas en probetas planas				Rangos
28.1	27.9	27.4	27.4	0.7
27.5	27.2	27.2	27.7	0.5
27.7	27.2	27.3	26.9	0.8
27.8	28.3	27.7	27.8	0.6
27.5	27.8	27.4	28.4	1

$$U_p = \frac{V_{\max}}{\sqrt{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.58kN$$

Ahora combinaremos todas las contribuciones de incertidumbre tipo B que están presentes en la fuerza como variable de entrada:

Para las probetas redondas tendríamos:

$$u_{\text{fuerza}} = \sqrt{U_D^2 + U_C^2 + U_a^2 + U_p^2} = 0.2^2 + 0.010^2 + 0.362^2 + 0.58^2 = 0.71kN$$

Para las probetas planas tendríamos:

$$u_{\text{fuerza}} = \sqrt{U_D^2 + U_C^2 + U_a^2 + U_p^2} = 0.2^2 + 0.01^2 + 0.34^2 + 0.58^2 = 0.70kN$$

### Medición del área

#### e) Incertidumbre obtenida del certificado de calibración:

Se tiene una incertidumbre en el certificado LLA-066-2007, este dato puede ser utilizado para encontrar la incertidumbre estándar del vernier, de la siguiente manera:



$$U = \frac{U_{\text{certificado}}}{k} = \frac{13}{2} = 6.5 \mu\text{m}$$

**f) Incertidumbre obtenida de la repetibilidad:**

Se tienen datos de mediciones hechas con el vernier

**DATOS REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD**

N°	Medidas (mm) por analista			
	DM	JS	AR	RH
1	50.04	50.04	50.08	50.04
2	50.05	50.04	50.05	50.06
3	50.04	50.04	50.05	50.06
4	50.05	50.03	50.08	50.05
5	50.04	50.04	50.05	50.04
6	50.04	50.05	50.05	50.05
7	50.04	50.05	50.06	50.03
8	50.04	50.04	50.06	50.05
9	50.04	50.04	50.07	50.05
10	50.05	50.04	50.06	50.04

$$U_{\text{repetibilidad}} = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.011368\text{mm}$$

**g) Incertidumbre debido a la resolución del vernier:**

En el certificado de calibración LLA-066-2007 del vernier encontramos el valor de resolución del instrumento que nos proporciona la siguiente incertidumbre a la medida:

$$U_R = \frac{0.01}{\sqrt{12}} = 0.00288\text{mm}$$

Ahora combinaremos todas las contribuciones de incertidumbre para el vernier

$$u_d = \sqrt{U_R^2 + U_{\text{repetibilidad}}^2 + U^2} = 0.00288^2 + 0.011368^2 + 0.0065^2 = 0.0134\text{mm}$$

### Para probetas redondas

$$\text{¡Error! Marcador no definido. } S_e = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$u_{s_e} = \frac{\pi d u_d}{2} = \frac{3.1416 \times 12.454 \times 0.0134}{2} = 0.26\text{mm}^2$$

### Para probetas planas

$$\text{¡Error! Marcador no definido. } S_e = a.b$$

$$u_{s_e} = a.u_d + b u_d = 12.454 \times 0.0134 + 4.62 \times 0.0134 = 0.23\text{mm}^2$$

### Incertidumbre combinada para probetas redondas:

Para incorporar las diferentes contribuciones a la incertidumbre combinada del esfuerzo de fluencia se necesita conocer el coeficiente de sensibilidad de cada fuente en base al modelo matemático planteado para esta propiedad.

$$\sigma_f = \frac{F_x}{S_e}$$

Los valores promedio de cada una de las magnitudes de entrada son:

$$F_x = 58.47\text{kN} \quad \text{Es el promedio tomado de las probetas redondas}$$

$$S_e = 121.8\text{mm}^2 \quad \text{Es el promedio tomado de las probetas redondas}$$

$$C_{F_x} = \frac{1}{S_e} = \frac{1}{121.8} = 0.0082\text{mm}^{-2} \quad \text{Para probetas redondas}$$

$$C_{S_e} = -\frac{F}{S_e^2} = \frac{-58.47}{121.8^2} = -0.00394 \frac{kN}{mm^4} \quad \text{Para probetas redondas}$$

$$U_\sigma = \sqrt{C_{F_x}^2 \cdot \mu_{fuerza}^2 + C_{S_e}^2 \cdot \mu_{vernier}^2} = \sqrt{0.0082^2 \times 0.71^2 + 0.00394^2 \times 0.26^2} = 0.006 MPa$$

### **Incertidumbre combinada para probetas planas:**

Para incorporar las diferentes contribuciones a la incertidumbre combinada del esfuerzo de fluencia se necesita conocer el coeficiente de sensibilidad de cada fuente en base al modelo matemático planteado para esta propiedad.

$$\sigma_f = \frac{F_x}{S_e}$$

Los valores promedio de cada una de las magnitudes de entrada son:

$$F_x = 27.61 kN \quad \text{Es el promedio tomado de las probetas planas}$$

$$S_e = 57.6 mm^2 \quad \text{Es el promedio tomado de las probetas planas}$$

$$C_{F_x} = \frac{1}{S_e} = \frac{1}{57.6} = 0.017 mm^{-2} \quad \text{Para probetas planas}$$

$$C_{S_e} = -\frac{F}{S_e^2} = \frac{-27.61}{57.6^2} = -0.00833 \frac{kN}{mm^4} \quad \text{Para probetas planas}$$

$$U_\sigma = \sqrt{C_{F_x}^2 \cdot \mu_{fuerza}^2 + C_{S_e}^2 \cdot \mu_{vernier}^2} = \sqrt{0.017^2 \times 0.70^2 + 0.00833^2 \times 0.23^2} = 0.012 MPa$$

### **Incertidumbre expandida:**

**Para probetas redondas:**

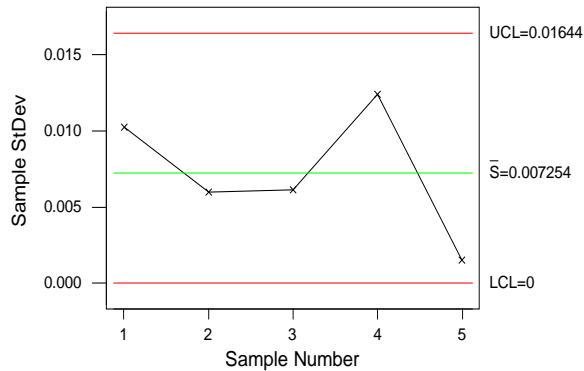
$$U = k u_c = 2(0.006) = 0.012 MPa$$

**Para probetas planas:**

$$U = k u_c = 2(0.012) = 0.024 MPa$$

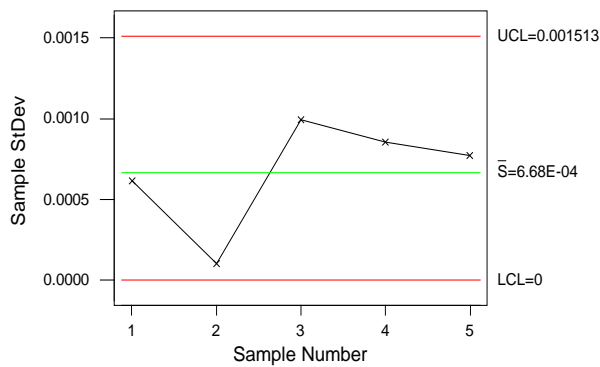
#### 4.4.3 INCERTIDUMBRE ASOCIADA A LA DEFORMACION PLASTICA FINAL

S Chart para probetas redondas



$$U_a = \frac{0.007254}{0.94} = 0.0075mm$$

S Chart para probetas planas



$$U_a = \frac{0.00067}{0.94} = 0.0007mm$$

#### Medición de longitud inicial (Lom)

##### a) Incertidumbre obtenida del certificado de calibración:

Se tiene una incertidumbre en el certificado LLA-066-2007, este dato puede ser utilizado para encontrar la incertidumbre estándar del vernier, de la siguiente manera:

$$U = \frac{U_{certificado}}{k} = \frac{13}{2} = 6.5\mu m$$

**b) Incertidumbre obtenida de la repetibilidad:**

Se tienen datos de mediciones hechas por diferentes analistas con el vernier con estos datos obtendremos la incertidumbre tipo A, de la siguiente manera:

**DATOS REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD**

N°	Medidas (mm) por analista			
	DM	JS	AR	RH
1	50.04	50.04	50.08	50.04
2	50.05	50.04	50.05	50.06
3	50.04	50.04	50.05	50.06
4	50.05	50.03	50.08	50.05
5	50.04	50.04	50.05	50.04
6	50.04	50.05	50.05	50.05
7	50.04	50.05	50.06	50.03
8	50.04	50.04	50.06	50.05
9	50.04	50.04	50.07	50.05
10	50.05	50.04	50.06	50.04

$$U_{\text{repetibilidad}} = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.011368\text{mm}$$

**c) Incertidumbre debido a la resolución del vernier:**

En el certificado de calibración LLA-066-2007 del vernier encontramos el valor de resolución del instrumento que nos proporciona la siguiente incertidumbre a la medida:

$$U_R = \frac{0.01}{\sqrt{12}} = 0.00288\text{mm}$$

$$u_{\text{vernier}} = \sqrt{U_R^2 + U_{\text{repetibilidad}}^2 + U^2} = \sqrt{0.00288^2 + 0.011368^2 + 0.0065^2} = 0.0134\text{mm}$$

### Medición de longitud final (Lf)

#### a) Incertidumbre obtenida del certificado de calibración:

Se tiene una incertidumbre en el certificado LLA-066-2007, este dato puede ser utilizado para encontrar la incertidumbre estándar del vernier, de la siguiente manera:

$$U = \frac{U_{\text{certificado}}}{k} = \frac{13}{2} = 6.5 \mu m$$

#### b) Incertidumbre obtenida de la repetibilidad:

Se tienen datos de mediciones hechas por diferentes analistas con el vernier con estos datos obtendremos la incertidumbre tipo A, de la siguiente manera:

#### DATOS REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD

N°	Medidas (mm) por analista			
	DM	JS	AR	RH
1	50.04	50.04	50.08	50.04
2	50.05	50.04	50.05	50.06
3	50.04	50.04	50.05	50.06
4	50.05	50.03	50.08	50.05
5	50.04	50.04	50.05	50.04
6	50.04	50.05	50.05	50.05
7	50.04	50.05	50.06	50.03
8	50.04	50.04	50.06	50.05
9	50.04	50.04	50.07	50.05
10	50.05	50.04	50.06	50.04

$$U_{\text{repetibilidad}} = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.011368 \text{ mm}$$

### c) Incertidumbre debido a la resolución del vernier:

En el certificado de calibración LLA-066-2007 del vernier encontramos el valor de resolución del instrumento que nos proporciona la siguiente incertidumbre a la medida:

$$U_R = \frac{0.01}{\sqrt{12}} = 0.00288mm$$

Para probetas redondas

$$u_{\text{vernier}} = \sqrt{U_R^2 + U_{\text{repetibilidad}}^2 + U^2 + U_a^2} = 0.00288^2 + 0.011368^2 + 0.0065^2 + 0.0075^2 = 0.015mm$$

Para probetas planas

$$u_{\text{vernier}} = \sqrt{U_R^2 + U_{\text{repetibilidad}}^2 + U^2 + U_a^2} = 0.00288^2 + 0.011368^2 + 0.0065^2 + 0.0007^2 = 0.0134mm$$

### Incertidumbre combinada para probetas redondas:

Para incorporar las diferentes contribuciones a la incertidumbre combinada del alargamiento final se necesita conocer el coeficiente de sensibilidad de cada fuente en base al modelo matemático planteado para esta propiedad.

$$A_{pm} = \frac{L_f - L_{om}}{L_{om}} 100$$

Los valores promedio de cada una de las magnitudes de entrada son:

$L_f = 68.85mm$  Es el promedio tomado de las probetas redondas

$L_{om} = 50mm$  Es el promedio tomado de las probetas redondas

$$C_{L_f} = \frac{100}{L_{om}} = \frac{100}{50} = 2mm^{-1} \text{ Para probetas redondas}$$

$$C_{L_{om}} = -\frac{L_f 100}{L_{om}^2} = -\frac{69.1(100)}{50^2} = -2.764mm^{-1} \text{ Para probetas redondas}$$

$$U_{\sigma} = \sqrt{C_{L_f}^2 \cdot \mu_{\text{vernier}}^2 + C_{L_{om}}^2 \cdot \mu_{\text{vernier}}^2} = \sqrt{2^2 \times 0.015^2 + 2.764^2 \times 0.0134^2} = 0.047\%$$

### **Incertidumbre combinada para probetas planas:**

Para incorporar las diferentes contribuciones a la incertidumbre combinada del esfuerzo de fluencia se necesita conocer el coeficiente de sensibilidad de cada fuente en base al modelo matemático planteado para esta propiedad.

$$A_{pm} = \frac{L_f - L_{om}}{L_{om}} 100$$

Los valores promedio de cada una de las magnitudes de entrada son:

$L_f = 67.005mm$  Es el promedio tomado de las probetas planas

$L_{om} = 50mm$  Es el promedio tomado de las probetas planas

$$C_{L_f} = \frac{100}{L_{om}} = \frac{100}{50} = 2mm^{-1} \text{ Para probetas redondas}$$

$$C_{L_{om}} = -\frac{L_f 100}{L_{om}^2} = -\frac{67.005(100)}{50^2} = -2.68mm^{-1} \text{ Para probetas redondas}$$

$$U_{\sigma} = \sqrt{C_{L_f}^2 \cdot \mu_{\text{vernier}}^2 + C_{L_{om}}^2 \cdot \mu_{\text{vernier}}^2} = \sqrt{2^2 \times 0.0134^2 + 2.68^2 \times 0.0134^2} = 0.045\%$$

### **Incertidumbre expandida:**

**Para probetas redondas:**

$$U = k u_c = 2(0.047) = 0.094\%$$

**Para probetas planas:**

$$U = k u_c = 2(0.045) = 0.09\%$$



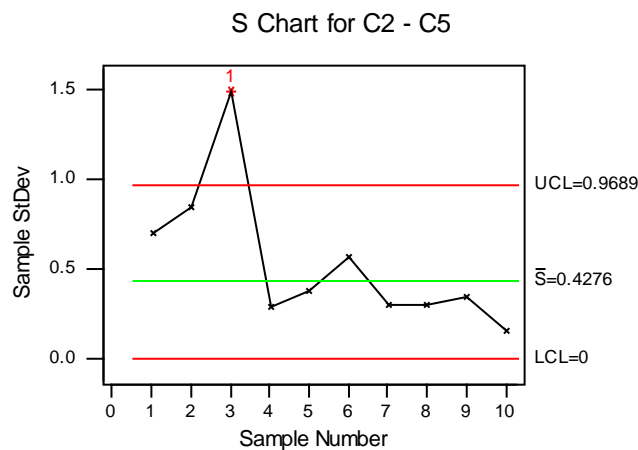
#### 4.5 INCERTIDUMBRE JUNTANDO LAS DOS MAQUINAS.

Fluencia:

#### Probetas Redondas

En esta corrida unimos los resultados obtenidos en fluencia para las probetas redondas en las dos maquinas y aplicamos el método usado anteriormente para hallar la incertidumbre:

a) Incertidumbre obtenida de la repetibilidad:



$$U_a = \frac{0.4276}{0.94} = 0.44kN$$

b) Incertidumbre de la calibración:

$$U_c = \frac{0.020}{2} = 0.010kN$$

c) Incertidumbre debida a deriva:

$$U_D = \frac{|0.42 - 0.09|}{\sqrt{3}} = 0.2kN$$

d) Incertidumbre debida al proceso de medida:

Fuerzas en probetas redondas				Rangos
40.6	41	45.1	46.4	5.8
45.2	44.6	44.2	41.4	3.8
45.4	51.4	40.2	41.2	11.2
42.5	39.8	45.2	42.6	5.4
39.6	39.4	39.3	39.3	0.3

$$U_P = \frac{V_{\max}}{\sqrt{3}} = \frac{11.2}{\sqrt{3}} = 6.5kN$$

$$u_{\text{fuerza}} = \sqrt{U_D^2 + U_C^2 + U_a^2 + U_P^2} = \sqrt{0.2^2 + 0.010^2 + 0.44^2 + 6.5^2} = 6.52kN$$

### Medición del área

e) Incertidumbre obtenida del certificado de calibración:

$$U = \frac{U_{\text{certificado}}}{k} = \frac{13}{2} = 6.5\mu m$$

f) Incertidumbre obtenida de la repetibilidad:

$$U_{\text{repetibilidad}} = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.011368mm$$

g) Incertidumbre debido a la resolución del vernier:

$$U_R = \frac{0.01}{\sqrt{12}} = 0.00288mm$$

$$u_d = \sqrt{U_R^2 + U_{repetibilidad}^2 + U^2} = 0.00288^2 + 0.011368^2 + 0.0065^2 = 0.0134mm$$

**Para probetas redondas**

¡Error! Marcador no definido.  $S_e = \frac{\pi d^2}{4}$

$$u_{S_e} = \frac{\pi d u_d}{2} = \frac{3.1416 \times 12.454 \times 0.0134}{2} = 0.26mm^2$$

**Incertidumbre combinada para probetas redondas:**

$$\sigma_f = \frac{F_x}{S_e}$$

Los valores promedio de cada una de las magnitudes de entrada son:

$F_x = 39.96kN$  Es el promedio tomado de las probetas redondas

$S_e = 121.71mm^2$  Es el promedio tomado de las probetas redondas

$$C_{F_x} = \frac{1}{S_e} = \frac{1}{121.71} = 0.00822mm^{-2} \text{ Para probetas redondas}$$

$$C_{S_e} = -\frac{F}{S_e^2} = \frac{-39.96}{121.71^2} = -0.00269 \frac{kN}{mm^4} \text{ Para probetas redondas}$$

$$U_\sigma = \sqrt{C_{F_x}^2 \cdot \mu_{fuerza}^2 + C_{S_e}^2 \cdot \mu_{vernier}^2} = \sqrt{0.0082^2 \times 6.52^2 + 0.00269^2 \times 0.26^2} = 0.05MPa$$

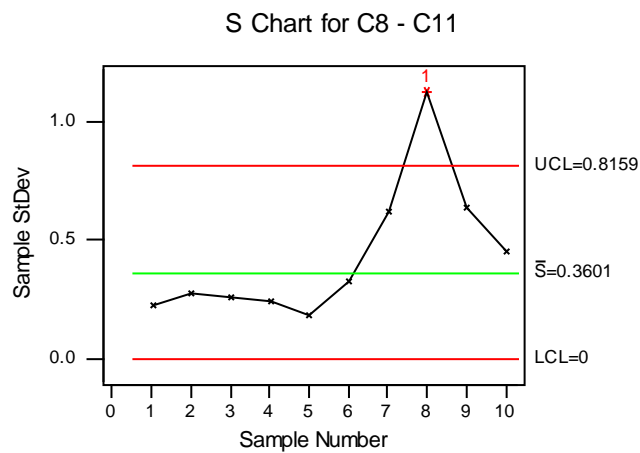
**Incertidumbre expandida:**

Para probetas redondas:

$$U = k u_c = 2(0.05) = 0.1MPa$$

**Probetas Planas**

a) Incertidumbre obtenida de la repetibilidad:



$$U_a = \frac{0.3601}{0.94} = 0.37kN$$

b) Incertidumbre de la calibración:

$$U_c = \frac{0.020}{2} = 0.010kN$$

c) Incertidumbre debida a deriva:

$$U_D = \frac{|0.42 - 0.09|}{\sqrt{3}} = 0.2kN$$

d) Incertidumbre debida al proceso de medida:

$$U_p = \frac{V_{\max}}{\sqrt{3}} = \frac{2.6}{\sqrt{3}} = 1.5kN$$

$$u_{\text{fuerza}} = \sqrt{U_D^2 + U_C^2 + U_a^2 + U_p^2} = 0.2^2 + 0.010^2 + 0.37^2 + 1.5^2 = 2.43kN$$

### Medición del área

e) Incertidumbre obtenida del certificado de calibración:

$$U = \frac{U_{\text{certificado}}}{k} = \frac{13}{2} = 6.5\mu m$$

f) Incertidumbre obtenida de la repetibilidad:

$$U_{\text{repetibilidad}} = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.011368mm$$

g) Incertidumbre debido a la resolución del vernier:

$$U_R = \frac{0.01}{\sqrt{12}} = 0.00288mm$$

$$u_d^2 = \sqrt{U_R^2 + U_{\text{repetibilidad}}^2} + U^2 = 0.00288^2 + 0.011368^2 + 0.0065^2 = 0.0134mm$$

### Para probetas planas

¡Error! Marcador no definido.  $S_e = a.b$

$$u_{s_e} = a.u_d + b.u_d = 12.454 \times 0.0134 + 4.62 \times 0.0134 = 0.23mm^2$$

**Incertidumbre combinada para probetas planas:**

$$\sigma_f = \frac{F_x}{S_e}$$

Los valores promedio de cada una de las magnitudes de entrada son:

$F_x = 20.51kN$  Es el promedio tomado de las probetas redondas

$S_e = 57.5mm^2$  Es el promedio tomado de las probetas redondas

$$C_{F_x} = \frac{1}{S_e} = \frac{1}{57.5} = 0.02mm^{-2} \text{ Para probetas redondas}$$

$$C_{S_e} = -\frac{F}{S_e^2} = \frac{-20.51}{57.5^2} = -0.0062 \frac{kN}{mm^4} \text{ Para probetas redondas}$$

$$U_\sigma = \sqrt{C_{F_x}^2 \cdot \mu_{fuerza}^2 + C_{S_e}^2 \cdot \mu_{vernier}^2} = \sqrt{0.02^2 \times 2.43^2 + 0.0062^2 \times 0.23^2} = 0.05MPa$$

**Incertidumbre expandida:**

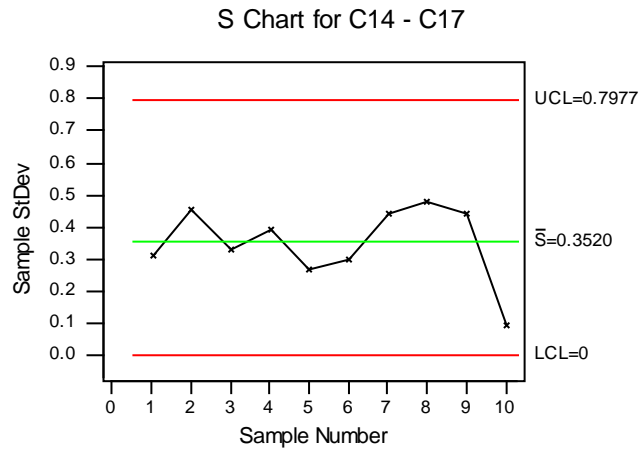
Para probetas planas:

$$U = k u_c = 2(0.05) = 0.1MPa$$

**Esfuerzo Máximo:**

**Probetas Redondas**

**a) Incertidumbre obtenida de la repetibilidad:**



$$U_a = \frac{0.3520}{0.94} = 0.362kN$$

**b) Incertidumbre de la calibración:**

$$U_c = \frac{0.020}{2} = 0.010kN$$

**c) Incertidumbre debida a deriva:**

$$U_D = \frac{|0.42 - 0.09|}{\sqrt{3}} = 0.2kN$$

**d) Incertidumbre debida al proceso de medida:**

Fuerzas en probetas redondas				Rangos
58.4	58.61	58.54	57.94	0.67
57.62	58.65	58.1	58.105	1.03
57.83	57.97	58.54	58.4	0.71
57.6	58.5	58.34	58.31	0.9
58.36	58.34	58.9	58.44	0.56

$$U_p = \frac{V_{\max}}{\sqrt{3}} = \frac{1.03}{\sqrt{3}} = 0.595kN$$

$$u_{\text{fuerza}} = \sqrt{U_D^2 + U_C^2 + U_a^2 + U_p^2} = 0.2^2 + 0.010^2 + 0.362^2 + 0.595^2 = 0.725kN$$

**Medición del área**
**e) Incertidumbre obtenida del certificado de calibración:**

$$U = \frac{U_{\text{certificado}}}{k} = \frac{13}{2} = 6.5 \mu m$$

**f) Incertidumbre obtenida de la repetibilidad:**

$$U_{\text{repetibilidad}} = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.011368mm$$

**g) Incertidumbre debido a la resolución del vernier:**

$$U_R = \frac{0.01}{\sqrt{12}} = 0.00288mm$$

$$u_d = \sqrt{U_R^2 + U_{\text{repetibilidad}}^2 + U^2} = 0.00288^2 + 0.011368^2 + 0.0065^2 = 0.0134mm$$



**Para probetas redondas**

$$S_e = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$u_{s_e} = \frac{\pi d u_d}{2} = \frac{3.1416 \times 12.454 \times 0.0134}{2} = 0.26 \text{ mm}^2$$

**Incertidumbre combinada para probetas redondas:**

$$\sigma_f = \frac{F_x}{S_e}$$

Los valores promedio de cada una de las magnitudes de entrada son:

$F_x = 58.4 \text{ kN}$  Es el promedio tomado de las probetas redondas

$S_e = 121.71 \text{ mm}^2$  Es el promedio tomado de las probetas redondas

$$C_{F_x} = \frac{1}{S_e} = \frac{1}{121.71} = 0.00822 \text{ mm}^{-2} \text{ Para probetas redondas}$$

$$C_{S_e} = -\frac{F}{S_e^2} = \frac{-58.4}{121.71^2} = -0.0039 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^4} \text{ Para probetas redondas}$$

$$U_\sigma = \sqrt{C_{F_x}^2 \cdot \mu_{fuerza}^2 + C_{S_e}^2 \cdot \mu_{vernier}^2} = \sqrt{0.00822^2 \times 0.725^2 + 0.0039^2 \times 0.26^2} = 0.006 \text{ MPa}$$

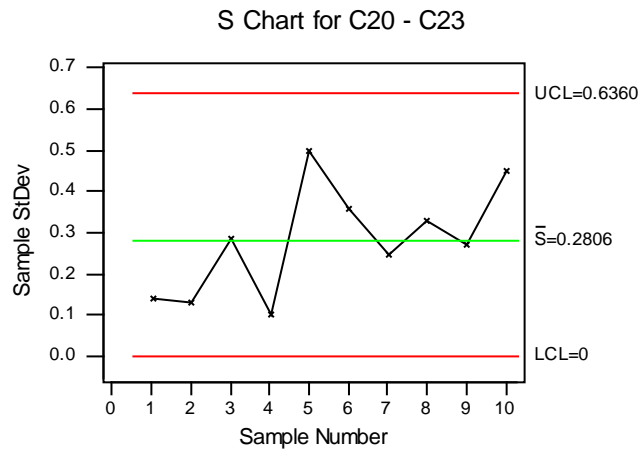
**Incertidumbre expandida:**

**Para probetas redondas:**

$$U = k u_c = 2(0.006) = 0.012 \text{ MPa}$$

**Probetas Planas**

**a) Incertidumbre obtenida de la**



$$U_a = \frac{0.2806}{0.94} = 0.3kN$$

**b) Incertidumbre de la calibración:**

$$U_c = \frac{0.020}{2} = 0.010kN$$

**c) Incertidumbre debida a deriva:**

$$U_D = \frac{|0.42 - 0.09|}{\sqrt{3}} = 0.2kN$$

**d) Incertidumbre debida al proceso de medida:**

Fuerzas en probetas planas				Rangos
27.81	27.66	27.95	27.7	0.15
27.4	27.34	27.2	27.2	0.2
27.46	27.51	27.4	27.92	0.52
27.15	27.23	27.18	27.36	0.18
27.93	27.2	26.85	26.91	1.02

$$U_p = \frac{V_{\max}}{\sqrt{3}} = \frac{1.02}{\sqrt{3}} = 0.589kN$$

$$u_{\text{fuerza}} = \sqrt{U_D^2 + U_C^2 + U_a^2 + U_p^2} = 0.2^2 + 0.010^2 + 0.3^2 + 0.589^2 = 0.7kN$$

**Medición del área**
**e) Incertidumbre obtenida del certificado de calibración:**

$$U = \frac{U_{\text{certificado}}}{k} = \frac{13}{2} = 6.5\mu m$$

**f) Incertidumbre obtenida de la repetibilidad:**

$$U_{\text{repetibilidad}} = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.011368mm$$

**g) Incertidumbre debido a la resolución del vernier:**

$$U_R = \frac{0.01}{\sqrt{12}} = 0.00288mm$$

$$u_d = \sqrt{U_R^2 + U_{\text{repetibilidad}}^2 + U^2} = 0.00288^2 + 0.011368^2 + 0.0065^2 = 0.0134mm$$

### Para probetas planas

¡Error! Marcador no definido.  $S_e = a.b$

$$u_{s_e} = a.u_d + b u_d = 12.454 \times 0.0134 + 4.62 \times 0.0134 = 0.23 \text{ mm}^2$$

### Incertidumbre combinada para probetas planas:

$$\sigma_f = \frac{F_x}{S_e}$$

Los valores promedio de cada una de las magnitudes de entrada son:

$F_x = 27.51 \text{ kN}$  Es el promedio tomado de las probetas redondas

$S_e = 57.5 \text{ mm}^2$  Es el promedio tomado de las probetas redondas

$$C_{F_x} = \frac{1}{S_e} = \frac{1}{57.5} = 0.02 \text{ mm}^{-2} \text{ Para probetas redondas}$$

$$C_{S_e} = -\frac{F}{S_e^2} = \frac{-27.51}{57.5^2} = -0.00832 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^4} \text{ Para probetas redondas}$$

$$U_\sigma = \sqrt{C_{F_x}^2 \cdot \mu_{fuerza}^2 + C_{S_e}^2 \cdot \mu_{vernier}^2} = \sqrt{0.02^2 \times 0.7^2 + 0.00832^2 \times 0.23^2} = 0.014 \text{ MPa}$$

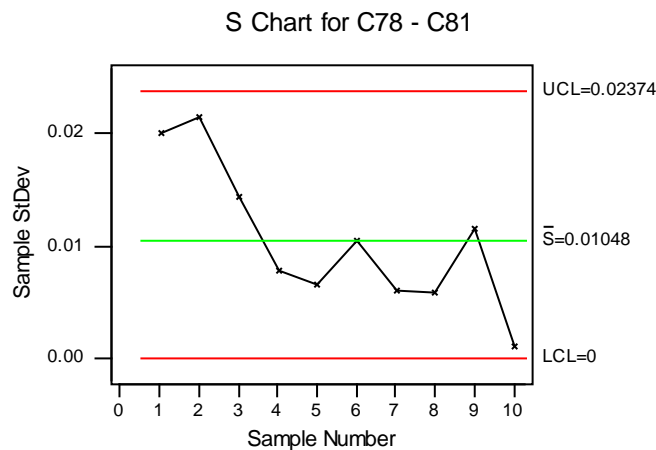
### Incertidumbre expandida:

Para probetas planas:

$$U = k u_c = 2(0.014) = 0.028 \text{ MPa}$$

## Deformación plástica final

### Redondas



$$U_a = \frac{0.01048}{0.94} = 0.011mm$$

## Medición de longitud inicial (Lom)

### a) Incertidumbre obtenida del certificado de calibración:

Se tiene una incertidumbre en el certificado LLA-066-2007, este dato puede ser utilizado para encontrar la incertidumbre estándar del vernier, de la siguiente manera:

$$U = \frac{U_{certificado}}{k} = \frac{13}{2} = 6.5\mu m$$

### b) Incertidumbre obtenida de la repetibilidad:

Se tienen datos de mediciones hechas por diferentes analistas con el vernier con estos datos obtendremos la incertidumbre tipo A, de la siguiente manera:

## DATOS REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD

N°	Medidas (mm) por analista			
	DM	JS	AR	RH
1	50.04	50.04	50.08	50.04
2	50.05	50.04	50.05	50.06
3	50.04	50.04	50.05	50.06
4	50.05	50.03	50.08	50.05
5	50.04	50.04	50.05	50.04
6	50.04	50.05	50.05	50.05
7	50.04	50.05	50.06	50.03
8	50.04	50.04	50.06	50.05
9	50.04	50.04	50.07	50.05
10	50.05	50.04	50.06	50.04

$$U_{\text{repetibilidad}} = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.011368\text{mm}$$

## c) Incertidumbre debido a la resolución del vernier:

En el certificado de calibración LLA-066-2007 del vernier encontramos el valor de resolución del instrumento que nos proporciona la siguiente incertidumbre a la medida:

$$U_R = \frac{0.01}{\sqrt{12}} = 0.00288\text{mm}$$

$$u_{\text{vernier}} = \sqrt{U_R^2 + U_{\text{repetibilidad}}^2 + U^2} = 0.00288^2 + 0.011368^2 + 0.0065^2 = 0.0134\text{mm}$$

### Medición de longitud final (Lf)

#### a) Incertidumbre obtenida del certificado de calibración:

Se tiene una incertidumbre en el certificado LLA-066-2007, este dato puede ser utilizado para encontrar la incertidumbre estándar del vernier, de la siguiente manera:

$$U = \frac{U_{\text{certificado}}}{k} = \frac{13}{2} = 6.5 \mu m$$

#### b) Incertidumbre obtenida de la repetibilidad:

Se tienen datos de mediciones hechas por diferentes analistas con el vernier con estos datos obtendremos la incertidumbre tipo A, de la siguiente manera:

#### DATOS REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD

N°	Medidas (mm) por analista			
	DM	JS	AR	RH
1	50.04	50.04	50.08	50.04
2	50.05	50.04	50.05	50.06
3	50.04	50.04	50.05	50.06
4	50.05	50.03	50.08	50.05
5	50.04	50.04	50.05	50.04
6	50.04	50.05	50.05	50.05
7	50.04	50.05	50.06	50.03
8	50.04	50.04	50.06	50.05
9	50.04	50.04	50.07	50.05
10	50.05	50.04	50.06	50.04

$$U_{\text{repetibilidad}} = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.011368 \text{ mm}$$

**c) Incertidumbre debido a la resolución del vernier:**

En el certificado de calibración LLA-066-2007 del vernier encontramos el valor de resolución del instrumento que nos proporciona la siguiente incertidumbre a la medida:

$$U_R = \frac{0.01}{\sqrt{12}} = 0.00288mm$$

Para probetas redondas

$$u_{\text{vernier}} = \sqrt{U_R^2 + U_{\text{repetibilidad}}^2 + U^2 + U_a^2} = 0.00288^2 + 0.011368^2 + 0.0065^2 + 0.011^2 = 0.02mm$$

**Incertidumbre combinada para probetas redondas:**

$$A_{pm} = \frac{L_f - L_{om}}{L_{om}} 100$$

Los valores promedio de cada una de las magnitudes de entrada son:

$L_f = 68.85mm$  Es el promedio tomado de las probetas redondas

$L_{om} = 50mm$  Es el promedio tomado de las probetas redondas

$$C_{L_f} = \frac{100}{L_{om}} = \frac{100}{50} = 2mm^{-1} \text{ Para probetas redondas}$$

$$C_{L_{om}} = -\frac{L_f 100}{L_{om}^2} = -\frac{69.1(100)}{50^2} = -2.764mm^{-1} \text{ Para probetas redondas}$$

$$U_{\sigma} = \sqrt{C_{L_f}^2 \cdot \mu_{\text{vernier}}^2 + C_{L_{om}}^2 \cdot \mu_{\text{vernier}}^2} = \sqrt{2^2 \times 0.02^2 + 2.764^2 \times 0.0134^2} = 0.05\%$$

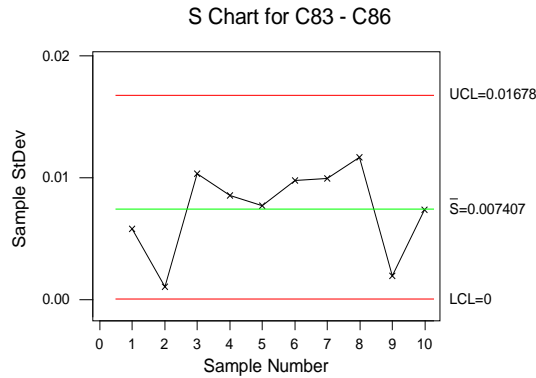
**Incertidumbre expandida:**

**Para probetas redondas:**

$$U = k u_c = 2(0.05) = 0.1\%$$



**Planas**



$$U_a = \frac{0.007407}{0.94} = 0.0076mm$$

**Medición de longitud inicial (Lom)**

**a) Incertidumbre obtenida del certificado de calibración:**

Se tiene una incertidumbre en el certificado LLA-066-2007, este dato puede ser utilizado para encontrar la incertidumbre estándar del vernier, de la siguiente manera:

$$U = \frac{U_{certificado}}{k} = \frac{13}{2} = 6.5 \mu m$$

**b) Incertidumbre obtenida de la repetibilidad:**

Se tienen datos de mediciones hechas por diferentes analistas con el vernier con estos datos obtendremos la incertidumbre tipo A, de la siguiente manera:

**DATOS REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD**

N°	Medidas (mm) por analista			
	DM	JS	AR	RH
1	50.04	50.04	50.08	50.04
2	50.05	50.04	50.05	50.06
3	50.04	50.04	50.05	50.06
4	50.05	50.03	50.08	50.05
5	50.04	50.04	50.05	50.04
6	50.04	50.05	50.05	50.05
7	50.04	50.05	50.06	50.03
8	50.04	50.04	50.06	50.05
9	50.04	50.04	50.07	50.05
10	50.05	50.04	50.06	50.04

$$U_{\text{repetibilidad}} = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.011368\text{mm}$$

### c) Incertidumbre debido a la resolución del vernier:

En el certificado de calibración LLA-066-2007 del vernier encontramos el valor de resolución del instrumento que nos proporciona la siguiente incertidumbre a la medida:

$$U_R = \frac{0.01}{\sqrt{12}} = 0.00288\text{mm}$$

$$u_{\text{vernier}} = U_R^2 + U_{\text{repetibilidad}}^2 + U^2 = 0.00288^2 + 0.011368^2 + 0.0065^2 = 0.0134\text{mm}$$

### Medición de longitud final (Lf)

#### a) Incertidumbre obtenida del certificado de calibración:

Se tiene una incertidumbre en el certificado LLA-066-2007, este dato puede ser utilizado para encontrar la incertidumbre estándar del vernier, de la siguiente manera:

$$U = \frac{U_{\text{certificado}}}{k} = \frac{13}{2} = 6.5 \mu\text{m}$$

### b) Incertidumbre obtenida de la repetibilidad:

Se tienen datos de mediciones hechas por diferentes analistas con el vernier con estos datos obtendremos la incertidumbre tipo A, de la siguiente manera:

#### DATOS REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD

N°	Medidas (mm) por analista			
	DM	JS	AR	RH
1	50.04	50.04	50.08	50.04
2	50.05	50.04	50.05	50.06
3	50.04	50.04	50.05	50.06
4	50.05	50.03	50.08	50.05
5	50.04	50.04	50.05	50.04
6	50.04	50.05	50.05	50.05
7	50.04	50.05	50.06	50.03
8	50.04	50.04	50.06	50.05
9	50.04	50.04	50.07	50.05
10	50.05	50.04	50.06	50.04

$$U_{\text{repetibilidad}} = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.011368\text{mm}$$

### c) Incertidumbre debido a la resolución del vernier:

En el certificado de calibración LLA-066-2007 del vernier encontramos el valor de resolución del instrumento que nos proporciona la siguiente incertidumbre a la medida:

$$U_R = \frac{0.01}{\sqrt{12}} = 0.00288\text{mm}$$

Para probetas planas

$$u_{\text{vernier}} = \sqrt{U_R^2 + U_{\text{repetibilidad}}^2 + U^2 + U_a^2} = 0.00288^2 + 0.011368^2 + 0.0065^2 + 0.0076^2 = 0.015\text{mm}$$

**Incertidumbre combinada para probetas planas:**

$$A_{pm} = \frac{L_f - L_{om}}{L_{om}} 100$$

Los valores promedio de cada una de las magnitudes de entrada son:

$$L_f = 67.005\text{mm} \quad \text{Es el promedio tomado de las probetas planas}$$

$$L_{om} = 50\text{mm} \quad \text{Es el promedio tomado de las probetas planas}$$

$$C_{L_f} = \frac{100}{L_{om}} = \frac{100}{50} = 2\text{mm}^{-1} \quad \text{Para probetas redondas}$$

$$C_{L_{om}} = -\frac{L_f 100}{L_{om}^2} = -\frac{67.005(100)}{50^2} = -2.68\text{mm}^{-1} \quad \text{Para probetas redondas}$$

$$U_{\sigma} = \sqrt{C_{L_f}^2 \cdot \mu_{\text{vernier}}^2 + C_{L_{om}}^2 \cdot \mu_{\text{vernier}}^2} = \sqrt{2^2 \times 0.015^2 + 2.68^2 \times 0.0134^2} = 0.05\%$$

**Incertidumbre expandida:**

Para probetas planas:

$$U = k u_c = 2(0.05) = 0.1\%$$

## CONCLUSIONES

1. Mediante este método para hallar incertidumbre se pueden tener en cuenta gran cantidad de variables que influyen en el resultado y que antes no se tenía en cuenta, permitiendo estimar no solo la naturaleza de lo que se mide sino el procedimiento seguido. Es la gran diferencia con la forma de hallar la incertidumbre en años anteriores, pues antes solo se media la dispersión de los ensayos, obteniendo un intervalo mas amplio donde podía encontrarse el valor real de la medida, sin tomar en cuenta el procedimiento seguido.
2. El material con el que se trabaja es ASTM A36 sin tratamiento térmico y demuestra una mayor dispersión en sus resultados y esto se puede apreciar más en la fluencia (en cuyos gráficos de diagrama esfuerzo-deformación se nota una gran variación en los picos de fluencia). Aun así, es mejor trabajar con este tipo de material que con un acero con tratamiento térmico pues para el estudio de incertidumbre un material con tratamiento disminuiría estos resultados demasiado dando incertidumbres insignificantes de reportar y no dándonos ningún dato sobre que factor influye mas en la medida.
3. Las diferencias de resultados existentes para las probetas redondas y planas tanto para la fluencia como para el esfuerzo máximo, dependen de la heterogeneidad existente en el material así como en las formas de las probetas y estas diferencias se notan mas en la fluencia que es donde mas se pueden notar las diferencias de propiedades existentes en las probetas.
4. La principal contribución a la incertidumbre estándar proviene de la incertidumbre debido al proceso de medida esto se debe a que el centrado de las probetas en las maquinas no es el perfecto y que las probetas de ensayo presentan desviaciones de forma y dimensiones. Aun así, este factor no afecta de manera significativa a los resultados pues en el laboratorio existe un buen procedimiento para realizar los ensayos y además se cuenta con la experiencia de los analistas para seguir este procedimiento.

5. Para efectos de reportes a cliente, queda demostrado que se podría trabajar con valores de incertidumbre para cada tipo de probeta sin importar en que maquina se realizo el ensayo, es decir una incertidumbre general de laboratorio para cada tipo de probeta pues estos valores se encuentran acordes a lo que se pide en la norma ASTM E029. Para efectos de investigación si se debería analizar la incertidumbre en cada maquina pues nos ofrece valores del procedimiento realizado en cada una de estas.

6. Como se ha dicho el procedimiento de cálculo para la incertidumbre presentado en este documento depende en su mayor parte de la naturaleza de lo que se mide pero además del método y procedimiento de medición. Por esta razón, la calidad y el uso de la incertidumbre asociada a lo que se quiere medir dependerá de la honestidad, experiencia y criterio de quienes contribuyeron a su cálculo y de aquellos que harán uso de la información.

7. Las siguientes tablas son un resumen de los resultados finales obtenidos en el trabajo:

<b>Maquina ZWICK</b>		
<b>Esfuerzo de fluencia</b>		
Fuentes	Probetas redondas	Probetas planas
<b>Fuerza (kN)</b>		
Repetibilidad	0.7245	0.241
Calibración	0.01	0.01
Resolución	0.000289	0.000289
Deriva	0.03	0.03
Proceso de medida	1.57	0.364
<b>Área (mm)</b>		
Certificado de calibración	0.0065	0.0065
Repetibilidad	0.011368	0.011368
Resolución del vernier	0.00289	0.00289
<b>Incertidumbre combinada (MPa)</b>	<b>0.014</b>	<b>0.0066</b>
<b>Incertidumbre expandida (MPa)</b>	<b>0.028</b>	<b>0.0132</b>

<b>Maquina ZWICK</b>		
<b>Esfuerzo Máximo</b>		
Fuentes	Probetas redondas	Probetas planas
<b>Fuerza (kN)</b>		
Repetibilidad	0.35	0.22
Calibración	0.01	0.01
Resolución	0.000288	0.000288
Deriva	0.03	0.03
Proceso de medida	0.595	0.364
<b>Área (mm)</b>		
Certificado de calibración	0.0065	0.0065
Repetibilidad	0.011368	0.011368
Resolución del vernier	0.00288	0.00288
<b>Incertidumbre combinada (MPa)</b>	<b>0.00576</b>	<b>0.011</b>
<b>Incertidumbre expandida (MPa)</b>	<b>0.011</b>	<b>0.022</b>

<b>Maquina ZWICK</b>		
<b>Deformación plástica final</b>		
Fuentes	Probetas redondas	Probetas planas
<b>Longitud inicial (mm)</b>		
Certificado de calibración	0.0065	0.0065
Repetibilidad	0.0113698	0.0113698
Resolución del vernier	0.00288	0.00288
<b>Longitud final (mm)</b>		
Repetibilidad	0.00143	0.00143
Certificado de calibración	0.0065	0.0065
Repetibilidad	0.0113698	0.011369
Resolución del vernier	0.00288	0.00288
<b>Incertidumbre combinada (%)</b>	<b>0.047</b>	<b>0.045</b>
<b>Incertidumbre expandida (%)</b>	<b>0.094</b>	<b>0.09</b>

<b>Maquina MFL</b>		
<b>Esfuerzo de fluencia</b>		
Fuentes	Probetas redondas	Probetas planas
<b>Fuerza (kN)</b>		
Repetibilidad	2.475	0.652
Calibración	0.01	0.01
Resolución	no existe	no existe
Deriva	0.2	0.2
Proceso de medida	6.5	1.5
<b>Área (mm)</b>		
Certificado de calibración	0.065	0.065
Repetibilidad	0.011368	0.011368

Resolución del vernier	0.00289	0.00289
<b>Incertidumbre combinada (MPa)</b>	<b>0.057</b>	<b>0.03</b>
<b>Incertidumbre expandida (MPa)</b>	<b>0.114</b>	<b>0.06</b>

<b>Maquina MFL</b>		
<b>Esfuerzo Máximo</b>		
Fuentes	Probetas redondas	Probetas planas
<b>Fuerza (kN)</b>		
Repetibilidad	0.362	0.34
Calibración	0.01	0.01
Resolución	no existe	no existe
Deriva	0.2	0.2
Proceso de medida	0.58	0.58
<b>Área (mm)</b>		
Certificado de calibración	0.0065	0.0065
Repetibilidad	0.011368	0.011368
Resolución del vernier	0.00289	0.00289
<b>Incertidumbre combinada (MPa)</b>	<b>0.006</b>	<b>0.012</b>
<b>Incertidumbre expandida (MPa)</b>	<b>0.012</b>	<b>0.024</b>

<b>Maquina MFL</b>		
<b>Deformación plástica final</b>		
Fuentes	Probetas redondas	Probetas planas
<b>Longitud inicial (mm)</b>		
Certificado de calibración	0.0065	0.0065
Repetibilidad	0.0113698	0.0113698
Resolución del vernier	0.00288	0.00288
<b>Longitud final (mm)</b>		
Repetibilidad	0.0075	0.0065
Certificado de calibración	0.0065	0.0065
Repetibilidad	0.011368	0.011368
Resolución del vernier	0.00288	0.00288
<b>Incertidumbre combinada (%)</b>	<b>0.047</b>	<b>0.045</b>
<b>Incertidumbre expandida (%)</b>	<b>0.094</b>	<b>0.09</b>



## BIBLIOGRAFÍA

1. Ignacio Lira Canguilhem (1997). UNA SANA MEDIDA metrología y calidad industrial
2. American Society for Testing of Materials, Standard Test Methods and Definitions For Mechanical Testing Of Steel Products ASTM A 370 – 08a
3. INDECOPI-CRT. Directriz para la estimación y expresión de la incertidumbre de la medición.
4. Asunción Morales Hortelano (2008). Estudio de la incertidumbre del resultado de las medidas obtenidas en ensayos de acero. El ensayo de tracción. “Ingeniería Civil: CEDEX” 151/2008
5. V. Díaz y C. López (2005). Estudio de la incertidumbre en la velocidad de corrosión atmosférica en acero de bajo carbono. Rev. Metal. Madrid Vol. Extr. (2005) 441-448
6. S. Trujillo y R. Arias (2002). Incertidumbre en la calibración de un matraz volumétrico. CENAM. México, octubre de 2002
7. Douglas C. Montgomery (2002), Diseño y Análisis de experimentos
8. Box, George E.P (1999), Estadística para investigadores: introducción al diseño de experimentos, análisis de datos y construcción de modelos
9. Pérez López, Cesar (1999). Control estadístico de la calidad: teoría, práctica y aplicaciones informáticas.

10. Julio R. Lazarte Gamero (1994). Propiedades Mecánicas y Ensayos de Materiales. TESIS
11. Douglas C. Montgomery (1991), Introducción al control estadístico de la calidad
12. Hector Gonzáles Muñoz, “Incertidumbre en la calibración de calibradores tipo vernier”. Cenam
13. W. Schmid y R. Lazos, “Guía para Estimar la Incertidumbre de la Medición, Centro Nacional de Metrología”. México, mayo 2000.
14. Vocabulario internacional de términos básicos y generales utilizados en metrología (VIM). Organización internacional de normalización, 1993
15. Schey John A. Procesos de manufactura. McGraw-Hill, 2002
16. Gonzáles Gonzáles, Carlos. Metrología. McGraw-Hill, 1998
17. Siroji, Rajpal. Speckle metrology. New York Decker, 1993
18. Herrera de la cruz, Víctor. Metrología: ciencia de la medición. Rev. Calidad y excelencia Año 4, no 19. p 38 – 44