



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Mecánica

**CÁLCULO EXPERIMENTAL DE LOS PROCESOS DE PUNZONADO
SOBRE LOS PRINCIPALES PLÁSTICOS DEL SECTOR
AUTOMOVILÍSTICO.**

Autor:

MORO GARCÍA, ADRIÁN

Tutor:

**SAN JUAN BLANCO, MANUEL
CMeIM**

Valladolid, Abril 2016

1. Índice

1.	Índice	3
	Resumen	5
1.1	Palabras clave	5
1.2	Introducción.....	7
1.3	Objetivos	9
2.	Estado del arte	13
2.1	Proceso de punzonado.	13
2.2	Proceso de punzonado en chapa metálica, historia del punzonado.....	15
2.3	Fuerzas en el punzonado.....	17
2.4	Modelo simple de punzonado en chapa metálica. Primer estudio histórico del punzonado.....	19
2.5	Desgaste de la herramienta	22
2.6	Precisión de las piezas punzonadas.	24
2.7	Optimización del proceso	26
2.8	Criterio de desgaste para maximizar la duración de la herramienta.....	26
2.9	Materiales.....	27
2.9.1	Polipropileno	31
2.9.2	Polietileno.....	33
2.9.3	ABS.....	35
2.10	Proceso de punzonado aplicado en plásticos.	39
3	Metodología de análisis	45
3.1	Célula de carga	53
4	Resultados.....	57
4.1	PUNZÓN PLANO	58
4.2	PUNZÓN INCLINADO	74
4.3	PUNZÓN TRAPEZOIDAL DE $\phi 18,9\text{mm}$	86
5	Conclusiones	97
6	LÍNEAS FUTURAS	99
7	Bibliografía	101
8	Anexos	105

Resumen

Los procesos de punzonado continúan siendo ampliamente utilizados en la industria, con un enfoque cada vez mayor en los polímeros. La mayoría de estudios presentes en textos de los procesos de punzonado suelen referirse a chapa metálica. En este TFG realizamos un estudio para la empresa PROINGESA en el cual presentamos los resultados de un análisis empírico sobre polímeros. Para ello utilizaremos un dinamómetro calibrado con el que mediremos la curva $F(t)$ y buscaremos el instante en el que la fuerza es máxima, que es el instante en el que el material rompe. Estos valores se presentaran tabulados para tres de los plásticos más usuales de la industria automovilística, que son el PP-EPDM-TD10, PE MD10, ABS. Observaremos las gráficas que generan y las fuerzas necesarias para una vez punzonado el material, se produzca su desacoplamiento del punzón mediante un pisador, extrayendo la pieza punzonada con facilidad.

1.1 Palabras clave

Punzonado.

Polímeros.

Practica experimental.

Dinamómetro.

Automóvil.

1.2 Introducción.

PROINGESA es una empresa vallisoletana fundada por ingenieros en 1989, cuyo campo de trabajo es el Diseño y Fabricación de Sistemas Avanzados de Producción. La empresa está catalogada como una PYME con alrededor de 50 trabajadores. Su principal campo de actuación se encuentra en el diseño y fabricación de máquinas especiales a medida e instalaciones automáticas llave en mano, los cuales lleva realizando durante más de 25 años.

PROINGESA, inicialmente era una empresa de mantenimiento de maquinaria, pero las necesidades de los clientes eran cada vez mayores y surgió la oportunidad de evolucionar a una empresa que realizaba sus propias máquinas. Los proyectos que desarrollan son principalmente para mejorar la productividad en las empresas, mediante automatización de sus líneas. Se encuentran posicionados como Empresa Innovadora de Base Tecnológica (EIBT) a la vanguardia en I+D. Poseen un departamento de I+D donde se desarrollan y se prueban mejoras, que en función de sus resultados se implementan o no en las máquinas.

Actualmente se encuentra en el mercado con una amplia gama de productos, lo que la permite competir en varios sectores del mercado. Este es el resultado de una gran labor de investigación y desarrollo por lo que es considerada como una de las empresas españolas de referencia en su campo.

Sus principales líneas de producto son:

- **Visión artificial industrial:** Principalmente para la inspección de productos, el control de presencia sin contacto, o lectura de variables que identifiquen componentes, para optimizar tiempos de ciclo y maximizar la producción además de garantizar la trazabilidad. La integración de la visión artificial en la mayoría de las máquinas a petición del cliente, permiten acotar los errores y verificar en la línea que no se haya cometido ningún error humano o de maquinaria.
- **Transporte automático:** Se dedican al diseño, fabricación, y puesta a punto en marcha de sistemas de transporte en procesos logísticos, ya sean transportadores aéreos, transportadores al suelo, o robotizado con plataforma móvil AGV. Los clientes exigen líneas completamente automatizadas, donde los operarios no tengan que tomar decisiones a criterio, por lo que este tipo de transportadores se utilizan para el movimiento de la pieza sobre la que queremos trabajar por distintas células.

- **Células Robotizadas:** Implantación de las mismas para diversas operaciones de manipulación, soldadura, rebanado, aplicación de siliconas y remachado entre otras.
Cada vez más exigidas por los clientes, debido a las grandes posibilidades que nos ofrecen los brazos robóticos que se implantan en las mismas.
- **Transporte Robotizado con AGV:** Centrándose en la robótica móvil, para la industria, servicios y hospitales. Un caso conocido son los robots transportadores de comida que se fabricaron para el Hospital Río Ortega de Valladolid.
- **Maquinaria especial:** Desarrollando una máquina a la medida del cliente como pudieran ser máquinas de atornillado múltiple, de estanqueidad, de marcado láser, de montaje vehículo entre otros. Actualmente es un campo de mucha utilidad debido a que el mercado del automóvil se encuentra inmerso en un cambio en sus líneas.
- **Maquinaria Plásticos:** Es la línea de producto aplicado a procesos de montaje de piezas, o de operaciones de corte automático. Se compone del diseño, fabricación y puesta a punto de máquinas periféricas para la industria del plástico, generalmente en el sector de la automoción. Como son el punzonado de paragolpes, el mecanizado de depósitos de combustible, la soldadura de plásticos por placa caliente y por ultrasonidos al igual que puestos de montaje.

El origen de nuestro estudio parte de los diferentes problemas que encuentran en PROINGESA con el cálculo de las fuerzas necesarias para realizar los procesos de punzonado en sus máquinas. Generalmente consiguen realizar el proceso, pero observan que los cálculos teóricos no se corresponden con las fuerzas reales del proceso. Todo ello era debido a que los valores que les proporcionaban para realizar los ensayos, eran valores de polímeros básicos, sin la resistencia que les confieren las cargas y aditivos que poseen. Por lo que un estudio empírico arrojará unos valores de resistencia específica del material más ajustados.

Para el cálculo de las fuerzas necesarias en el proceso de corte, y por tanto para obtener los valores de diseño en los cilindros neumáticos o hidráulicos, se realiza un cálculo básico. Mediante una tabla en la que tenemos como inputs los valores de resistencia de material, el perímetro de corte y el espesor de la chapa, se obtienen una serie de valores teóricos que sirven como idea inicial para la elección del cilindro.

Una de las inquietudes que presentaba la empresa, era la necesidad de realizar un cálculo lo más fino posible del proceso, para poder extrapolarlo a la máquina completa. En la mayoría de máquinas que tienen operación de

punzonado, poseen varios módulos para punzonar, por lo que simultáneamente se realiza el proceso de corte del parachoques en varios puntos, por lo que resulta interesante estudiar el proceso individualmente y luego extrapolar.

Una vez se plantea el problema, hay que centrar la atención en las variables que se consideran relevantes. Por un lado tenemos la resistencia del material, ya que las mezclas poliméricas utilizadas en automoción son mezclas generalmente heterogéneas.

Una vez llevado a cabo el proceso de corte por punzonado, la experiencia y el resultado del proceso en sí muestran que el paracolpe queda encajado en el punzón y para la extracción del mismo se colocan unos pisadores con resortes para desenclavar el paracolpe y realizar la descarga del mismo. La necesidad de hacer un estudio empírico se fundamenta en la poca base científica de punzonado sobre láminas de plástico, ya que fundamentalmente se ha estudiado sobre chapa metálica.

1.3 Objetivos

El sector automovilístico se encuentra en constante evolución. La implantación de sensores para mejorar la seguridad del vehículo, hacen que nos encontremos con coches con bastante carga electrónica. Los sensores más utilizados son de aparcamiento, lavafaros o ángulo muerto entre otros. Estos sensores van pegados por la parte interior del parachoques, delantero o trasero, y son los captadores de presencia de otro cuerpo.

El ensamblaje de estos dispositivos electrónicos se realiza en máquinas hechas a medida para clientes, y suelen constar de dos etapas (punzonado y adhesivado del material).

Habitualmente los parachoques se fabrican de una sola pieza mediante el proceso de inyección, y es una piel con una forma específica. Generalmente a esta piel se le suele clipar rejillas o pegar pasos de rueda dependiendo el modelo. Una vez tenemos el parachoques íntegro surge la necesidad de incluir los sensores antes comentados, para ello las etapas del proceso completo se suceden de la siguiente manera.

- Primero se posiciona el parachoques en la máquina mediante indentaciones.
- Una vez posicionado los cilindros neumáticos descienden hasta encontrarse con la piel.
- Finalmente los punzones se introducen en la matriz y cortan el material.

Posteriormente podemos tener una etapa de pegado o no de los sensores.

El problema concreto lo centraremos en la falta de datos concretos sobre las variables completas de resistencia del material. Generalmente los problemas de un cálculo erróneo suelen traducirse en punzones mellados o con el filo de corte dañado tras pocos procesos.

Tenemos diseñados tres tipos de punzones:

- Un punzón plano (sabemos que es con el que más fuerza teníamos que realizar).
- Un punzón con un cierto ángulo.
- Un punzón con forma trapezoidal.

La necesidad surgida en la empresa se debió principalmente no sólo al problema con la herramienta, sino a un problema con los cilindros neumáticos que nos proporcionaban esa fuerza necesaria para el corte.

Las pieles de los parachoques en nuestro caso son de tres tipos:

- PP EPDM T10
 - Polipropileno reforzado con talco como carga.
- PE MD10
 - Polietileno reforzado con mineral en polvo.
- ABS
 - Plástico ingenieril muy resistente formado por Acrilonitrilo Butadieno Estireno.

Por lo que el objetivo de nuestro estudio se centrará en obtener de forma experimental el valor mínimo de fuerza necesario para poder realizar el proceso de corte satisfactoriamente.

Para ello se relacionará la parte teórica conocida del proceso de punzonado y se calculará igualando las fuerzas obtenidas experimentalmente mediante la célula de carga.

Al lograr este objetivo conoceremos empíricamente que rango de valores son los que toma la resistencia específica del material antes mencionada y podremos conocer de una forma más aproximada el esfuerzo total que se realizará sobre una pieza ya que hemos ajustado el proceso individualmente. Así conseguiremos obtener unos valores más ajustados de la fuerza necesaria.

En todo proceso de punzonado, otro de los aspectos importantes del mismo suele ser calcular la fuerza que el pisador tiene que realizar para una vez punzonado despegar la piel del punzón.

La importancia de este proceso radica en que normalmente los parachoques llegan ya pintados a las máquinas, con lo que necesitamos ajustar la fuerza

que necesita el pisador. Ya que si nos quedamos cortos en los cálculos el pisador no recupera y si nos pasamos marcaríamos la pieza, lo cual es inadmisibles para el cliente.

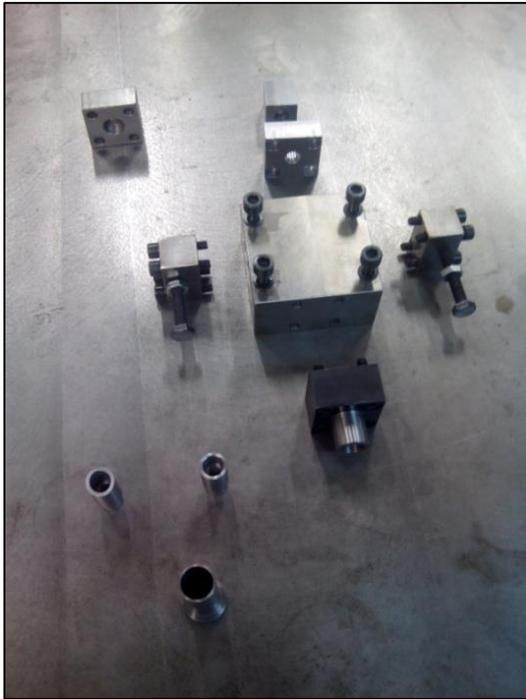


Imagen 1: Elaboración propia

2. Estado del arte

2.1 Proceso de punzonado.

Los procesos de punzonado por lo general, se asocian a procesos mecánicos simples, de escaso valor añadido. Pero realmente dependen de varios factores relacionados con la máquina, herramientas, material y la geometría de la pieza.

Inicialmente se presentará el proceso de punzonado sobre chapa metálica, ya que conformaron el inicio de la teoría del punzonado.

Mateos, S. et al. (2000), estructuró los posibles factores influyentes en un proceso de punzonado de la siguiente manera

1.- Máquina:

- **Potencia**
- **Características estructurales.**
- **Accionamiento**
- **Regulación**

2.- Herramienta:

- **Tratamiento superficial**
- **Geometría**
- **Tipo de material**

3.- Material:

- **Características intrínsecas**
- **Tratamiento superficial**

4.- Pieza:

- **Geometría preforma**
- **Geometría producto**
- **Proceso**
- **Calidad**
- **Espesor**

5.- Entorno:

- **Organización de la producción**
- **Organización del proceso.**

Históricamente las primeras investigaciones con cierto contenido científico que abordan el proceso de punzonado, confluyen en los años 30 en Centro Europa, pero fue en Japón poco más tarde donde se formó un grupo investigador sobre el punzonado. Actualmente se están empezando a evaluar el análisis de proceso mediante elementos finitos, simulándolo numéricamente.

La pregunta inicial para introducir a cualquiera en este principal mecanismo de corte en una parte de la automoción es la siguiente:

¿Qué entendemos por punzonado?

El punzonado, *Mateos, S. et al. (2000)*, es un proceso de corte, de láminas o chapas, es decir de elementos con una dimensión bastante menor a las otras dos. Se suele cortar generalmente en frío mediante un dispositivo mecánico formado por dos herramientas que interrelacionan, que son el punzón y la matriz.

Se genera una fuerza de compresión en el punzón que incrusta y penetra en el material a cortar, creando una deformación inicial en régimen elastoplástico, seguida de un cizallamiento y una rotura del material por la propagación de la fisura generada. El proceso finaliza con la evacuación de la pepita del material cortado.

Las clasificaciones dadas por la Clasificación Decimal Universal y el comité Europeo de las industrias de la máquina herramienta se corresponde con la C.D.U que incluye la máquina punzadora en el apartado 621.961

6-Ciencias aplicadas. Medicina técnica.

62. Ingeniería técnica e industrial en general.

621. Ingeniería mecánica electrotecnia.

621.9 Máquinas herramienta.

621.96 Herramientas y máquinas para punzonar, troquelar, remachar, mortajar, ranurar, estampar, etc.

El proceso como tal tiene varios factores a tener en cuenta, debido generalmente a la gran iteración existente entre máquina, herramienta y material. En este caso, el punzón y la matriz constituyen las herramientas requeridas entre los que se intercala el material a trabajar. Siendo la parte móvil exclusivamente el punzón.

Esta operación desarrolla un fenómeno de transformación plástica, pues el punzón, al descender, ejerce sobre la chapa una presión continuada. A este esfuerzo, se le opone la reacción propia del material, hasta el instante en el que el esfuerzo de compresión originado por el punzón es superior a la resistencia propia del material siendo entonces separada la pieza.

2.2 Proceso de punzonado en chapa metálica, historia del punzonado.

En el proceso clásico de punzonado sobre láminas de acero se distinguen claramente tres etapas:

1.- Deformación: Los esfuerzos del punzón sobre el material originan en éste una deformación, inicialmente elástica y luego plástica, alrededor de los bordes del punzón y matriz. El punzón se ha enclavado ya en el material y va introduciéndose progresivamente.

2.- Penetración: Los filos de corte del punzón penetran dentro del material y simultáneamente el material penetra dentro de la matriz, produciéndose grietas en ambas zonas. Estas grietas han de tener la misma dirección para encontrarse y que de esta manera la energía consumida en el proceso sea menor.

3.- Fractura: Las grietas que se originan a uno y a otro lado del material son las que al confluir producen la separación del material. El punzón continúa en su descenso para expulsar el recorte.

Uno de los factores más influyentes, posiblemente el que más es el juego de corte J . Éste tiene un efecto absolutamente fundamental en el proceso de corte. Se define como la distancia lateral entre el filo del punzón y el filo de la matriz. En el caso de punzones de sección circular el juego de corte será la mitad de la diferencia de diámetros de la matriz y el punzón. En la realidad nos encontramos con que hay fabricantes que recomiendan una diferencia de diámetros entre punzón y matriz que expresan en forma de un porcentaje de J .

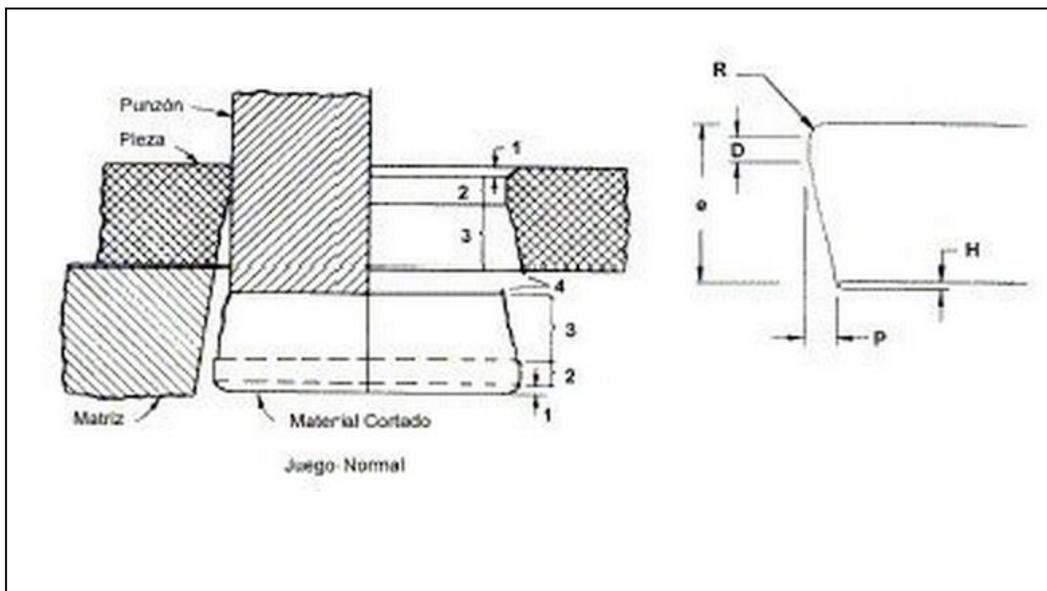


Figura 1- Características del borde de corte con juego normal. Mateos, S. et al. (2000).

Inicialmente se centraron los estudios del punzonado en los efectos que generaba en las huellas la variación en el juego de corte, la geometría del borde y la calidad de los productos. El corte por punzonado posee varias características fácilmente reconocibles en los bordes de la lámina y del material cortado.

- 1.- Deformación plástica caracterizada por un pequeño radio R .
- 2.- Zona bruñida de aspecto brillante caracterizada por el ancho D .
- 3.- Fractura angular, con aspecto mate, definida por la penetración P .
- 4.- Rebaba caracterizada por la altura H .

Todas estas características que pueden ser observadas en la figura 1 dependen del tipo, dureza y espesor del material, juego entre punzón y matriz, estado de los filos de corte, sujeción del material y tamaño del punzón en relación con el espesor del material.

Generalmente las zonas 1 y 2, se suelen representar como un porcentaje del espesor del material, y definen la distancia recorrida por el punzón antes de la fractura del material. El porcentaje de penetración del punzón varía en función del material que estemos cortando, por lo que según vamos aumentando la dureza del material, el porcentaje de penetración del punzón disminuye. Por otro lado la penetración del punzón aumenta cuando el tamaño del punzón es menor que 1,5 veces el espesor del material.

La fractura angular y la calidad del corte dependen del juego entre matriz y punzón. Podemos encontrarnos con varias posibilidades.

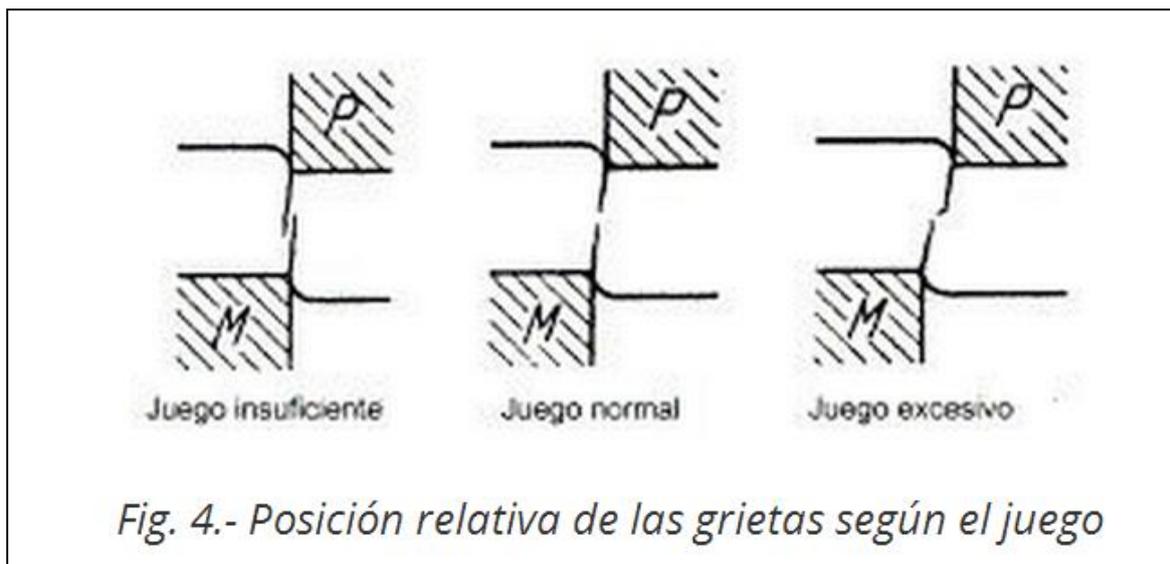


Figura 2- Posición relativa de las grietas en función del juego punzón-matriz. Mateos, S. et al. (2000).

Si nuestro juego no es el adecuado produciríamos unas grietas desalineadas, la superior frente a la inferior y cabrían diferentes posibilidades:

Una de ellas sería que el juego pueda ser insuficiente, por lo que crearíamos una grieta en la parte superior del material y otra en la parte inferior del mismo que no están alineadas y no se encontrarían, por lo que el corte no se produciría adecuadamente, ya que tendríamos fracturas secundarias, que perjudican la calidad de los bordes. Hay que destacar, que al disminuir el juego de corte se produce una mejora en la precisión de la pieza, pero hay que evaluarlo conjuntamente con otros factores. Como pudiera ser un aumento en el desgaste de la herramienta y un aumento en la energía consumida. Por otro lado si tuviéramos un juego de corte excesivo, conseguimos aumentar la vida de la herramienta, pero empeoramos la calidad obtenida en los bordes, luego el juego de corte apropiado, será aquel que no cause un corte secundario y tenga una deformación plástica y altura de rebaba pequeñas.

Las curvas que obtenemos en los ensayos, muestran una serie de zonas claramente diferenciadas: La primera en la que la fuerza aumenta desde cero hasta su valor máximo, que es el punto en el que se inicia la fractura y la segunda conforme avanzan las grietas generadas hasta producir el corte. Las curvas variarán claramente en función del juego que tengamos, como podemos observar en la Figura 2.

2.3 Fuerzas en el punzonado.

Los primeros modelos teóricos sobre el punzonado, se desarrollaron a finales de los años 50. Establecían un modelo que seguía un proceso de corte progresivo por cizalladura simple. Este modelo permitía explicar las características de corte y calcular el valor de la resistencia al mismo con un error del 10%. Siguiendo los estudios de González, E. C., Muñiz, D. L., Álvarez, B. J. Á., Díaz, S. M., & Fernández, D. B. (2010).

La resistencia de corte por punzonado k_s será a partir de la máxima fuerza de corte $F_x \text{ máx}$.

$$k_s = \frac{F_s \text{ máx}}{A_s}$$

Donde el área A_s es el área calculada a partir del espesor de la chapa e y el perímetro de corte.

k_s incluye varios efectos, entre ellos el juego de corte, desgaste de la herramienta y la influencia de otros parámetros, como propiedades del material, espesor y forma de contorno del punzón.

Por otro lado, la resistencia de corte, se ve afectada por el diámetro del agujero punzonado, por tanto podemos observar que el valor de la resistencia de corte decrece con el aumento del diámetro del punzón, si se mantienen las demás condiciones constantes. Otro factor de influencia, es la forma de la sección del punzón que es el punto donde más nos centraremos nosotros en el estudio. En las zonas de gran curvatura, existe una concentración de tensiones, motivo por el cual es más frecuente la rotura del punzón en esas zonas.

Una de las relaciones que se utiliza en la industria es $F_s \max = l_p * e * \tau_b$ con la que se estima el valor de k_s , mediante la tensión máxima de cizallamiento y la Fuerza máxima de corte.

$\tau_b =$ Resistencia específica del material

$e =$ espesor de la lámina a cortar

$l_p =$ Perímetro de corte

El valor de τ_b se obtiene de tablas o a partir de la resistencia a la rotura σ_r . Por lo general se toma como resistencia al cizallamiento un valor igual al 80% de la resistencia de rotura (es un valor que viene como aplicado en aceros, no lo extrapolaremos).

Oehler, G., & Kaiser, F. (1977). Dichos autores propusieron un modelo en el cual tendríamos una dependencia lineal entre la resistencia a la cizalladura y el logaritmo de la relación: (válido en aceros).

$$[1] \quad \frac{D_p}{e} \geq 2 \rightarrow \tau_b = 0.8\sigma_r$$

$$[2] \quad \frac{D_p}{e} = 1 \rightarrow \tau_b = \sigma_r$$

$$[3] \quad \frac{D_p}{e} < 1 \rightarrow \tau_b > \sigma_r$$

Normalmente en la industria, casi siempre nos encontraremos en la primera opción de las 3.

Una vez concluido el proceso de corte, la pepita sobrante tiene que ser evacuada, generalmente atraviesa la matriz y descargará por una tolva. Por lo general la matriz, tiene internamente una forma cónica para facilitar la evacuación del material cortado. Es importante este rebaje dado que si no se nos podría atascar el material cortado con el retroceso del punzón.

La fuerza de extracción, suele expresarse como porcentaje de la fuerza necesaria para el punzonado y depende del material y del juego de corte.

Otro factor muy importante es el estado de punzón, hay que tener cuidado con el embotamiento, que hará que el filo no sea el apropiado y aumente la fuerza de corte.

Cuando las fuerzas de corte son demasiado elevadas, estas pueden ser reducidas considerablemente mediante un punzonado por corte progresivo, esto es, inclinando el corte del punzón. Sin embargo la variación de la fuerza, no supone una variación de la potencia consumida en el proceso.

A continuación se presenta un modelo básico de punzonado.

2.4 Modelo simple de punzonado en chapa metálica. Primer estudio histórico del punzonado.

Se considera el caso particular de punzonado, de un agujero circular en una chapa de dimensiones infinitas. En este modelo no se tienen en cuenta el rozamiento o desgastes del punzón o matriz. Se considera el D_p del punzón mucho mayor que el espesor de la chapa. Siguiendo a *Mateos, S. et al. (2000)*.

Introduciremos el juego J , o tolerancia del juego punzón matriz es la diferencia de dimensiones entre el punzón y la matriz

Consideraremos el espesor mucho mayor que el J . Se considerará por tanto que este modelo está bajo las condiciones de deformación plana.

Por tanto se puede decir, que el flujo plástico se inicia a lo largo de la línea que une los filos de punzón y matriz, cuando se alcanza el valor de la tensión constante máxima. Según penetra el punzón en el material, los campos de líneas de deslizamiento varían. La resistencia elástica del material se modeliza por resortes. Siendo las constantes:

[4]

$$K_1 = \frac{E}{(1 - \nu) * \frac{D_p}{2}}$$

[5]

$$K_2 = \frac{E}{(1 + \nu) * \frac{D_p}{2}}$$

E es el módulo de Young y ν es el coeficiente de Poisson. Introducir que en plásticos en un comportamiento viscoelástico el módulo de Young no se puede considerar constante.

El trabajo y energía asociados a un cambio de posición del punzón de una profundidad de penetración Z a otra $Z+\Delta Z$.

- Trabajo realizado por la carga externa F por penetración:

[6]

$$F\Delta Z - \frac{JK_1K_2}{K_1 + K_2} \ln\left(\frac{e}{e-Z}\right) \left(\frac{J\Delta Z}{e-Z}\right)$$

- Energía disipada por el flujo plástico por penetración:

[7]

$$\tau_{max}\sqrt{(e-Z)^2 + J^2} \frac{\Delta Z\sqrt{(e-Z)^2 + J^2}}{e-Z} + \frac{2\tau_{max}Ze\Delta Z}{e-Z}$$

Igualando las dos expresiones anteriores y despejando la fuerza de la carga externa, que es lo que queremos calcular:

[8]

$$F = \frac{K_1K_2}{K_1 + K_2} \frac{J^2}{e-Z} \ln\left(\frac{e}{e-Z}\right) + \frac{\tau_{max}}{e-Z} ((e-Z)^2 + J^2 + 2JZ)$$

El equilibrio de fuerzas permite obtener la tensión normal σ_n

[9]

$$\sigma_n = \frac{K_1K_2}{K_1 + K_2} \frac{J^2}{e-Z} \ln\left(\frac{e}{e-Z}\right) + \frac{\tau_{max}}{e-Z} (J + 2Z)$$

El criterio de fractura establece que esta se inicia cuando $\sigma_n = 2\tau_{max}$ con lo que

[10]

$$F = \tau_{max}(e - Z + 2J)$$

Estos resultados son válidos hasta que el material es separado, entonces la fuerza disminuye bruscamente hasta cero.

Las expresiones anteriores se suelen representar mediante los siguientes parámetros adimensionales.

[11]

$$J_R = \frac{J}{e}$$

[12]

$$\eta = \frac{K_1 K_2}{\tau_{max}(K_1 + K_2)}$$

[13]

$$\delta_R = \frac{Z}{e}$$

Incluyendo los números adimensionales, podemos reescribir la ecuación de la siguiente manera:

Para valores de $\frac{\sigma_n}{\tau_{max}} < 2$

[14]

$$\frac{\sigma_n}{\tau_{max}} = \frac{J_R \eta \ln\left(\frac{1}{1-\delta_R}\right) + (J_R + 2\delta_R)}{1 - \delta_R}$$

[15]

$$\frac{F}{\tau_{max}e} = (1 - \delta_R) \left(\frac{1 + J_R}{(1 - \delta_R)^2} \right) + \frac{2\delta_R J_R}{1 - \delta_R} + \eta \frac{J_R}{1 - \delta_R} \ln\left(\frac{1}{1 - \delta_R}\right)$$

Para valores de Z que exceden del límite anterior:

[16]

$$\frac{\sigma_n}{\tau_{max}} = 2$$

[17]

$$\frac{F}{\tau_{max}e} = 1 + 2J_R - \delta$$

δ es un parámetro de profundidad de la herramienta. Por tanto si incrementamos el J de corte relativo, motivamos que $\frac{\sigma_n}{\tau_{max}}$ alcance el valor máximo, con valores más pequeños de la penetración δ , y por tanto la fractura se inicia antes. Como podemos observar es un modelo conceptualmente simple y algo tedioso de desarrollar.

Comentaremos ahora otros factores influyentes en todo proceso de corte o mecanizado de material.

2.5 Desgaste de la herramienta

Entre los factores más a tener en cuenta durante el proceso de corte se encuentra el ciclo de vida de nuestras herramientas de corte. Los punzones están sujetos a una serie de acciones mecánicas, térmicas y químicas que desgastan la herramienta. Por lo que se trata de piezas de alto valor debido a que los materiales utilizados tienen características mecánicas muy elevadas. Según FLORIT, A. (2015).

Los valores que más afectan a los parámetros de la herramienta son:

El material de trabajo, el material de la herramienta, el diámetro del punzón, el juego de corte la lubricación y el número de punzonados entre otros.

Las operaciones de punzonado sufren todo tipo de desgastes como la adhesión y abrasión. Principalmente las piezas que lo sufren son el punzón y la matriz. Las zonas de estas dos herramientas más afectadas por el desgaste, son los flancos, la arista y la cara del punzón. La cuchilla si la tiene, también se verá afectada por el amplio número de cortes que produce.

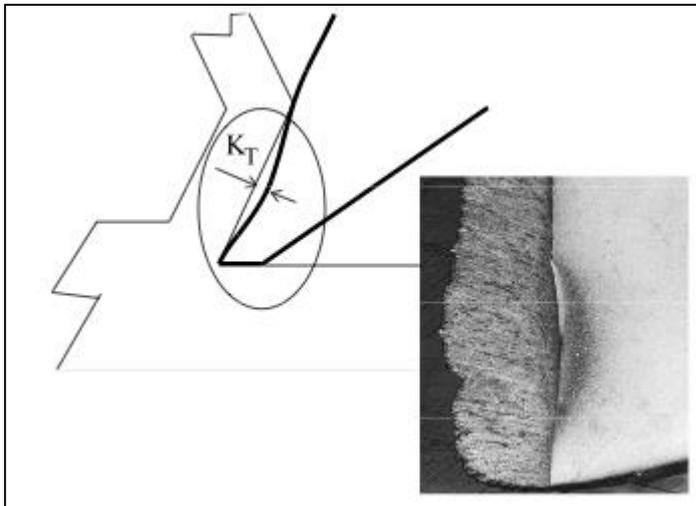


Figura 3- Adhesión herramienta de corte [Departamento Mecánica País Vasco, 2013]

Se conoce por adhesión a la propiedad de la materia por el cual dos sustancias se unen al estar en contacto y se quedan unidas mediante fuerzas moleculares. Podemos observar un ejemplo en la figura 3.

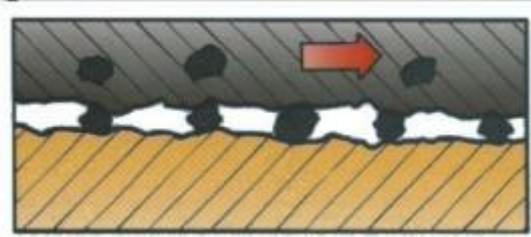


Figura 4- Desgaste por abrasión. [Departamento Mecánica País Vasco, 2013]

Se conoce por abrasión a la pérdida de material de la herramienta al encontrarse en contacto con la pieza a punzonar en este caso. Podemos ver un ejemplo en la figura 4. En nuestro caso particular las zonas de abrasión afectadas serían las zonas laterales que penetran en la matriz. En el proceso de corte al ir penetrando el punzón en la matriz las zonas de los flancos pueden desgastarse por este fenómeno de fricción.

Además los flancos y los bordes del punzón están expuestos a la acción de las superficies generadas en el proceso de corte y el deslizamiento relativo provoca fenómenos de adhesión en los flancos y bordes.

La pieza punzonada sufre un endurecimiento al deformarse plásticamente, produciendo un crecimiento de las presiones locales y provocando la aparición de partículas más abrasivas, lo que hace que según vamos introduciendo el punzón las zonas finales hasta el momento de fractura son las más críticas. En este proceso también debido a la fricción aumenta la temperatura de la matriz, del punzón y de la pieza por lo que aumentamos la adhesión y favorecemos la oxidación.

La deformación elástica de la pieza produce un movimiento relativo a lo largo de la cara del punzón inicialmente hacia el exterior del mismo y posteriormente hacia el interior una vez se ha iniciado la fractura. El pisador nos limita esta deformación elástica del material, con lo cual se reduce el desgaste del punzón.

El desgaste W sufrido por la herramienta se puede calcular teóricamente como el valor medio del área eliminada en diferentes secciones del punzón. Tiene unidades de superficie μm^2

El área total desgastada del punzón, suele expresarse como suma de tres términos.

- S^1 área lateral desgastada del punzón.
- S^2 área desgastada en la cara del punzón.
- S^3 área desgastada del borde del punzón.

Los criterios de inutilidad de la herramienta comúnmente utilizados son los siguientes:

- Consumo energético y fuerza máxima en el proceso.
- Altura máxima tolerable de la rebaba generada en el corte.
- Medición del desgaste de las caras, flancos y bordes en el punzón y en la matriz.
- Medida del aumento del juego de corte como consecuencia del desgaste.

En la industria podemos encontrar modelos de ecuaciones que permiten conocer y ajustar el número de operaciones que el punzón y la matriz pueden llevar a cabo durante su ciclo de vida, antes de ser retirado. El criterio de optimización que suelen escoger se encuentra entre los siguientes (mínimo coste, máxima producción, máxima calidad, etc).

2.6 Precisión de las piezas punzonadas.

En el punzonado al igual que en el resto de procesos de corte es necesario establecer y definir una serie de criterios de aceptación o rechazo de la pieza una vez realizada la operación. El establecimiento de las especificaciones nos lleva a la definición de la precisión que queremos alcanzar, luego es recomendable realizar un estudio de la precisión para definir nuestras especificaciones de una forma más rigurosa. Nos apoyaremos en los estudios de González, E. C., Muñiz, D. L., Álvarez, B. J. Á., Díaz, S. M., & Fernández, D. B. (2010).

La precisión de las piezas punzonadas puede ser caracterizada por los siguientes defectos:

- Defectos dimensionales.
- Defectos posicionales.
- Defectos de forma.

Por tanto tenemos una serie de factores que afectan a estos defectos que tenemos que valorar. Principalmente son:

- El material.
- Las herramientas.
- Las fluctuaciones en el proceso.
- La máquina.

A la mayoría de defectos les afecta más de un factor por lo que habría no solo que ver los factores que influyen, sino ponderarlos y evaluar también su efecto combinado, que pudiera ser más perjudicial que ambos defectos por separado.

Los diámetros del recorte y del agujero, medidos sobre la superficie pulida, deben coincidir en teoría con los del punzón y matriz respectivamente. Estas dimensiones teóricas pueden sufrir alteraciones debido a inexactitud en las dimensiones de la herramienta o las deformaciones elásticas de estas.

Algunos autores realizan la siguiente división en lo que respecta a los defectos posicionales, estos comprenden dos tipos de imprecisiones geométricas: [Mateos; Cuesta; Rico; Suarez; Valiño, 00] [Faura; López; Zamora, Sebastián, 1997].

- Irregularidades en el contorno del recorte
- Inexactitudes de los agujeros de las piezas perforadas.

Las primeras irregularidades suelen ser problemas de coaxialidad entre punzón y matriz. La alineación de ambas herramientas de corte es esencial para su buen funcionamiento. Un desalineamiento de las mismas nos lleva situaciones de corte desigual con mayores juegos a un lado y a otro y en el peor de los casos al contacto punzón matriz y por tanto a la destrucción de la herramienta.

Las tolerancias que se manejan actualmente en la industria suelen ser de centésimas entre 2 a 3, eso implica que el alineamiento ha de ser perfecto, y el acabado y rugosidades tanto de las zonas de corte como de las zonas que quedan entre el punzón y la matriz.

También podíamos encontrar defectos en las guías o a la inexactitud de forma de las herramientas. En cuanto a la inexactitud de posición de los agujeros, depende de la precisión del sistema de movimiento.

Los defectos de forma son aquellos que se encuentran en los bordes de la pieza y dependen de las herramientas y del material. Los factores de las herramientas que más afectan a estas imprecisiones geométricas, son el juego de corte, la forma del punzón y el estado de desgaste del filo. Este último es muy importante al igual que el propio material del punzón y de la matriz.

Los principales factores del material son la calidad, resistencia y espesor de la lámina.

Un valor muy importante, que se estudia bastante en todos estos procesos es la altura de la Rebaba (H). Dependiendo que rebaba estemos observando centraremos nuestra atención en unos u otros factores. La rebaba obtenida en el recorte tiene como factor principal el estado del punzón, su desgaste. Por otro lado la rebaba que se obtiene en la chapa o lámina recortada está directamente relacionada con el desgaste sobre la matriz.

La dependencia tan importante del desgaste de la herramienta sobre la rebaba generada nos lleva a tenerla muy en cuenta en la ecuación de nuestro ciclo de vida.

Punzones o matrices de las máquinas suelen ser piezas caras, de altas prestaciones y de las cuales se aconseja tener repuesto por si fallan.

2.7 Optimización del proceso

La elevada competencia de los mercados de cualquier producto, y en concreto al corte por punzonado, provoca que sea necesario invertir en estudios que permitan controlar y optimizar todos los valores que se han tratado hasta ahora, teniendo en cuenta aspectos geométricos, tecnológicos y económicos. Todos estos estudios tienen un componente empírico basado en la experiencia muy importante.

Debido a que el juego entre punzón y matriz es uno de los parámetros fundamentales en el punzonado, la utilización adecuada del mismo será de extraordinaria importancia para optimizar el proceso. A la hora de seleccionar el juego, se deben de tener en cuenta dos objetivos fundamentales:

- La calidad obtenida de las piezas.
- La duración de las herramientas.

La elección de un J u otro hace que tengamos que llegar a una solución de compromiso entre los dos objetivos, dependemos fuertemente del ciclo de vida de la herramienta y de la calidad de las piezas. Evidentemente hay muchos otros factores, pero estos son menos críticos para los objetivos planteados. Entre otros factores podemos citar la velocidad de corte o la lubricación.

El resto de factores que intervienen en el proceso como valores de resistencia de la chapa, el propio espesor de la misma viene determinado por las exigencias de fabricación.

Para la selección de juego de corte, se puede recurrir a expresiones o gráficos empíricos elaborados por distintos fabricantes.

Para Oehler, *Oehler, G., & Kaiser, F. (1977)*. la relación existente entre el juego J y la resistencia de cizallamiento para distintos espesores es la siguiente.

- Hasta 3mm de espesor $J = ce\sqrt{\tau_B}$
- Más de 3mm de espesor $J = (1,5ce - 0,015)\sqrt{\tau_B}$

Estas relaciones empíricas se han obtenido a partir de ensayos y experiencias de trabajo, estando τ_B en kp/mm^2 y el espesor en mm. El coeficiente c toma valores de gran calidad y de 0,035 si se desea un consumo reducido de fuerza y de trabajo de corte.

2.8 Criterio de desgaste para maximizar la duración de la herramienta.

En función del usuario se decidirá siempre el desgaste que consideraremos admisible, en función de diversos criterios como la calidad, máxima producción.

Desde un punto de vista, habrá un desgaste máximo para el cual es posible dar el mayor número de punzonados durante la vida global de la herramienta.

2.9 Materiales.

Los polímeros, Harper, C. A. (1975). son materiales resistentes, flexibles y ligeros. Son además buenos aislantes de la electricidad y el calor. Una de sus principales



ventajas como material, es la sencillez de su fabricación y moldeo. Son económicos y admiten pigmentos de varios colores e incluso pueden combinarse con otros materiales mejorando así sus propiedades.

Imagen 2. Fuente digital

Apoyandonos en ,Troughton, M. J. (2008), Los polímeros son materiales formados por macromoléculas que se enredan formando una madeja. Pese a que podemos encontrar en la naturaleza polímeros naturales como pueden ser el caucho o la celulosa, la gran mayoría de los mismos suelen ser sintéticos. La inmensa mayoría de ellos se obtienen básicamente del petróleo, aunque podemos citar otras materias primas como el carbón o el gas natural.

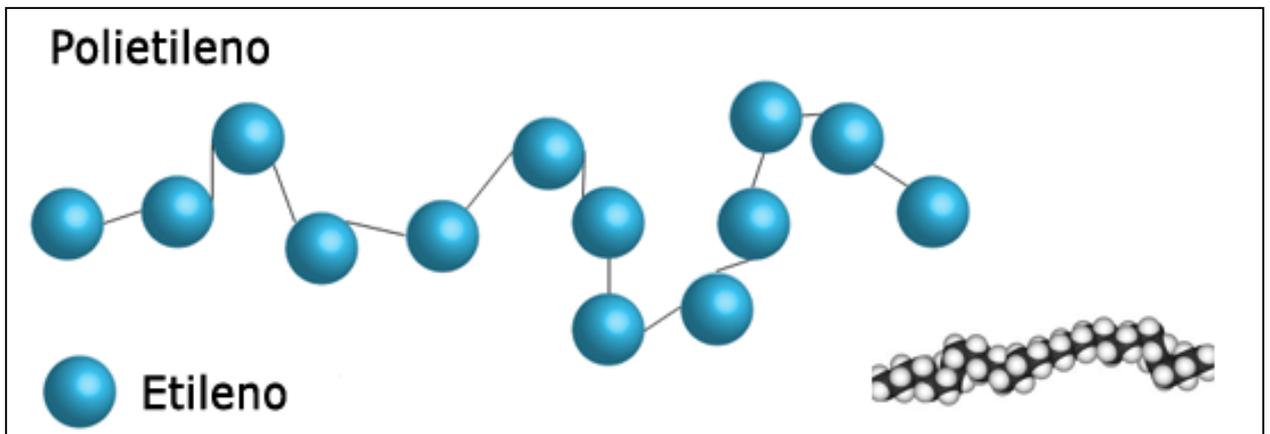


Imagen 3. Fuente digital

La fabricación de los polímeros puede ser muy variada. El material que obtenemos puede tener varias formas: circulares, granulares o polvos, que posteriormente se procesan y se moldean obteniendo así piezas definitivas con la forma que hayamos escogido.

Las propiedades más significativas y comunes para la mayoría de los polímeros suelen ser las siguientes:

- **Conductividad eléctrica nula.** Son malos conductores de la electricidad de ahí que muchas de sus aplicaciones sean de aislamiento.
- **Conductividad térmica baja.** Los polímeros son malos conductores del calor se utilizan como aislantes del mismo.
- **Resistencia mecánica.** Pese a ser materiales bastante ligeros, resultan ser bastante resistentes.
- **Combustibilidad.** La mayoría de los polímeros arde con facilidad debido a que en su composición poseen carbono e hidrógeno.

Los polímeros se clasifican según varios criterios, como es muy común encontrarlos mezclados introduciremos las principales clasificaciones de los mismos, para su comprensión posterior.

Según su origen:

- **Polímeros naturales:** Obtención del polímero de forma directa. Las biomoléculas que forman los seres vivos, como por ejemplo las proteínas
- **Polímeros semisintéticos:** Se obtienen por transformación de polímeros naturales. Por ejemplo el caucho vulcanizado.
- **Polímeros sintéticos.** Obtención industrial de los polímeros. Algunos ejemplos son el poliestireno o el cloruro de polivinilo (PVC).



Imágenes 4,5 y 6. Fuente digital

Naturales

semisintéticos

sintéticos

Según su mecanismo de polimerización:

- **Polímeros de condensación:** La reacción polimérica implica la formación de moléculas de baja masa molecular, como pudiera ser el agua. Por ejemplo la baquelita.
- **Polímeros de adición:** La reacción se produce con la introducción de un catalizador. Este inicia la reacción y separa la unión de dos carbonos en los

monómeros, luego estos se unen a otros debidos a sus electrones libres hasta que finaliza la reacción. Un ejemplo es el polietileno.

- Polímeros formados por etapas. Se añaden monómeros gradualmente a la cadena de polímero, individualmente. Como por ejemplo los poliuretanos.

Polímeros formados por reacción en cadena: Cada cadena individual de polímero se forma a una gran velocidad, una vez finalizada la reacción, no admite más monómeros a su cadena.



Imagen 7: Condensación. (Digital)



Imagen 8: Adición. (Digital)



Imagen 9: Adición Etapas(Digital)



Imagen 10: Reacción en cadena (Digital)

Según su composición química.

- Polímeros orgánicos: Posee en la cadena principal átomos de carbono.
- Poliolefinas: Son polímeros estirénicos (incluyen estireno en sus monómeros)
- Polímeros vinílicos. En su cadena principal solo encontramos átomos de carbono.
- Polímeros vinílicos halogenados. Incluyen átomos de halógenos.

- Polímeros orgánicos no vinílicos. Incluyen átomos de oxígeno o nitrógeno en su cadena principal.

Según sus aplicaciones.

- Elastómeros: Son materiales con un bajo módulo de elasticidad y de alta extensibilidad, se deforman ampliamente al someterlos a un esfuerzo pero recuperan su forma inicial con el cese del mismo. La característica más diferenciadora con respecto al resto de polímeros es su alta resiliencia.
- Plásticos: Polímeros ante los que un esfuerzo suficientemente intenso se deforman irreversiblemente, no pudiendo volver a su forma original.
- Fibras: Presentan un alto módulo de elasticidad y baja extensibilidad, lo que permite confeccionar tejidos cuyas dimensiones permanecen estables.
- Recubrimientos: Sustancias normalmente líquidas que se adhieren a la superficie de otros materiales para dotarles de propiedades como la resistencia a la oxidación o abrasión entre otras.
- Adhesivo: Combinación interesante de propiedades de adhesión y cohesión que permiten la unión de dos o más cuerpos mediante contacto superficial.

Según su comportamiento frente a un incremento de la temperatura

La forma más sencilla de clasificación de los polímeros consiste en separarlos en función de su comportamiento a partir de cierta temperatura. Dependiendo si el material funde y fluye o se descomponga.

-Termoplásticos: Fluyen al calentarlos y se vuelven a endurecer cuando se enfrían. Su estructura molecular presenta pocos entrecruzamientos. Polietileno, polipropileno.

-Termoestables: No fluyen y lo que conseguimos al calentarlos es que se descompongan químicamente en vez de fluir, esto se debe a una estructura con muchos entrecruzamientos que no permiten desplazamientos relativos de las moléculas. Baquelita, resinas epoxi.



Imagen 11: Termoplásticos(Digital)



Imagen 12: Termoestables(Digital)

2.9.1 Polipropileno

El **polipropileno** fue inventado en 1954 por el profesor Natta y en 1957 Montedison fue el primero en comercializarlo, bajo la marca Moplen. Se obtiene a partir de la polimerización del propileno o propeno. Pertenece al grupo de las poliolefinas y entre sus principales aplicaciones podemos citar empaques de alimentos, tejidos, equipos de laboratorio componentes automovilísticos.

Se trata de un polímero de reacción en cadena, y por su composición química es un polímero vinílico. En nuestro caso particular utilizaremos un PP copolimérico en bloques, el cual se ha obtenido por polimerización en un reactor y luego en otro reactor posterior incluimos el etileno formándose así las cadenas de PP Y PE, de esta manera conseguimos un aumento importante en la resistencia al impacto.

- Habitualmente el porcentaje de etileno que se le añade en la polimerización oscila entre un 5-30%, pero en nuestro caso necesitamos mejores características que añadiendo un porcentaje básico. La composición variara entre un 45%-75% de etileno, siendo en general más resistente según aumentamos este porcentaje. Si además agregamos un tercer componente del tipo dieno, el resultado es el **caucho de etileno propileno dieno o EPDM.**, Arroyo, M., Zitzumbo, R., & Avalos, F. (2000).



Imagen 13. PP-EPDM (digital)

De esta manera aumentamos el aislamiento eléctrico y obtenemos una resistencia muy buena a los agentes atmosféricos. Nuestra temperatura de trabajo oscilará entre -30°C y 140°C .

Escogiendo adecuadamente los procesos y los materiales podemos obtener polímeros con las características que busquemos. Además para mejorar alguna propiedad en concreto se suelen incluir cargas o rellenos.

Según la ASTM-D-883 un relleno es un material inerte que se incorpora al plástico para modificar su resistencia mecánica, estabilidad, propiedades de uso,

aumentar su procesabilidad. También se usan para disminuir su precio a base de reducir el coste del material.

En nuestro caso se añade un porcentaje de **10% talco**. El talco es un silicato de magnesio hidratado natural fibroso. Su densidad es 2,4 g/ml y su dureza en la escala de Mohs es 1. Lo que se consigue añadiendo talco es un aumento en la resistencia al calor que el PP normal.

De esta manera se obtiene el **PP EPDM T10** mediante un moldeo por inyección que para resumir posee las buenas características resistentes del polipropileno, mejorando el aislamiento frente a los agentes atmosféricos escogiendo el tipo EPDM, y aumentando su resistencia al calor mediante el talco. Por lo que cubrimos todas las necesidades básicas del parachoques de un coche.

Otras características del mismo:

- Estructura elástica, con buena recuperación de la deformación por impacto.
- Su aspecto y tacto es ceroso.
- Se suelda con facilidad.
- Resistente a la mayoría de los disolventes.
- Se daña fácilmente al cizallamiento
- A partir de 90° tiende a deformarse.
- En el desbarbado de la soldadura tiende a embotarse con facilidad.
- Éste plástico presenta una mayor elasticidad y resistencia al impacto que el PP puro.

Generalmente su obtención se hace mediante moldeo por inyección.

Características del material

PROPIEDAD	TEST CONDITION	UNIDAD	VALOR
Densidad	ISO 1183	g/cm ³	0.94
MVR	ISO 1133/230°C	cm ³ /10 min	22
%Contenido de ceniza	ISO 3451(625°C)	%	10
Módulo de tensión	ISO 527	Mpa	1050

Resistencia a la tracción	ISO527	Mpa	16
Deformación a tracción	ISO 527	%	6
Temperatura de secado	-	°C/h	80/2-4
Temperatura de herramienta	-	°C	30-/80
Temperatura de la masa	-	°C	230-280

Tabla 1- Características material. Proingesa.

2.9.2 Polietileno.

McDaniel, M. P. (2008) comentaba que el polietileno es un termoplástico por lo que posee una serie de propiedades comunes a la familia de polímeros a la que pertenece, las principales propiedades son:

- Se deforman con el calor.
- Solidifican al enfriarse.
- Se pueden procesar varias veces sin perder sus propiedades. Por lo que son reciclables.



Imagen 14: Paso de rueda (Digital)

Fue descubierto por químicos británicos en 1933. Inicialmente se utilizó masivamente como aislante en los cables submarinos y otras formas de recubrimiento de los conductores.

Por lo general son materiales que no deben superar la temperatura de 150 °C debido a la primera propiedad antes mencionada, ya que se deforman. Una excepción debido a sus propiedades aislantes es el teflón.

Al polietileno se le añaden refuerzos, en nuestro caso un 10% de mineral en polvo.

Los refuerzos son considerados materiales que se añaden a los polímeros o resinas. Estos ingredientes no se disuelven en la matriz de nuestro polímero, por lo que el material pasa a ser compuesto. Cuando reforzamos un polímero aumentamos su resistencia base debido a la presencia de rellenos de alta resistencia embebidos en la composición.

Hay que distinguir refuerzos de cargas. Las cargas son partículas pequeñas cuya mejora es ligera, mientras que los refuerzos aumentan la solidez, resistencia al impacto y rigidez. Hay materiales que pueden actuar como carga o refuerzo indistintamente.

Los materiales de refuerzo se adicionan a los polímeros para aumentar las propiedades mecánicas, como pudiera ser un aumento en el módulo de elasticidad, resistencias a la tracción, mejoras en el comportamiento de los materiales a compresión y abrasión, la tenacidad.

Las seis variables generales que influyen en las propiedades de los materiales y estructuras reforzadas son:

- 1- Unión de interfaz entre matriz y refuerzo. La matriz transmite la mayor parte de la tensión a los refuerzos más fuertes. La adherencia matriz-refuerzo es muy importante.
- 2- Propiedades del refuerzo. Lógicamente el refuerzo es bastante más fuerte de la matriz, sino no lo estaríamos reforzando. Las propiedades de cada refuerzo son variables en composición, forma, tamaño y número de defectos.
- 3- Tamaño y forma del refuerzo. Algunas formas y tamaños pueden favorecer la manipulación mientras que otras fibras son tan pequeñas que se manejan en haces.
- 4- Carga del refuerzo. Generalmente, la resistencia mecánica del material compuesto depende del refuerzo que introduzcamos, Algunos materiales compuestos de vidrio pueden tener un 80% de refuerzo, pese a que la mayoría de ellos contienen menos de un 40% en peso.
- 5- Técnica de tratamiento. La alineación de nuestro refuerzo es importante. Si durante el tratamiento se rompen o dañan los refuerzos, obtendremos unas propiedades mecánicas inferiores.
- 6- Alineamiento o distribución del refuerzo. Permite una versatilidad en los materiales compuestos, ya que orienta o alinea los refuerzos para proporcionar propiedades direccionales.

En su clasificación primigenia tenemos que el polietileno se divide en dos clases: uno de alta densidad cuyas principales propiedades son rigidez y resistencia, y otro de baja densidad, cuyas principales propiedades son su ligereza y poca resistencia.

El polietileno de alta densidad HDPE se produce normalmente con un peso molecular que se encuentra en e, rango entre 200000 y 500000, pero puede ser mayor. Se considera un polímero de cadena lineal no ramificada. Es un polímero más duro, fuerte y más pesado que el de baja densidad, pero es menos dúctil. Aun así tenemos un polietileno con mayor peso molecular, que es el UHMWPE (Ultra High Molecular Weight Polyethylene). Con este material se obtienen fibras muy resistentes. Una aplicación para las mismas pudiera ser fabricar chalecos a prueba de balas.

Las principales características de estos polímeros son:

- Punto de fusión -135°C , luego es resistente al agua en ebullición.
- Rango de temperaturas de trabajo. Desde -100°C hasta 120°C .
- Densidad inferior a la del agua.
- Viscosidad elevada.
- Flexibilidad: Comparativamente mayor a la del polipropileno.
- Resistencia química: Excelente frente a ácidos, bases y alcoholes.
- Conductividad eléctrica baja

2.9.3 ABS.

El ABS es el nombre que representa una familia de termoplásticos. Se le llama plástico de ingeniería, ya que es un plástico cuya elaboración tiene un grado de complejidad mayor que los plásticos usuales como por ejemplo las poleofinas. El nombre completo es Acrilonitrilo, Butadieno Estireno, que son los tres monómeros que lo componen. Debido a su constitución mediante tres monómeros diferentes se lo denomina termopolímero. Majumdar, B., Keskkula, H., & Paul, D. R. (1994),



Imagen 14: ABS (Digital)

Cada uno de los monómeros que componen este polímero proporciona unas características concretas.

El acrilonitrilo proporciona rigidez, resistencia ante ataques químicos y estabilidad a alta temperatura, así como dureza.

Los bloques de butadieno, que es un elastómero, proporcionan tenacidad a cualquier temperatura. Es una propiedad bastante interesante para los parachoques o partes exteriores de los automóviles ya que les proporcionan una resistencia frente a los ambientes fríos, mientras que el resto de polímeros son más quebradizos.

El bloque de estireno aporta resistencia mecánica y rigidez.

La mezcla sinérgica de estos tres polímeros nos proporciona un mejor resultado que la suma de ellos.

Inicialmente se fabricaba a partir de una mezcla mecánica de ingredientes secos, o la mezcla del latex de un caucho basado en butadieno y la resina del copolímero acrilonitrilo-estireno (SAN).

Aunque este producto tenía buenas propiedades frente a otros materiales tenía varias deficiencias ya que era muy heterogéneo y era muy difícil de procesar. Por ello se fue modificando el proceso para mejorar estas cualidades. Actualmente el ABS se produce por medio de la polimerización del estireno y el acronitrilo en presencia de polibutadieno, quedando como productor una estructura de polibutadieno conteniendo cadenas de SAN (estireno acronitrilo).

Los polímeros ABS tienen importantes propiedades en la ingeniería. Tienen una buena resistencia mecánica y al impacto, combinado con facilidad para el procesado. En función del aumento en la proporción o porcentaje de butadieno obtendremos una mejora en la resistencia al impacto, pero a su vez estaremos disminuyendo la temperatura de deformación por calor.

El ABS presenta un rango amplio de propiedades, debido a las propiedades que presentan cada uno de los componentes.

El acrilonitrilo proporciona:

- Resistencia química.
- Resistencia térmica.
- Resistencia a la fatiga.
- Dureza y rigidez.

El butadieno proporciona:

- Ductilidad a baja temperatura.
- Resistencia al impacto.
- Resistencia a la fusión.

El estireno proporciona.

- Facilidad de procesado (fluidez).
- Brillo.
- Dureza y rigidez.

En función del espesor de la película se puede pigmentar en la mayoría de los colores, con un acabado fino, podemos encontrarnos con algún problema si la película es muy delgada.

La mayoría de los plásticos ABS no son tóxicos. Su forma de obtención puede variar, pero la mayoría suele obtenerse por inyección.

Mantienen la combustión aunque no se consideren materiales potencialmente inflamables, en los casos en los que se pueda necesitar algún producto incombustible se le incluirá un retardante de llama.

El ABS destaca principalmente por combinar dos propiedades muy importantes como son la resistencia a la tensión y al impacto en un mismo material y ser un material ligero

PROPIEDADES CUALITATIVAS

Permeabilidad	Considerado impermeable al agua, permeable al vapor
Relativo a la fricción	No se degradan por los aceites
Pigmentación	Se pueden pigmentar en una amplia gama de colores.

Propiedades ambientales	La exposición prolongada al sol, reduciendo la resistencia a la flexión. La pigmentación en negro provee mayor resistencia a la intemperie.
Capacidad de absorción	Baja
Facilidad de unión	Se unen fácilmente entre sí mediante adhesivos y cementos.
Formado	Cuando se calientan los perfiles extruidos se pueden doblar y estampar
Resistencia a la fatiga	Se presenta para cargas cíclicas o permanentes mayores a 0,7 kg/mm ² .
Acabados superficiales	Pueden ser acabados mediante metalizado al vacío y electro plateado.
Facilidad de maquinado	Características similares a las de los metales no ferrosos, se pueden barrenar, fresar, tornearse y troquelar.

Tabla 2. Propiedades ABS. Proingesa.

Propiedades Cuantitativas:

Propiedades	Método ATSM	Unidad	Alto impacto	Impacto medio	Bajo impacto	Resistente al calor
Resistencia al impacto, IZOD	D2546	J/m	385-630	215-375	105-220	15-320
Resistencia a la tensión	D638	Kg/mm ²	3,3-4,2	4,2-4,6	4,3-5,4	4,2-5,3
Elongación	D638	%	15-65	10-50	5-31	5-22
Módulo de tensión	D638		173-214	214-255	218-265	214-265
Dureza	D785	HRC	88-90	95-100	105-110	105-110
Peso específico	D792		1,02-1,04	1,04-1,05	1,06-1,07	1,04-1,06

Tabla 3. Propiedades ABS. Proingesa.

2.10 Proceso de punzonado aplicado en plásticos.

Comentadas todas las variables que afectan en un proceso de punzonado en chapa metálica, solo cabe añadir el comportamiento de los materiales plásticos ante el esfuerzo, es decir su rigidez.

El cambio en las dimensiones de un plástico es función del tiempo, y fluye al aplicar una tensión constante, por lo tanto tenemos que abordar este proceso asumiendo que el módulo de los plásticos no es constante. A temperatura ambiente el comportamiento en fluencia de chapa metálica es un fenómeno que no se observa, sólo aparece a altas temperaturas, luego es un proceso que no observaremos en un punzonado al ser un proceso en frío, luego por tanto el módulo puede considerarse constante.

En los plásticos nos encontramos en una zona intermedia entre un material perfectamente elástico (Hookeano), y un fluido absolutamente viscoso Newtoniano).

Por lo que la tensión no es directamente proporcional a la deformación (Hookeanos), ni la velocidad de deformación es proporcional al esfuerzo cortante.

Los materiales poliméricos, presentan una serie de propiedades mecánicas que se encuentran en una zona intermedia de los fluidos anteriores (figura 5), en un material viscoelástico la tensión es función de la deformación y del tiempo y puede ser descrita de la siguiente forma:

$$\sigma = \varepsilon f(t)$$

Donde:

- σ es la tensión que evoluciona en el material
- ε es la deformación que evoluciona en el material y es en función del tiempo.

El ensayo de tracción es el ensayo que se utiliza por excelencia en la mayoría de los materiales y en los metales no iba a ser una excepción, y es utilizado ampliamente en los materiales plásticos.

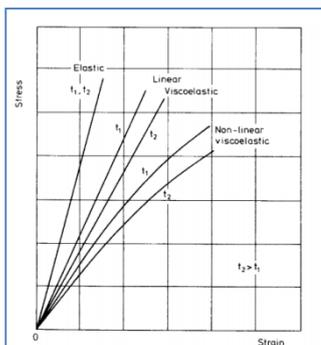


Figura 5 Curvas tensión-deformación en función del tiempo. [Francisco Álvarez, Universidad de Oviedo, 2013]

El mayor problema en los plásticos es como señalan varios informes de la universidad de Oviedo es que en plásticos los ensayos han de ser francamente cuidadosos y los resultados solo deben ser usados como control de calidad, para un estudio de diseño habría que realizar estudios individuales y habría que ser muy cuidadoso con las variables, asumiendo las posibles variaciones en el comportamiento de estos materiales.

Podemos observar en la figura 6 a altas velocidades de deformación ($>1\text{mm/s}$) el PVC por ejemplo es un material frágil con un módulo de elasticidad y una resistencia altas y a bajas velocidades de deformación ($<0,005\text{mm/s}$) el mismo material tiene características inferiores y posee una ductilidad alta con lo que el ensayo induciría valores muy dispares al variar las condiciones de realización del ensayo. Por tanto una velocidad del ensayo lenta permite un desenrollamiento de las cadenas moleculares mayor, y eso se traduce en un módulo inferior.

Por tanto, en nuestro ensayo iremos siempre del lado de la seguridad, con lo que nuestra velocidad de deformación será alta y por tanto la ductilidad será baja, por lo que si punzonáramos a menores velocidades nuestro tensión de rotura sería inferior.

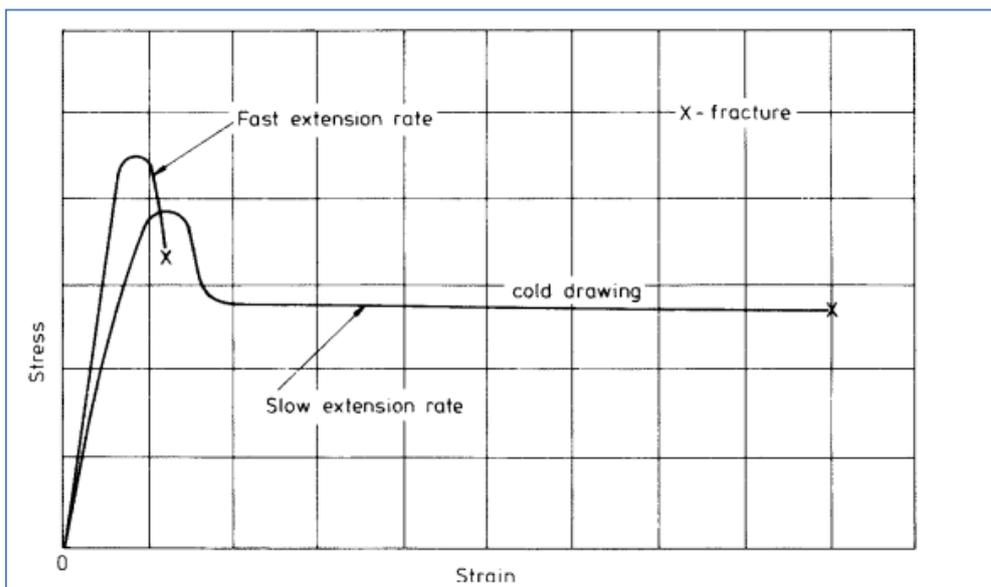


Figura 6 - Curvas tensión-deformación, típica del PVC. [Francisco Álvarez, Universidad de Oviedo, 2013]

El método de diseño pseudo-elástico

El comportamiento mecánico (deformaciones) de los polímeros es dependiente del tiempo bajo carga y de la temperatura, y puede representarse matemáticamente por modelos viscoelásticos simples. La determinación experimental de estos parámetros asociados a estos modelos suele ser muy compleja y dependiente de determinados factores. En plásticos la extrapolación

de resultados para otros ensayos de materiales con distintas condiciones no es posible.

Cuando se diseña utilizando plásticos es necesario recordar que las ecuaciones clásicas no pueden ser utilizadas, ya que estas se toman bajo las siguientes suposiciones.

- 1- Las deformaciones son pequeñas.
- 2- Los módulos son constantes.
- 3- Las deformaciones son independientes de la velocidad de carga.
- 4- El material es isótropo.
- 5- El material se comporta del mismo modo en tensión y en compresión.

Donde no puede utilizarse la ecuación,

$$\sigma = E\varepsilon$$

Dado que E no es un módulo constante.

Para aliviar dichas dificultades, adoptaremos una aproximación denominada método del diseño pseudo-elástico, que ha sido asumida por la mayoría de los ingenieros de diseño para predecir las tensiones y deformaciones en materiales plásticos.

El método incluye la sustitución y selección de las propiedades del material apropiadas dependientes del tiempo, por ejemplo módulo de fluencia, en las clásicas ecuaciones de la elasticidad. La aproximación da suficiente exactitud en la mayoría de los casos con tal que no exista una cantidad significativa de deformación plástica del material. Esta condición se asegura por medio de una de las siguientes aproximaciones.

- **Aproximación que limita la deformación:**
En este caso la deformación del material se limita hasta un cierto valor en la región del 1-2%, para materiales dúctiles como el polietileno y el propileno se puede usar el valor del 3%.
En la mayoría de los casos suele considerarse que la pieza se encuentra sometida durante toda su vida a una temperatura y presión constante. Y se aplica la teoría de la elasticidad lineal, utilizando un pseudomódulo de elasticidad, obtenido a partir de diagramas isócronos.
- **Aproximación de tensión máxima :**
En este caso la tensión máxima en el componente es la que se tiene en cuenta directamente cuando se seleccionan las propiedades apropiadas dependientes del tiempo.
Generalmente en el diseño en plásticos éstos nos conducen a un diseño conservativo. Este conservadurismo aparece debido a que tanto para el criterio del límite de deformación o de la tensión máxima se determinan

propiedades que posteriormente serán utilizadas para el resto del componente. Pero el valor calculado solo sería aplicable en las zonas de máxima deformación.

Se puede observar que dicha aproximación, aunque sea conservadora lo es para el diseño, pero es prudente en vista de otros factores que pueden alterar el comportamiento de los plásticos, como pudieran ser: las concentraciones de tensiones, los efectos de orientación, incertidumbres medioambientales, etc.

El método de diseño pseudo-elástico se usa en las etapas preliminares de diseño, esto se dispone solo para problemas simples.

Datos de fluencia:

En los materiales poliméricos el comportamiento dependiente del tiempo viene siempre caracterizado por la realización de ensayos de fluencia, midiendo la deformación del material bajo condiciones de tensión constante.

La mayoría de los datos se presentan como una serie de curvas de fluencia y sus derivadas.

Las curvas de fluencia, representan gráficamente la deformación lineal (ϵ) en función del logaritmo del tiempo.

En las curvas isométricas se toman secciones a deformación constante en las curvas de fluencia. Nos proporcionan una idea de la relajación de tensiones del material, evitando la necesidad de realizar ensayos de relajación a tensión.

Las curvas isócronas toman series de secciones a tiempo constante en las curvas de fluencia, obteniendo pares de puntos de los cuales se obtiene una representación gráfica.

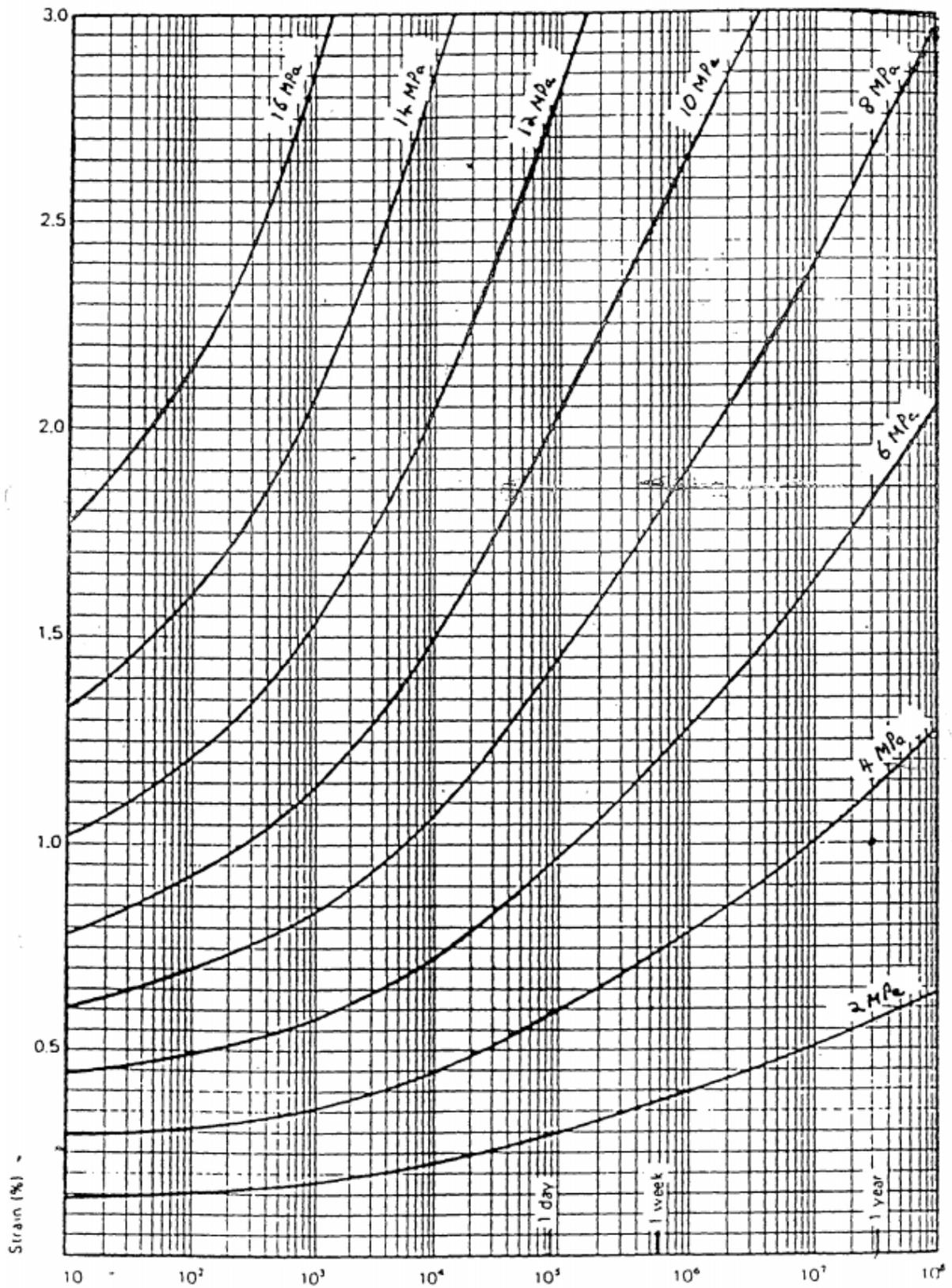


Figura 7: Curvas de fluencia para el propileno a 20°C [Francisco Álvarez, Universidad de Oviedo, 2013].

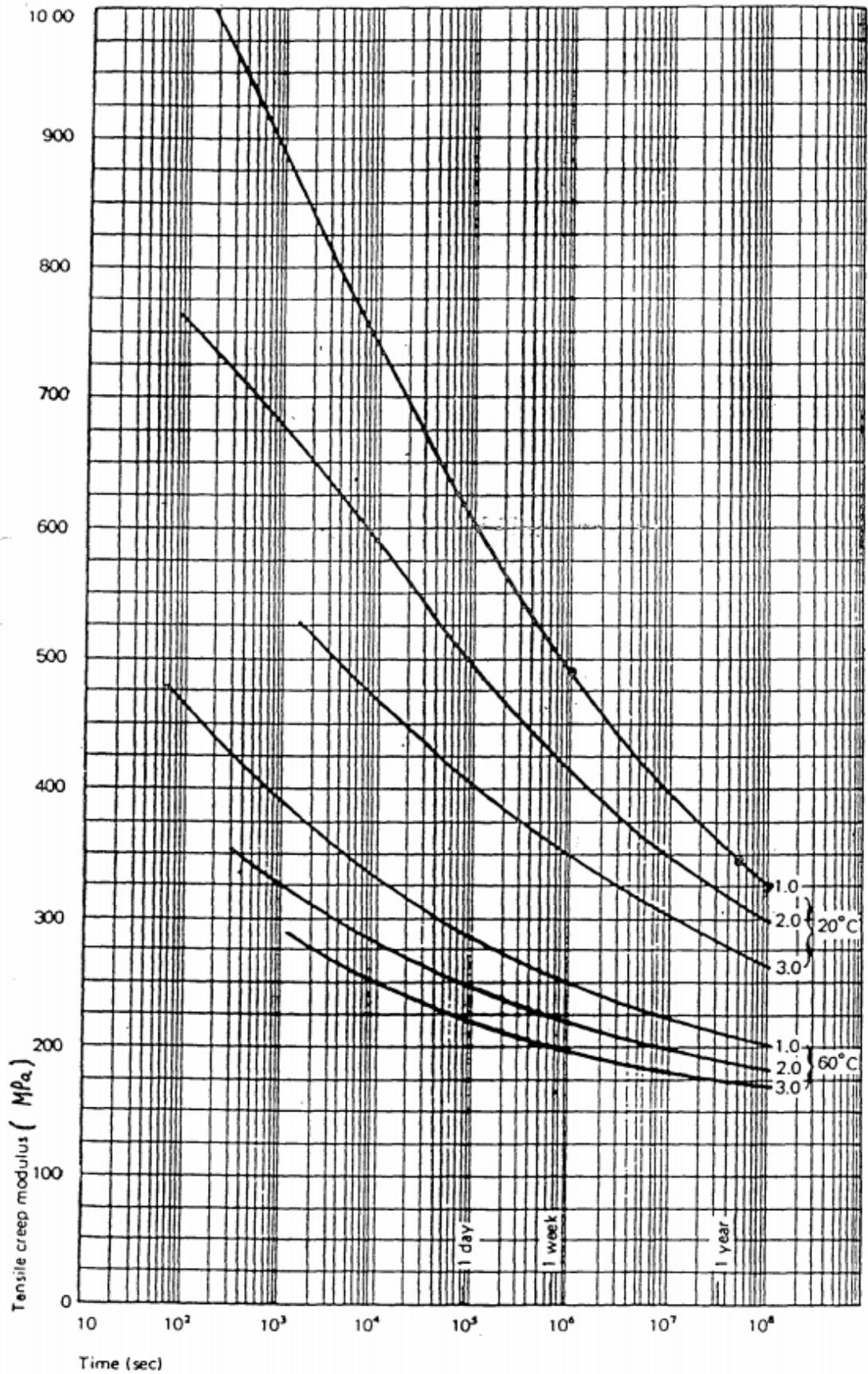


Figura 8: Módulo de fluencia en tensión para el propileno a 35°C [Francisco Álvarez, Universidad de Oviedo, 2013]

3 Metodología de análisis

En mi experiencia personal en la industria, en lo que resulta a los procesos de corte por punzonado, los valores que se consideran en las empresas y los que se observan en las especificaciones de los clientes en los cuadernos de cargas, suelen expresarse en **kgf** y no en **N** que sería la unidad correspondiente en el Sistema internacional, por ello y para tener una visión más cercana al día a día en una empresa de este tipo, he decidido conservar las unidades y expresarlas en **kgf**. La conversión sería la siguiente:

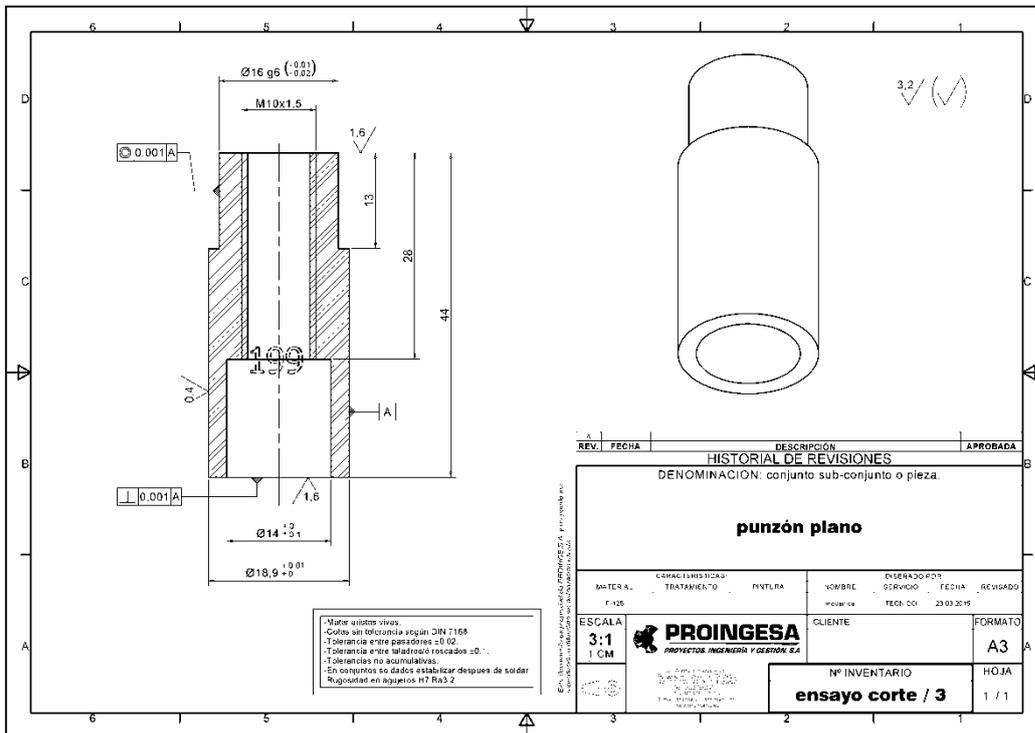
$$1kgf = 9.80665 N$$

Comentar que la máquina punzonadora sobre la que realizamos los ensayos fue construida con este fin, el de estudiar las fuerzas de corte.

La máquina consta de un cilindro hidráulico (en la industria generalmente se utilizan más los neumáticos, ya que normalmente no se necesita tanta presión como la que te pueden proporcionar los cilindros hidráulicos), que va fijado a un tubo soldado. En la parte del vástago, se fija un adaptador que se une con la célula de carga y que se adapta con un carro guiado que sube y baja según la carrera del cilindro. El punzón va atornillado después y debajo de él en bastidor va atornillada la matriz.

Es necesario revisar los ajustes necesarios de la máquina antes de comenzar con los ensayos. Es importantísimo ajustar bien la matriz con respecto al punzón.

Inicialmente se realizarán una serie de ensayos sobre punzones de 18,9mm de diámetro, con su respectiva tolerancia a 1 centésima positiva, y la matriz que va entre 2 y 3 centésimas positivas.

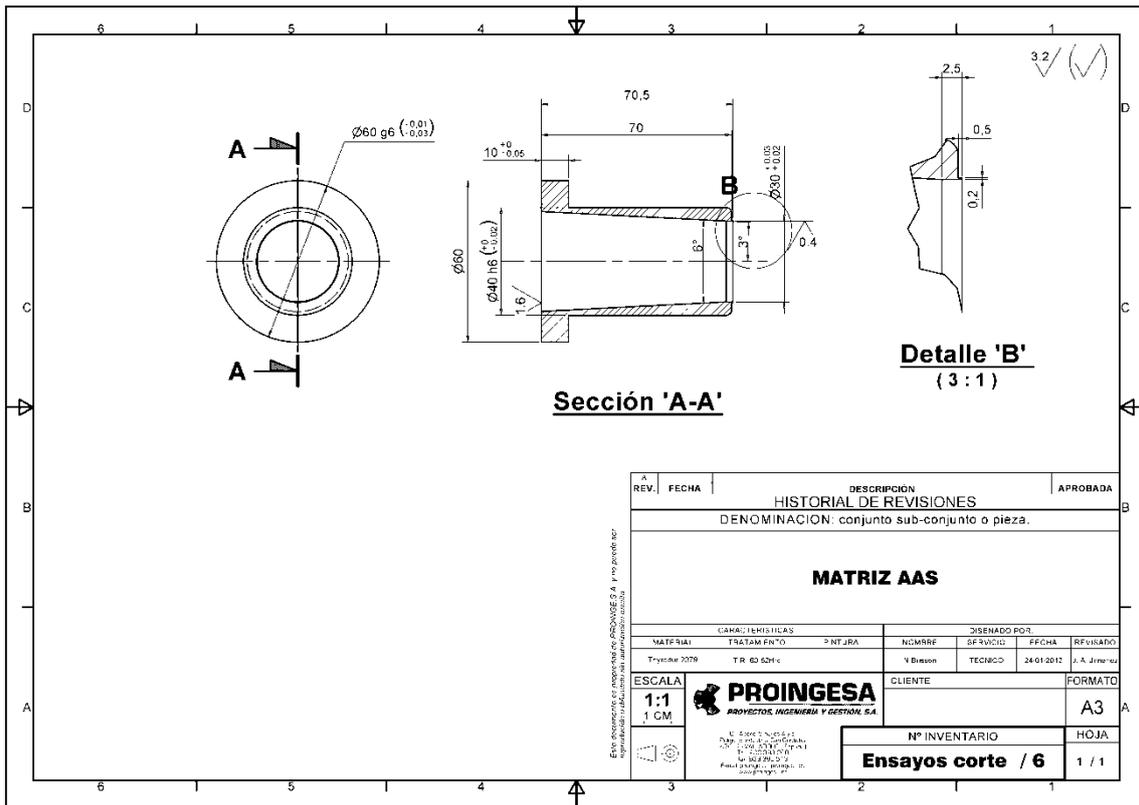


Plano 1- Proingesa

Es muy importante elegir adecuadamente las tolerancias de las cotas y las cotas geométricas. Uno de los valores más importantes es la relación punzón matriz; en el que la tolerancia es de décimas, y tienen mecanizados de superacabados.

La cota de perpendicularidad es francamente relevante, ya que si no somos capaces de tener concéntricos el agujero roscado con el centro del agujero inferior, resultaría imposible ajustarlo al nivel que deseamos, ya que las excentricidades nos desviarían.

La matriz es igual de importante que el punzón, aunque este primero suele desgastarse antes debido a que la parte superior de la matriz que es en la que se enclava el material, tiene un mayor espesor y eso se traduce en una mayor rigidez. Las tolerancias ya se comentaron antes.



Plano 2 Proingesa

La matriz posee un mecanizado de superacabado en el interior, y ángulo creciente para facilitar la evacuación de las pepitas. En el detalle B del plano anterior (Ensayos corte/6) podemos observar también la parte en la que se enclava el material de la matriz, esos 0,2mm nos aseguran un mayor asentamiento de la pieza., y por tanto un mejor punzonado. Muchos problemas con el punzonado en este tipo de máquinas era que la piel del paragolpes se deslizaba cuando el punzón estaba entrando luego el punzonado no era el adecuado.

La metodología de estudio del proceso va a ser la siguiente.

Colocaremos la célula de carga entre el vástago del cilindro y el punzón y portapunzón. Mediante el dinamómetro mediremos cada 26 ms la fuerza que soporta la misma y registraremos estos resultados en un ordenador. Posteriormente generaremos las gráficas a partir de la nube de puntos obtenida, y localizaremos el máximo de todos los valores, que coincide con el instante de fractura del material. Realizaremos el ensayo varias veces para observar la repetitividad del mismo y tabular los valores obtenidos.

Con el promedio de los máximos obtenido tras diez ensayos, igualamos al valor teórico que deseamos obtener y despejamos el valor de la resistencia del material.

Inicialmente el primer estudio se realizará sobre un punzón plano, utilizaremos la ecuación que hemos visto anteriormente para obtener la fuerza teórica.

$$F_{sm\acute{a}x} = A s K_s$$

En el que el valor de K_s es el valor de la resistencia del material que nos aportan nuestros proveedores, A es el área de corte luego el área cilíndrica que deja el corte en el espesor es lo que buscamos.

Una vez tenemos todos los datos teóricamente, dado que el diámetro del punzón es 18,9mm calculamos el área de corte junto con el espesor.

De esta manera hemos obtenido teóricamente el valor de $F_{sm\acute{a}x}$ ya que es el máximo valor el que buscamos en la gráfica y eso se debe a que este pico de fuerza se da solo en el momento de la rotura.

Una vez hemos encontrado el valor máximo de la fuerza de la nube de puntos proporcionada por la célula de carga, tomamos todos los valores máximos de la serie de punzonados obtenidos y calculamos el promedio de la misma. Con éste valor calculado como el promedio, vamos a la ecuación aplicada anteriormente y obtenemos el k_s igualando la fuerza real a la $F_{sm\acute{a}x}$ teórica y despejando el valor de la resistencia del material.

La velocidad en el ensayo del cilindro es 2,4mm/s.

La temperatura en el ensayo es de 21°C

Para todas las medidas incluiremos el cálculo de su incertidumbre.

Tomaremos como función modelo

$$M = \bar{X}_a + \sum_{i=1}^N C_i = \bar{X}_a + C_e + C_{inst} + C_{desalineamientoangular}$$

Donde X_a es el promedio de nuestras mediciones.

C_e es la corrección por escala.

C_{inst} es la corrección del instrumento.

$C_{desalineamiento}$ del cilindro.

Todas las correcciones las englobo en el factor de incertidumbre, luego su aportación a la función modelo como correcciones es 0.

$$M = \bar{X}a + 0 + 0 + 0$$

$$M \pm U(x)$$

$$u(x) = u(\bar{x} + Ce + Cinst + Cdesal)$$

$$U(x) = \sqrt{u^2(\bar{x}) + u^2(Ce) + u^2(Cinst) + u^2(Cdes)}$$

La incertidumbre de la corrección por escala

La esperanza matemática es 0.

Todo lo englobo en la desviación típica.

La primera variable es una variable tipo A, que es una variable que se evalúa por métodos estadísticos.

El resto de variables son de tipo B, que se basan en distribuciones presupuestas a priori.

En nuestro caso, para todas las medidas anteriores las aportaciones de las incertidumbres de escala, del instrumento y de temperatura, son las mismas.

La incertidumbre de escala se obtiene a partir de la resolución del instrumento

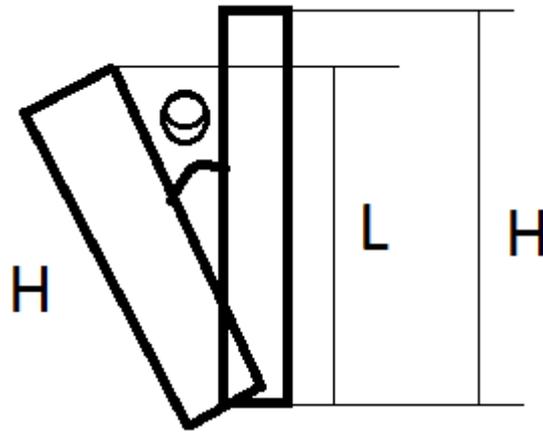
$$u(e) = \frac{E}{\sqrt{12}} = \frac{0,1}{\sqrt{12}} = 0,0288675$$

Nuestra incertidumbre del instrumento es 2,13 N, evaluado en kgf es 0.2172 kgf, para la calibración de 4000N, con un factor de cobertura de k=2 escogida debido a que es nuestro principal rango de medidas.

$$u(Inst) = \frac{Uexp}{k} = \frac{0,2172}{2} = 0,108599$$

Nos queda por tanto añadir el desalineamiento angular.

Tomaremos esta variable de incertidumbre debido a la importancia de que el proceso de punzonado sea totalmente perpendicular.



$$\left. \begin{array}{l} C_{des\ \theta} = H - L \\ L = \cos\ \theta \end{array} \right\} C_{des\ \theta} = L \cdot (\cos\ \theta - 1)$$

$$L = 200\text{mm}$$

El desalineamiento angular máximo es: 15 min Por lo que el desalineamiento angular máximo será:

$$C_{des\ \theta} = L \cdot (\cos\ \theta_{max} - 1)$$

Para que sea suficientemente fiable y este centrada en el cero seguirá una distribución uniforme como la siguiente.

$$Uniforme = [-L \cdot (\cos\ \theta_{max} - 1), +L \cdot (\cos\ \theta_{max} - 1)]$$

$$C_{des\ \theta} = 0$$

$$u(C_{des\ \theta}) = \frac{-L \cdot (\cos\ \theta_{max} - 1)}{\sqrt{3}} = 0.0011$$

Debido a que tenemos tres componentes suficientemente fiables como son las incertidumbres de Escala, la del instrumento y la de desalineamiento angular, cumplimos la condición de Normalidad, por haber realizado 10 repeticiones cumplimos la de Fiabilidad, por lo tanto podemos considerar que:

$$k = 2$$

$$U_i = k \cdot u_i$$

Debido a que el instrumento se ha calibrado un mes antes a la toma de medidas no incluiré correcciones de deriva ni aportaciones a la incertidumbre típica, pero para posteriores medidas sería interesante incluirla si poseemos el historial del aparato.

Suponemos que la probabilidad de que estemos dentro de la máxima deriva admisible sigue una distribución uniforme, y para que sea suficientemente fiable y que la corrección sea cero, doblamos el intervalo.

$$Uniforme = [-max. deriva admisible, +max. deriva admisible]$$

$$C_{deriva} = 0$$

$$u(C_{deriva}) = \frac{max. deriva adm.}{\sqrt{3}}$$



Imagen 16. Proingesa

La metodología de cálculo para el **punzón Inclinado**:

En el punzón inclinado, lo primero que tenemos que observar es que vamos a tener un corte progresivo. Eso implica a priori que una vez que penetra el punzón en la matriz las fuerzas comparativamente van a ser menores que respecto al tipo de punzón anterior. Por lo tanto observaremos diferencias en el comportamiento de las fuerzas que explicaremos posteriormente.

Debido a que posee una forma más compleja los resultados se presentarán a partir de gráficas en las que sacaremos un promedio de los valores de rotura obtenidos en los ensayos.



Imagen 17. Proingesa

La metodología de cálculo para el **punzón trapezoidal**.

Este tipo de punzón tiene dos pendientes por las que evoluciona el corte progresivamente en vez de una sólo que poseía el punzón inclinado. Por tanto obtendremos una gráfica que nos caracterice el comportamiento de los polímeros.



Imagen 18. Proingesa

3.1 Célula de carga

Se trata de un medidor de fuerza PCE-FB10k que es un dispositivo diseñado para medir fuerzas o presiones. Se utilizan en la industria o para control de calidad.

Este aparato fue adquirido para la realización de este proyecto y para calcular por tanto los valores reales de carga.

El dinamómetro de precisión, posee una célula de carga interna o externa para las fuerzas de tracción y compresión. Es un instrumento pequeño de 50 mm de alto y unos 30 de ancho que se puede acoplar fácilmente atornillándole a los tacos.

Lo primero es saber sobre que rango de fuerzas estamos trabajando, hasta 50 kgf se podría trabajar directamente sobre el dinamómetro, mediante un par de enganches. Nuestros valores estimados rondaban esas cifras. Por lo que para ajustar la presión hidráulica y probar presiones colocamos la célula de carga externa S que viene incluida y realizamos todas las pruebas con la S para que si pasábamos de 50 kgf cosa que ocurría en ciertos punzonados, no destruyéramos la célula de carga

Datos técnicos célula de carga:

En nuestro caso la célula de carga es PCE-FB10k

Tipo	PCE-FB50	PCE-FB200	PCE-FB500		
Fuerza máxima medida	50N (~5kg)	200N (~20kg)	500N (~50kg)		
Graduación de lectura (d)	0,01N (1g)	0,05N (5g)	0,1N (10g)		
Precisión	±0,1% F.S.				
Unidades de medición	N, g, lb, oz, kg, kgf, lbf, ozf				
Sobrecarga máxima	20%				
Temperatura de operación	-10 ÷ 40°C				
Resolución interna	24 bits (16mln graduación)				
Velocidad del proceso	10 o 40 mediciones/s				
Capacidad de memoria interna	8x800 mediciones				
Interfaz	RS-232C y USB, opciones: Bluetooth, disparador WE, transceptor WY				
Software de asistencia	FM (características de tiempo, análisis estadístico, archivo de datos)				
Pantalla	LCD gráfico 61x34mm				
Opciones de medición	Valor máx., medición serial, medición dinámica (cronogramas)				
Alimentación	Baterías Ni-Mh 2700mAh (tipo LP703048P6H) + alimentación ~230V 50Hz / 12V				
Duración del acumulador	~20h (~45h luz de fondo off)				
Dimensiones	215x100x40mm				
Peso	430g (sin baterías)				

Tipo	PCE-FB1k	PCE-FB2k	PCE-FB5k	PCE-FB10k	PCE-FB20k
Fuerza máx. medida	1kN (~100kg)	2kN (~200kg)	5kN (~500kg)	10kN (~1t)	20kN (~2t)
Graduación de lectura (d)	0,2N (20g)	0,5N (50g)	1N (100g)	2N (200g)	5N (500g)
Precisión	±0,1% F.S.				
Unidades de medida	N, g, lb, oz, kg, kgf, lbf, ozf				
Sobrecarga máxima	20%				
Temperatura de funcionamiento	-10 ÷ 40°C				
Resolución interna	24 bits (16mln graduación)				
Velocidad del proceso	10 o 40 mediciones/s				
Capacidad de memoria interna	8x800 mediciones				
Interfaz	RS-232C and USB, opciones: Bluetooth, disparador WE, transceptor WY				
Software de asistencia	FM (características de tiempo, análisis estadístico, archivo de datos)				
Pantalla	LCD gráfico 61x34mm				
Opciones de medida	Valor máx., medición serial, medición dinámica (cronogramas)				
Alimentación	Baterías Ni-Mh 2700mAh (Tipo LP703048P6H) + alimentación ~230V 50Hz / 12V				
Duración del acumulador	~20h (~45h luz de fondo off)				
Dimensiones	215x100x40mm + sensor				
Peso	350g (sin baterías) +sensor de peso				

Imagen 19. Manual PCE-FB10k



Imagen 20. FCE-10K (Digital)

El rango de valores en el que puede estar midiendo la célula de carga va desde 0,025 segundos hasta 25 segundos. Luego el tiempo de muestreo que escogimos fue casi el mínimo que nos daba la máquina. Medimos cada 26 ms. La lógica nos dice que cuanto menor sea el tiempo de muestreo más nos estaremos acercando al valor real de la fuerza en el momento de corte ya que si por ejemplo cogiéramos un tiempo de muestreo mucho mayor podría darse la casualidad que el máximo estuviera entre los dos tiempos de muestreo por lo que veríamos como la tendencia sería positiva y luego negativa, pero no tendríamos el pico máximo.

La calibración del sistema varía en función de la empresa dependiente de su uso.

En nuestro caso, realizamos la toma de datos en Abril de 2015, coincidiendo con las prácticas de empresa.

4 Resultados

Introducción a los resultados.

Esto son todos los valores de las variables que tenemos

Estamos estudiando el proceso de corte con un punzón plano, de forma teórica lo calculamos a partir de los siguientes valores.

	mm	mm	Mm
Nº	∅	∅	
CILINDROS	CILINDRO	VASTAGO	CARRERA
1	50	28	200

FUERZA (Kg)
AVANCE
982

				Max. Bomba
PRESION DE TRABAJO (bar)			50	155

Valores	
sT (kgf / mm ²)	
PE MD10	2
ABS	5
PP -EPDM	3,3

$$F = sT \cdot l \cdot e$$

Nos apoyamos en esta fórmula básica de corte.

Estamos trabajando a una presión de 50 bares. Normalmente en las líneas industriales se suele trabajar entre 5 y 6 bares, alguna hay que trabaja con 7 bares, pero no es lo habitual.

Queremos estudiar los coeficientes de kgf/mm²si estamos aplicando los correctos.

Tenemos los siguientes valores, que nos facilitan los proveedores.

Vamos a partir con el polímero más habitual que nos encontramos en la industria automovilística; que es el PE MD10. Este posee una resistencia específica aproximada de $\sigma_t = 2 \text{ kgf/mm}^2$.

Teóricamente obtenemos el siguiente valor 356,26 kgf.

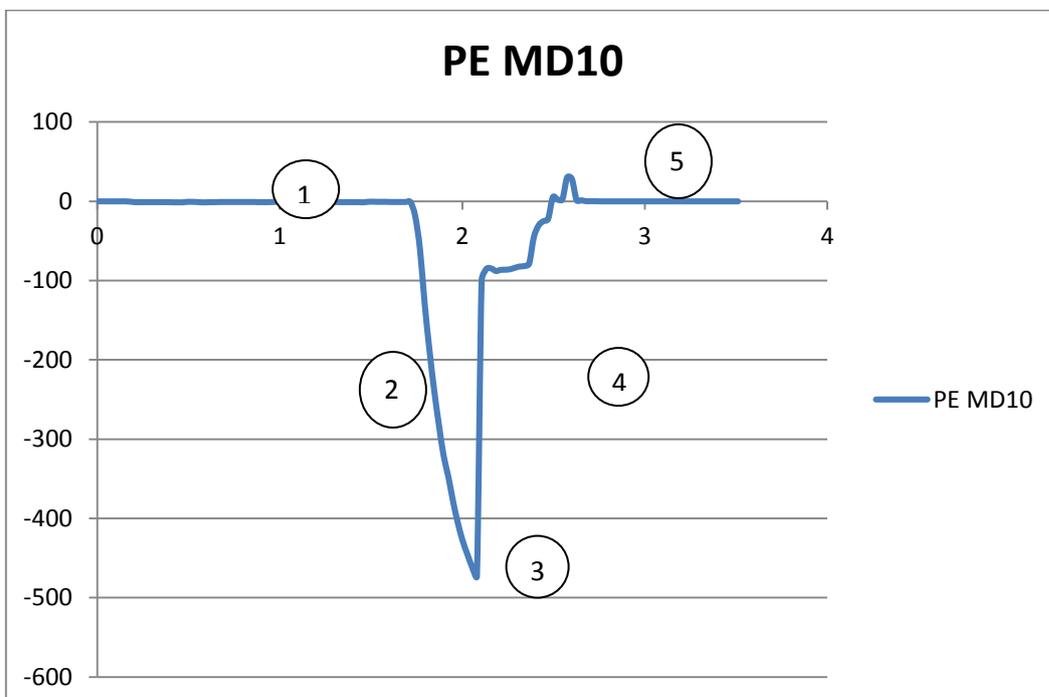
$l = \text{perímetro de corte}$
 $e = \text{espesor del polímero}$

	kgf / mm ²	mm	Mm	kgf
	sT	l	E	Esfuerzo
F =	2	59,3761012	3	356,26

4.1 PUNZÓN PLANO

El primer estudio que realizamos sobre el PE MD10, es con un punzón de 18,9 mm de diámetro. Comentar que este ensayo está realizado sobre probetas y retales sin pintar.

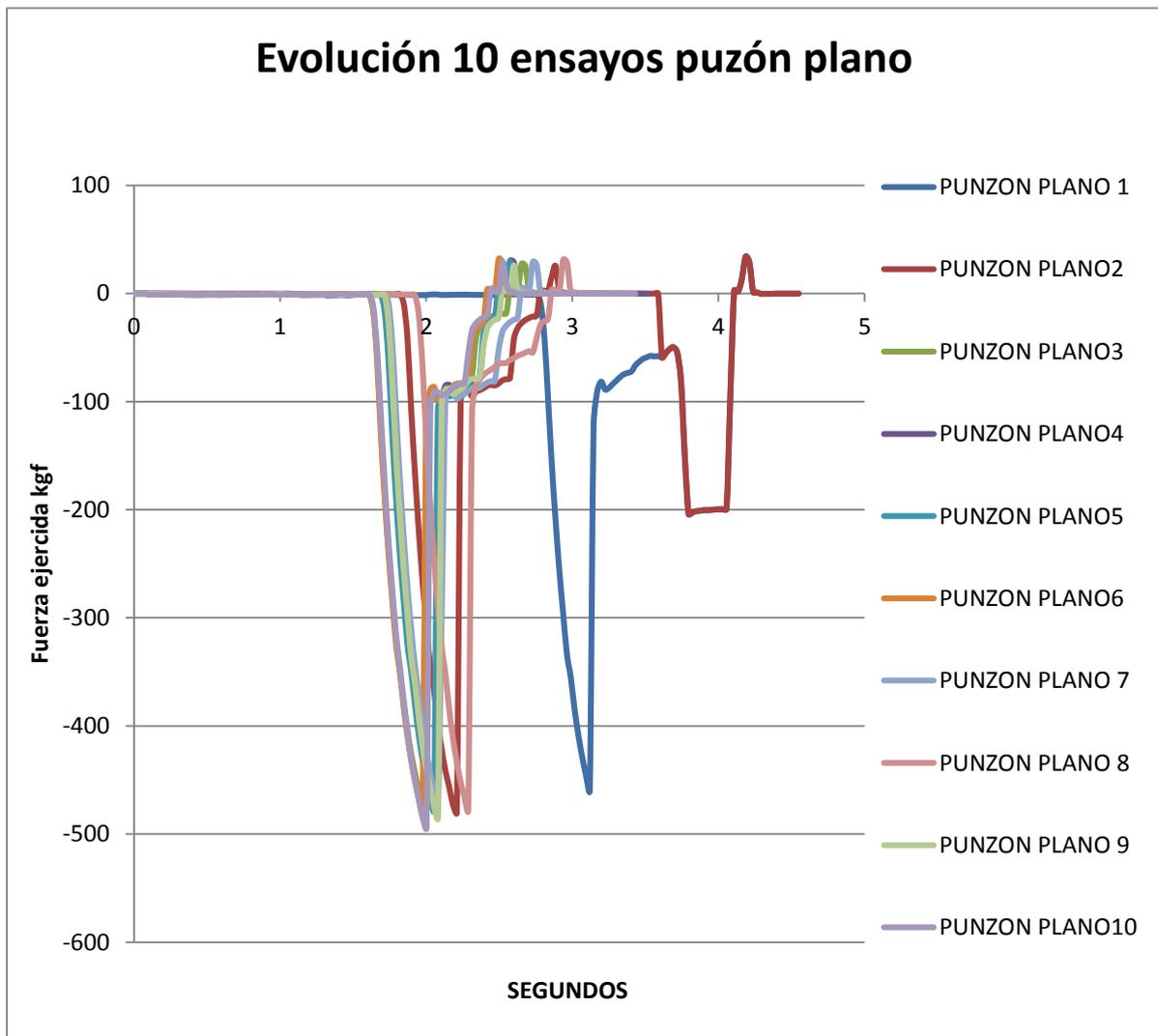
Inicialmente observaremos la gráfica obtenida a partir de la nube de puntos para explicar y observar las fases por las que evoluciona nuestro proceso en función del tiempo.



Gráfica 1- Ensayo F(t) punzón plano PE-MD10

Inicialmente observamos una zona en la que pese a que el tiempo avanza la célula de carga no mide ninguna fuerza debido a que el cilindro se encuentra descendiendo y todavía no ha iniciado el proceso de corte.

- 1- Encontramos inicialmente una zona de compresión en la que el punzón penetra en la lámina de polímero, deformándola y generando una fuerza cortante en la misma.
- 2- La fuerza va aumentando y las zonas de deformación por ambas partes, ya sea punzón- lámina o lámina matriz van aumentando hasta llegar al límite de deformación elástica.
- 3- Si continuamos aplicando fuerza tenemos el instante en el que la fuerza es máxima y se da la separación y rotura del material.
- 4- Una vez producida la rotura del material, la fuerza disminuye drásticamente.
- 5- La parte traccionada que se observa en la gráfica, es debida a el estudio antes mencionado de extracción de la lámina sobre el punzón.

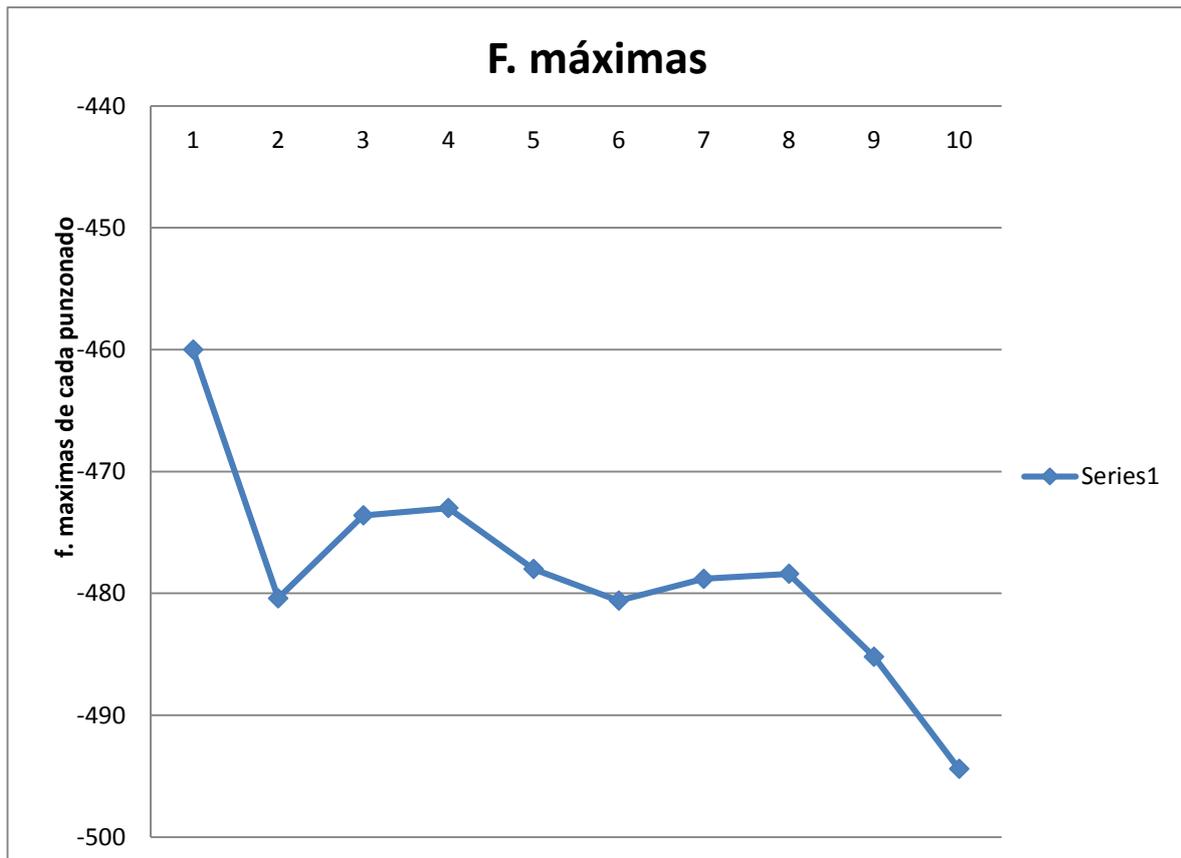


Gráfica 2- Ensayo F(t) punzón plano PE-MD10

En la gráfica podemos observar los picos de fuerza que obtenemos. Lógicamente están en negativo porque lo que estamos midiendo con la célula es la compresión.

Los máximos obtenidos en las 10 mediciones (en orden) son los siguientes.

-460	-480,4	-473,6	-473	-478	-480,6	-478,8	-478,4	-485,2	-494,4
kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf



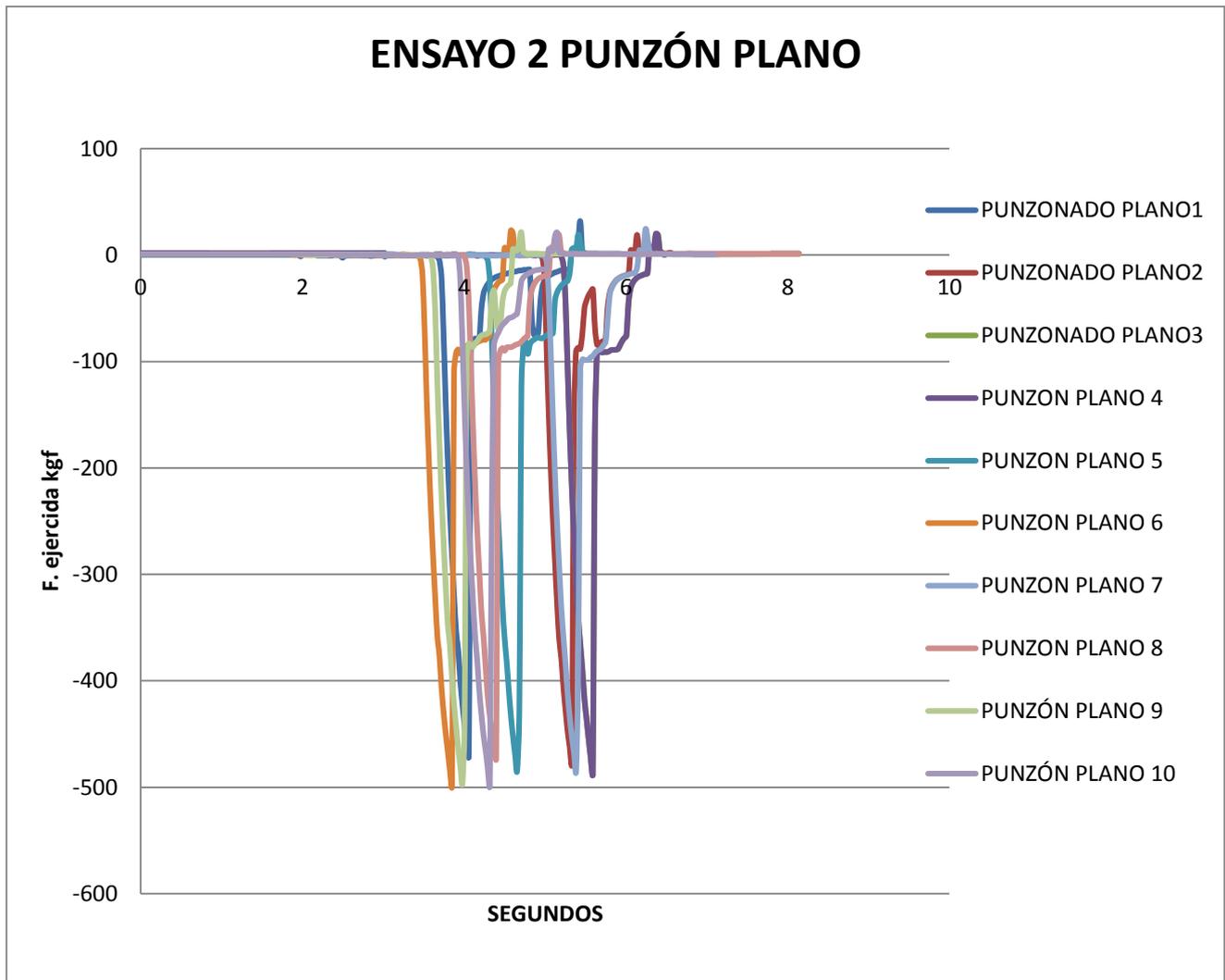
Gráfica 3- Conjunto de máximos punzón plano PE-MD10

MEDIA de máximos

$-478,2 \pm 5,6 \text{ kgf}$

Nota el cálculo de la incertidumbre podrá verse en anexos

Punzón plano sobre PE-MD10.



Gráfica 4- Ensayo 2 F(t) punzón plano PE-MD10

El interés principal de este segundo ensayo, radica en la observación de la repetitividad de las mediciones, ya que cuantos más ensayos realicemos, más cerca del valor promedio real estaremos. Además podemos acotar el rango de valores, con varios ensayos.

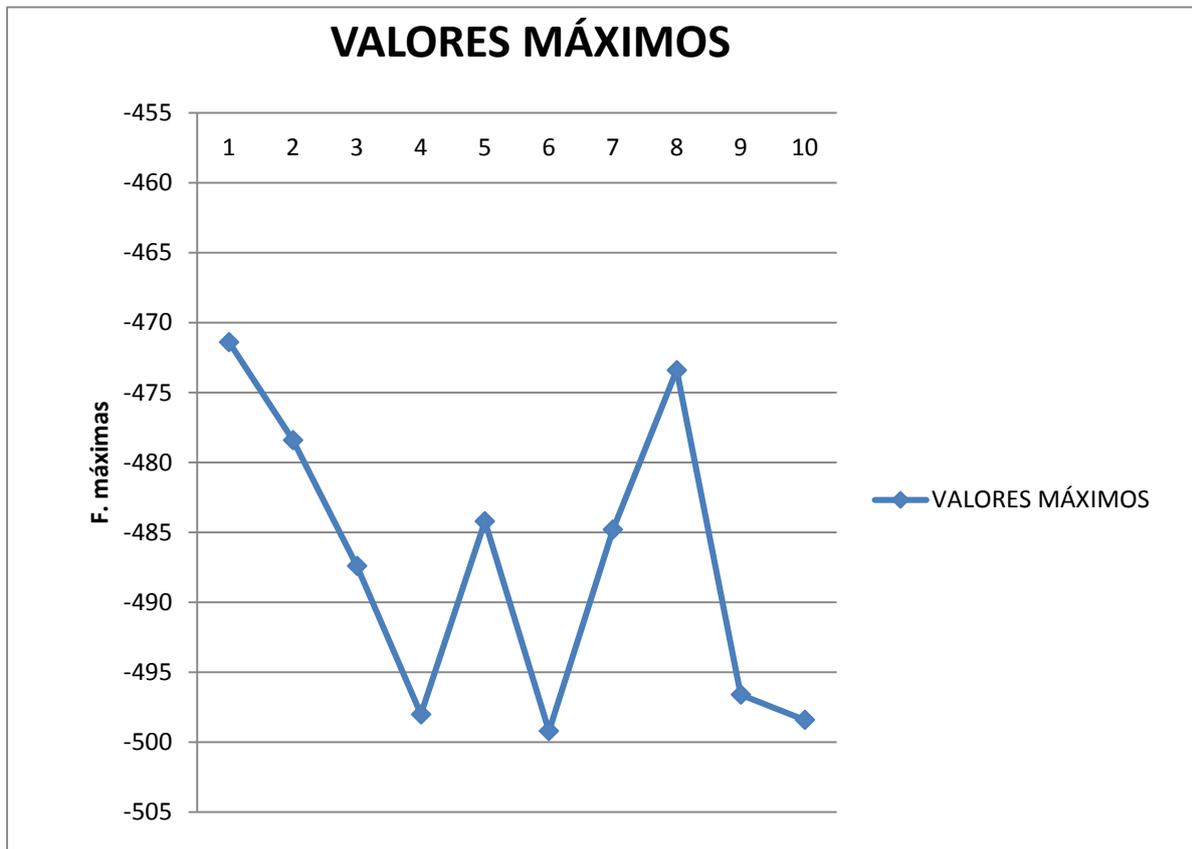
Como comentario la mayoría de los valores de estas tablas pueden encontrarse al final de este trabajo en anexos. He incluido solo el rango de valores en el que se ve el crecimiento hasta el máximo y su posterior disminución, dado que los valores importantes residen ahí y los omitidos en el inicio y final son valores en los cuales la célula de carga no registraba datos relevantes para el proceso. Los valores

iniciales son aquellos en los que el cilindro está descendiendo pero no ha hecho contacto con el retal a punzonar, mientras que los valores del final la pieza ya se ha separado de las herramientas de corte debido al estudio de extracción.

VALORES MÁXIMOS:

En este ensayo 2, hemos obtenido los siguientes valores. Podemos observar a primera vista ya que algunos valores son más elevados que en el ensayo anterior y que tenemos una variabilidad interesante.

-471,4	-478,4	-487,4	-498	-484,2	-499,2	-484,8	-473,4	-496,6	-498,4
kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf



Gráfica 5- Conjunto máximos ensayo 2 punzón plano PE-MD10

MEDIA MAXIMOS

$-487,2 \pm 6,7 \text{ kgf}$

Calculamos nuestro rango de valores de la siguiente manera:

Por tanto tras realizar el primer ensayo (sobre punzón plano), podemos apreciar una diferencia verdaderamente amplia frente a los valores que nos aporta el fabricante (2kgf). Los valores facilitados por los proveedores como se ha comentado anteriormente, son valores aproximados de los polímeros básicos. Primero tenemos que observar si estos datos son representativos, por lo que realizaremos más ensayos.

Conocidos ambos ensayos, vamos a calcular cual sería el σ_T que obtendríamos experimentalmente.

Tomando los promedios anteriores.

ENSAYO 1

	kgf / mm ²	mm	mm	kgf
	sT	l	e	Esfuerzo
F =	2,685	59,3761012	3	478,27

$$\sigma_t = 2,685 \text{ kgf/mm}^2$$

ENSAYO 2

	kgf / mm ²	mm	mm	kgf
	sT	l	e	Esfuerzo
F =	2,735	59,3761012	3	487,18

$$\sigma_t = 2,735 \text{ kgf/mm}^2$$

Realizado el cálculo de los valores máximo y mínimo podemos apreciar que el mayor rango que abarca σ_t es el siguiente.

	kgf / mm ²	mm	mm	kgf
	sT	l	e	Esfuerzo
F =	2,586	59,3761012	3	460,64
F =	2,79	59,3761012	3	496,98

Tomando el mayor rango, tenemos que la diferencia en cuanto a los valores de la resistencia específica del material varían entre 2,586 kgf/mm² y 2,79 kgf/mm².

Tenemos que tener claro que en este tipo de ensayos la validez de los resultados radica en el orden de magnitud de los resultados, el espesor del parachoques es 3mm.

Todos estos valores calculados se han realizado sobre probetas sin pintar. En la industria normalmente los procesos de punzonado suelen realizarse sobre el propio parachoques pintado.

Lógicamente en la industria y para tener un factor de seguridad de que siempre punzonaríamos tomaríamos como valor el 2,8 kgf/mm².



Imagen 30. Proingesa

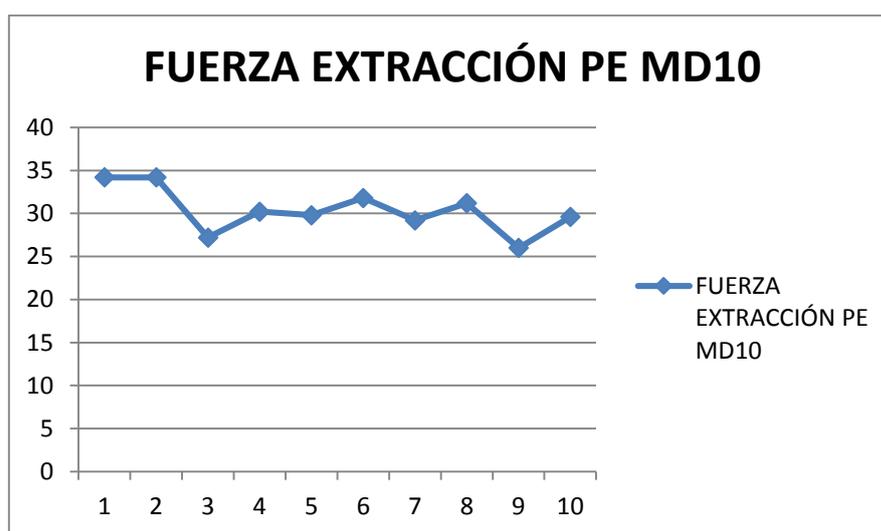
Estudio sobre el proceso de extracción.

El estudio sobre el PE-MD10. Nos centraremos en obtener el valor máximo que soporta la célula de carga en el instante en el que la reacción que obtenemos en los tubos laterales soldados que tenemos se iguala a la fuerza que hace que la chapa punzonada se quede encajada en el punzón.

Además hemos intentado estimar la extracción de la misma, para ver la fuerza que hay que hacer para extraer el plástico de la matriz, dejando que le liberen los brazos de la bancada.

Los máximos obtenidos en la extracción son:

34,2	34,2	27,2	30,2	29,8	31,8	29,2	31,2	26	29,6
kgf	kgf	kgf							



Gráfica 6- Ensayo extracción F(t) punzón plano PE-MD10

MEDIA

$30,3 \pm 1,7 \text{ kgf}$

Comentamos anteriormente que este estudio se realiza para conocer el promedio de la fuerza aproximada que se necesita para conseguir extraer la piel del paragolpes mediante el pisador.

Realmente en la industria el valor que se extraería de este estudio es el máximo de los valores calculados, para estar siempre del lado de la seguridad, luego por tanto se tomaría $F=34.2 \text{ kgf}$.

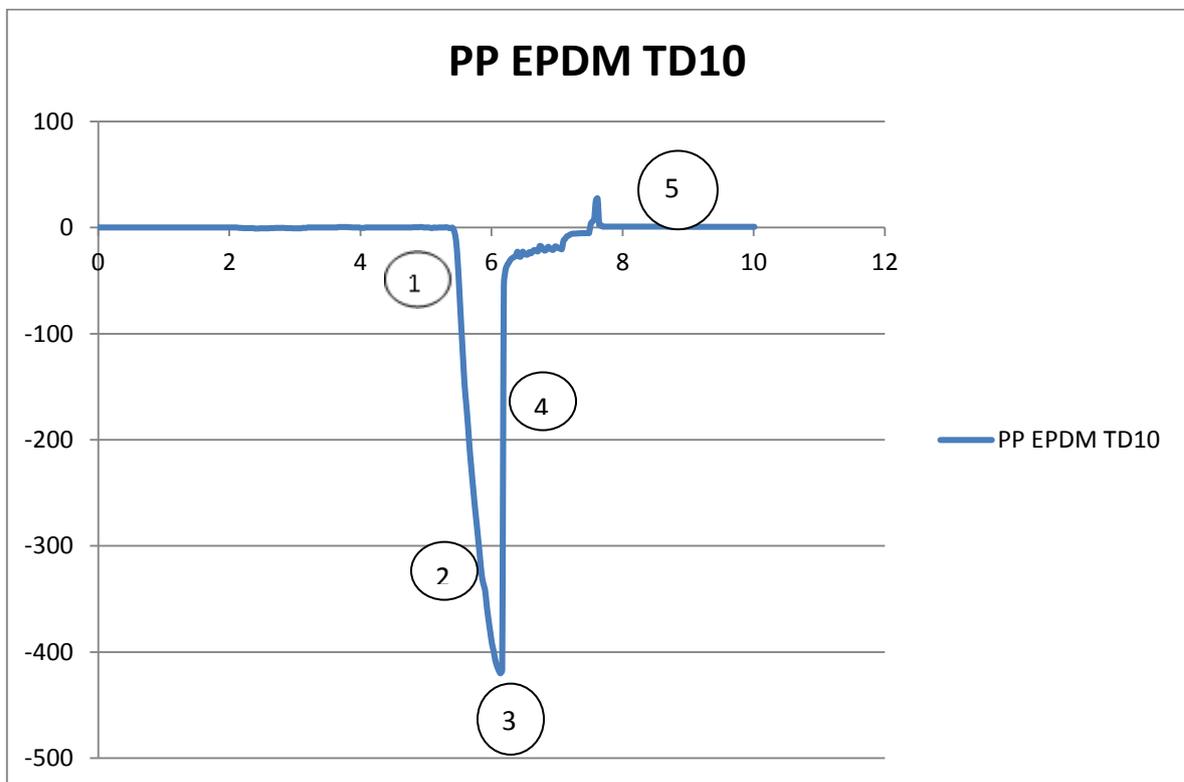
PP-EPDM-TD10

Tomamos este polipropileno con fibras de EPDM y un porcentaje de un 10% de talco. Lo que conseguimos con el talco es mejorar la resistencia de nuestro parachoques a las condiciones ambientales.

ESTUDIO DE PUNZONADO, FUERZAS IMPLICADAS EN FUNCIÓN DE LOS PUNZONES.

El estudio se ha realizado sobre un polímero PP EPDM TD10, cortando con un punzón plano de 18,9 mm de diámetro. Comentar que este ensayo está realizado sobre probetas sin pintar.

Inicialmente observaremos la gráfica obtenida a partir de la nube de puntos para explicar y observar las fases por las que evoluciona nuestro proceso en función del tiempo.



Gráfica 7- Ensayo F(t) punzón plano PE-MD10

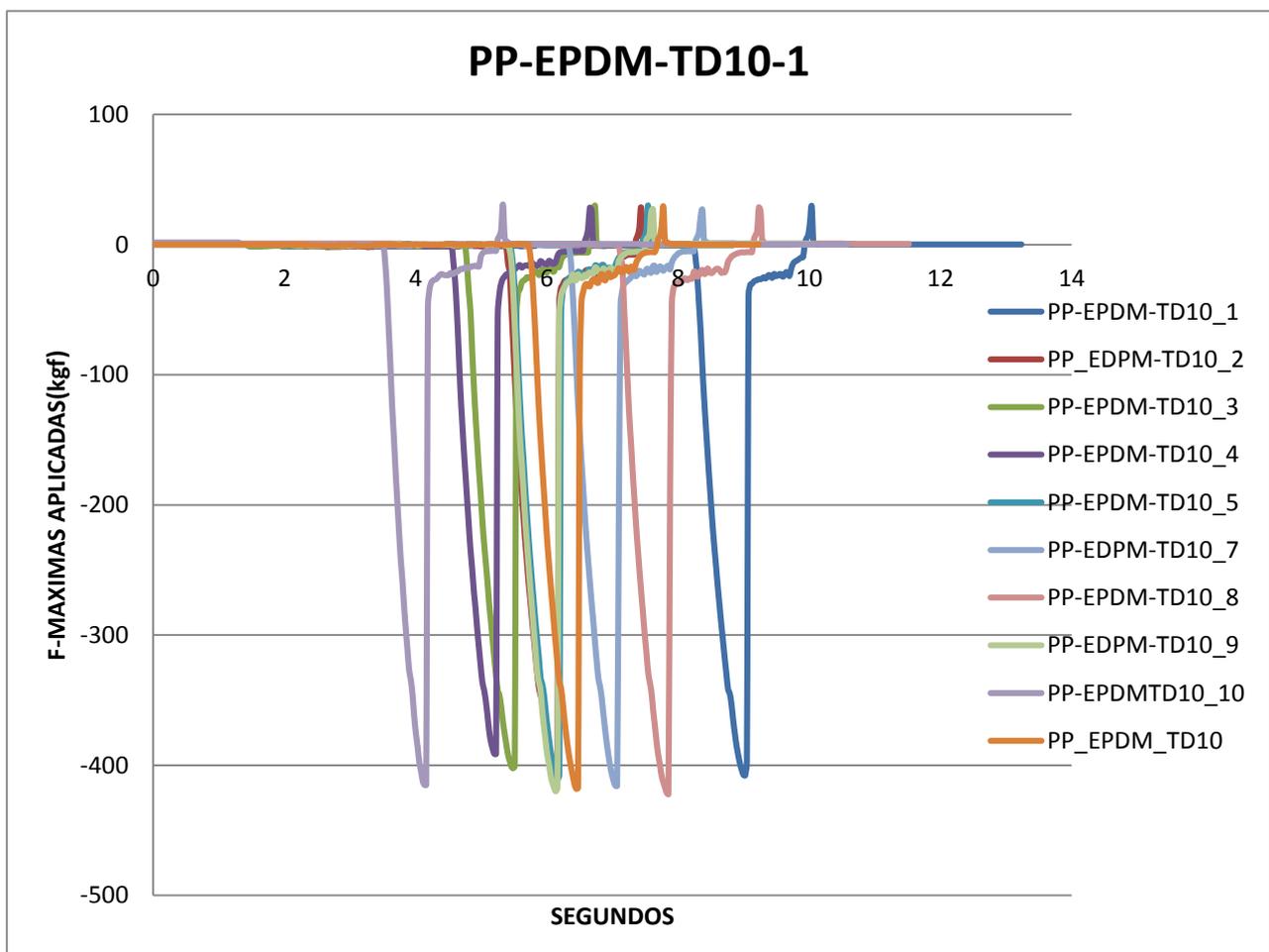
Inicialmente observamos una zona en la que pese a que el tiempo avanza la célula de carga no mide ninguna fuerza debido a que el cilindro se encuentra descendiendo y todavía no ha iniciado el proceso de corte.

- 1- Encontramos inicialmente una zona de compresión en la que el punzón penetra en la lámina de polímero, deformándola y generando una fuerza cortante en la misma.

- 2- La fuerza va aumentando y las zonas de deformación por ambas partes, ya sea punzón- lámina o lámina matriz van aumentando hasta llegar al límite de deformación elástica.
- 3- Si continuamos aplicando fuerza tenemos el instante en el que la fuerza es máxima y se da la separación y rotura del material.
- 4- Una vez producida la rotura del material, la fuerza disminuye exponencialmente.
- 5- La parte traccionada que se observa en la gráfica, es debida un estudio de extracción

Podemos observar las primeras diferencias entre los PP-EPDM-TD10 y los PE MD10 que radica en el rango de fuerzas, observamos en los resultados una diferencia de unos 70 kgf en promedio.

Realizaremos el estudio conjunto de los valores tras 10 punzonados sobre PP EPDM TD10

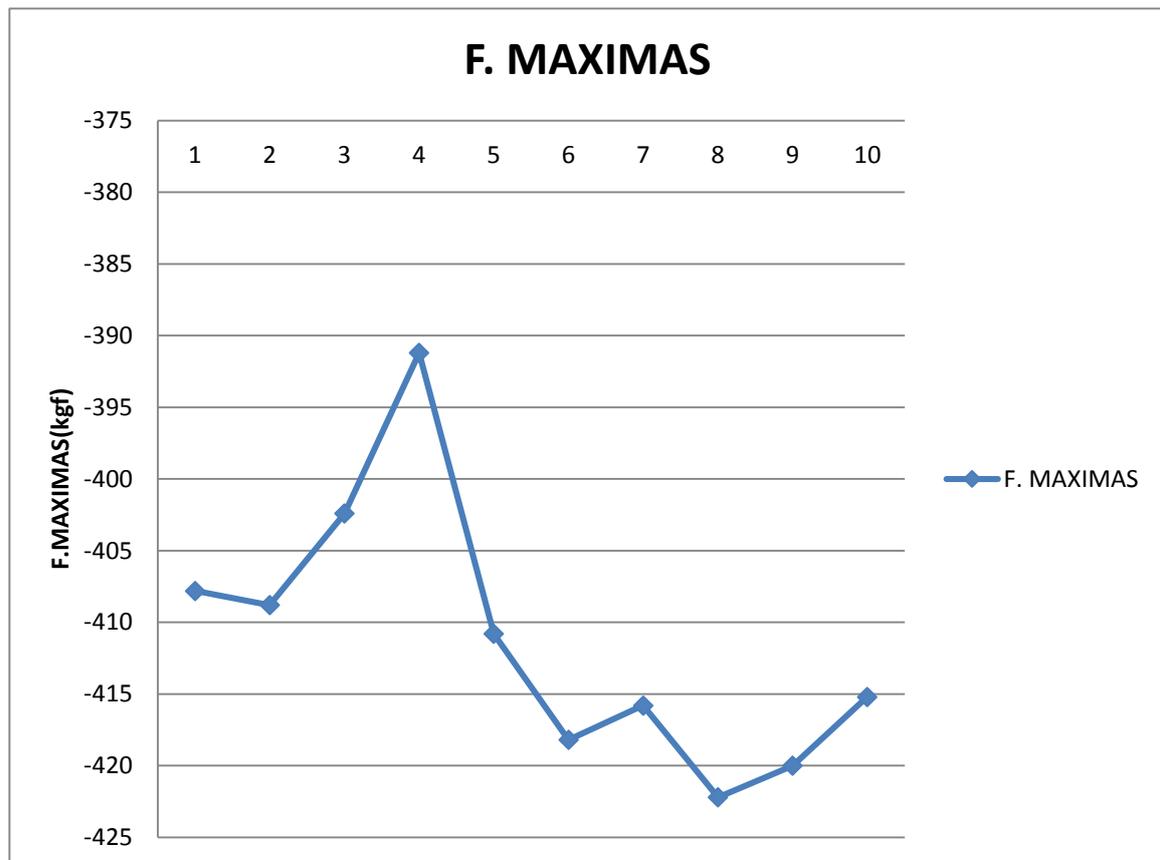


Gráfica 8- Ensayo F(t) punzón plano PP-EPDM-TD1

En la gráfica podemos observar los picos de fuerza que obtenemos:

Rotura									
-407,8	-408,8	-402,4	-391,2	-410,8	-418,2	-415,8	-422,2	-420	-415,2
kgf	kgf	kgf							

Los máximos obtenidos en las 10 mediciones (en orden) son los siguientes.



Gráfica 9- Máximos F(t) punzón plano PP-EPDM-TD1

MEDIA

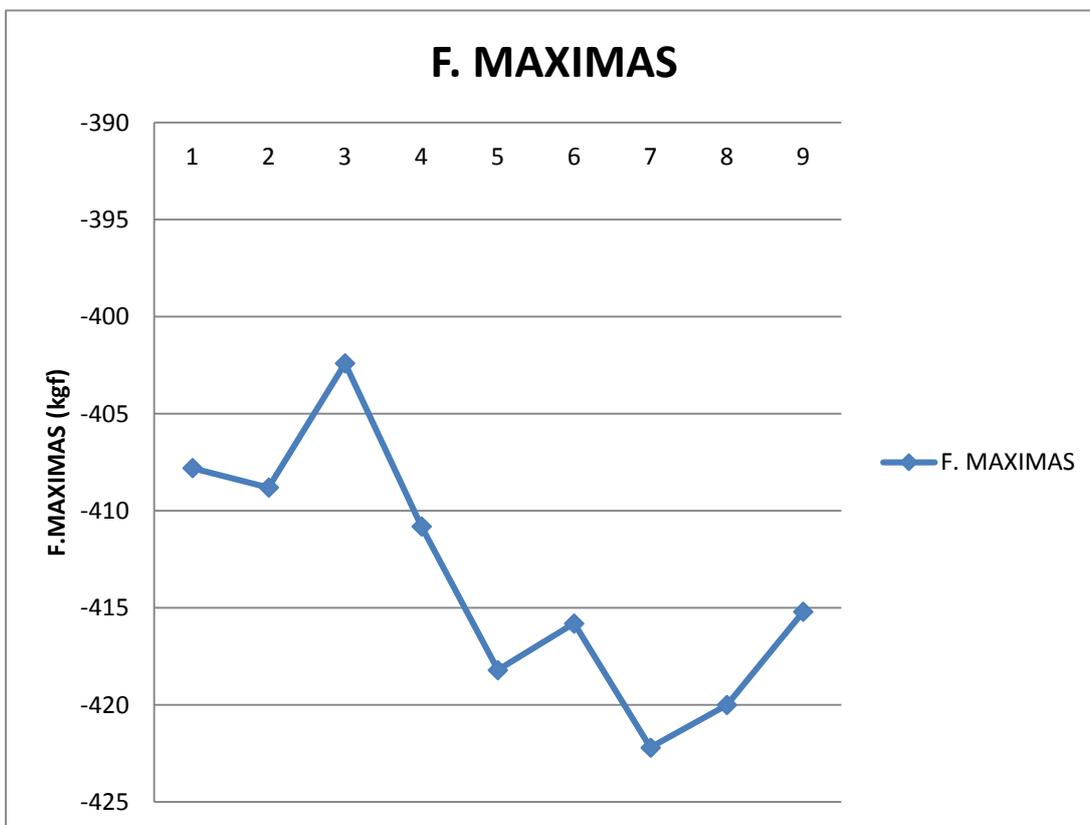
$-411,2 \pm 5,9 \text{ kgf}$

Podemos observar diferencias de cerca de 30 kgf entre algunos valores. Hemos obtenido un dato que dista demasiado del resto, por lo que como no es un valor

que podamos considerar lógico o repetitivo le quitaremos. Si le omitimos, veremos que debido a la repetitividad de los otros los estadísticos no nos cambian mucho. Posteriormente observaremos que su influencia en el promedio es prácticamente irrelevante.

Calcularemos ahora el promedio sin este dato tan alejado para observar si tiene una influencia relevante sobre el estudio (sin el dato 3).

-407,8	-408,8	-402,4	-410,8	-418,2	-415,8	-422,2	-420	-415,2
kgf	kgf	kgf						



Gráfica 10- Fuerzas máximas punzón plano PP-EPDM-TD1

MEDIA2
 $-413,5 \pm 4,1 \text{ kgf}$

CALCULAMOS AHORA EL σ_T QUE NOS SADRÍA EXPERIMENTALMENTE.

	kgf / mm ²	mm	mm	kgf
--	-----------------------	----	----	-----

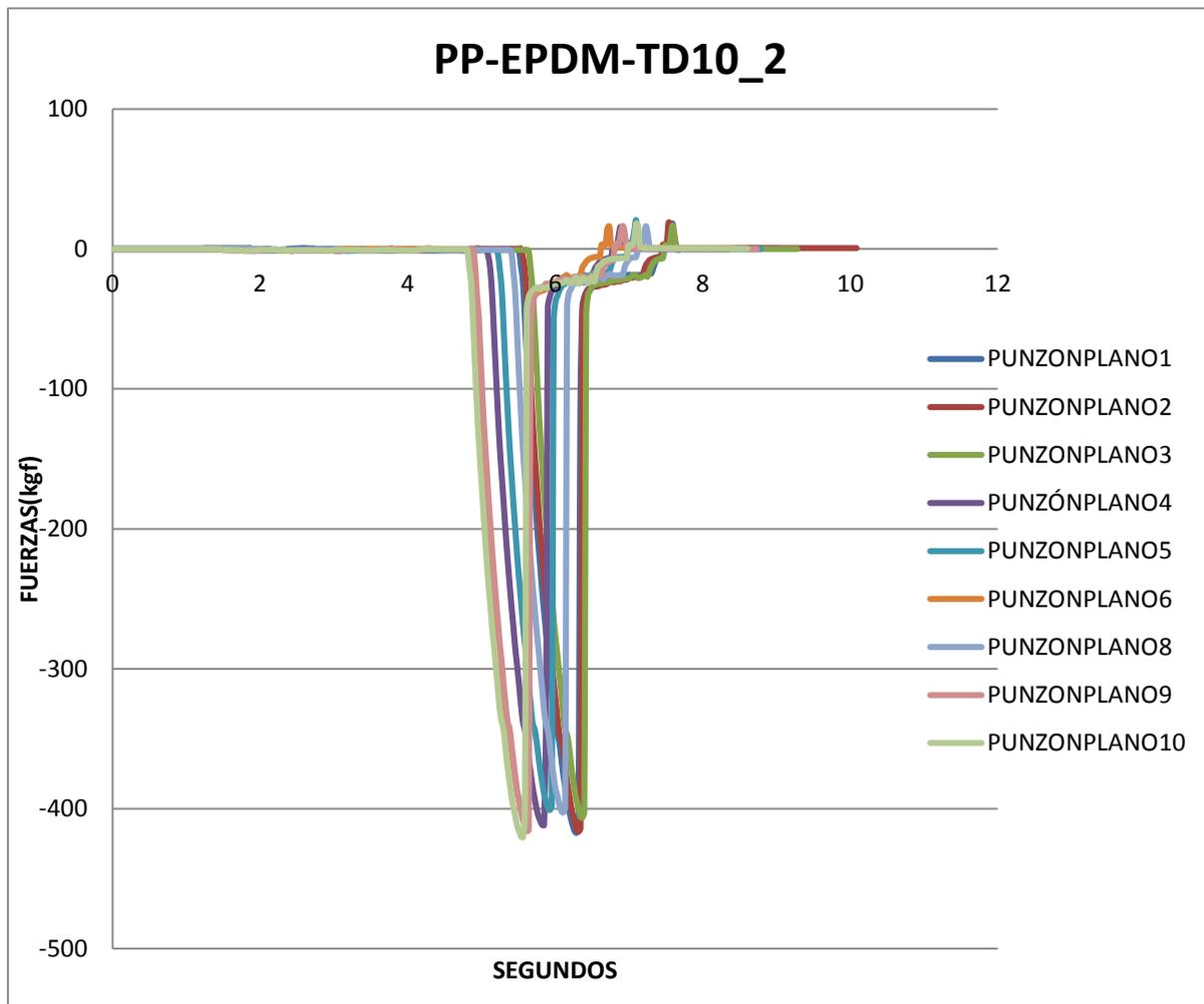
	sT	l	e	Esfuerzo
F =	2,32	59,3761012	3	413,26

$$\sigma_t = 2,32 \text{ kgf/mm}^2$$

Segundo ensayo sobre PP-EPDM-TD10

PP-EPDM-TD10-2

Tomaremos otros 10 valores, a la misma velocidad que hemos calculado.



Gráfica 11- Ensayo 2 F(t) punzón plano PP-EPDM-TD1

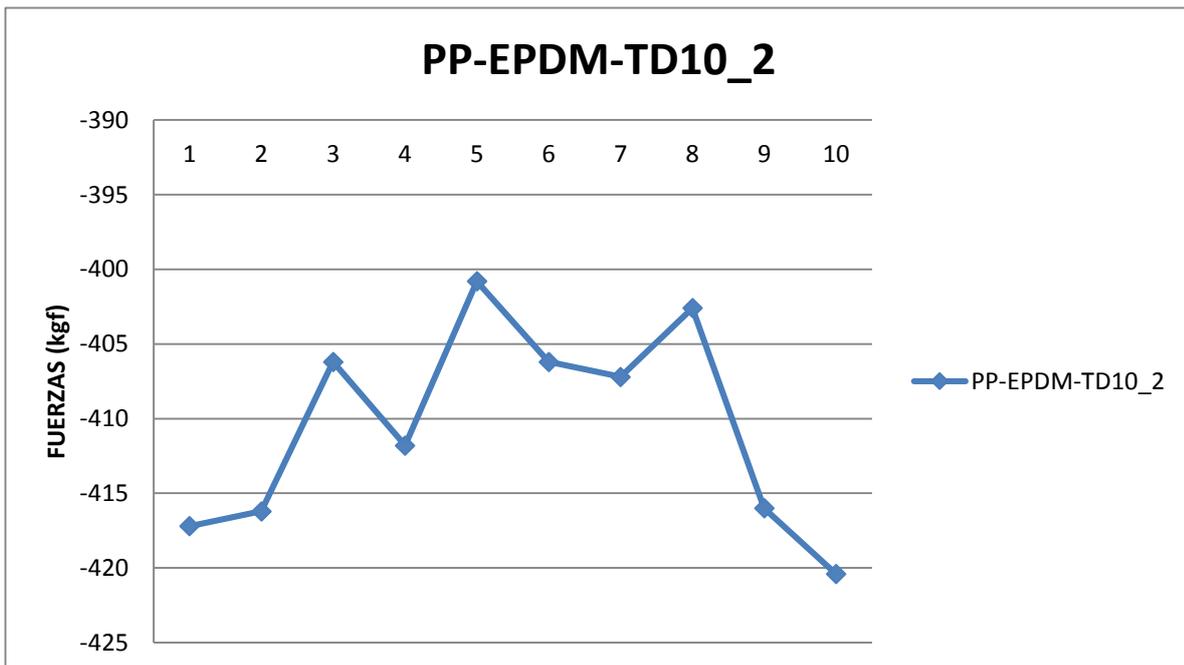
Una de las características más relevantes en el punzonado de chapas de acero, es la variabilidad que presentan los valores de fuerzas frente a la velocidad en el punzonado. En nuestra relación sencilla $F=P/A$, vemos como la fuerza es

independiente de la velocidad, pero ciertos autores nos relatan que según su experiencia sí que se experimenta una pequeña variación.

En nuestro caso hemos comprobado que el aumentar o disminuir la velocidad no tiene una relevancia importante en los datos, el rango de valores que cubren es prácticamente el mismo, aumentando bastante la velocidad del pistón. Algo a mencionar podría ser que por ejemplo el ABS que es muy rígido, sí que supone una ventaja en el corte ya que si disminuimos demasiado la velocidad la fuerza de rozamiento se iguala y si pasamos del coeficiente dinámico en el rozamiento al estático, se detiene el descenso del punzón.

Los máximos obtenidos en las 10 mediciones (en orden) son los siguientes.

Rotura									
-417,2	-416,2	-406,2	-411,8	-400,8	-406,2	-407,2	-402,6	-416	-420,4
kgf	kgf	kgf							



Gráfica 12- Fuerzas máximas ensayo 2 punzón plano PP-EPDM-TD1

MEDIA

$$-410,5 \pm 4,3 \text{ kgf}$$

Calculamos ahora el σ_T que nos saldría experimentalmente.

	kgf / mm ²	mm	mm	kgf
	sT	l	e	Esfuerzo
F =	2,31	59,3761012	3	411,48

$$\sigma_t = 2,31 \text{ kgf/mm}^2$$

Calcularemos el rango de valores de la siguiente manera:

Tras obtener la media de máximos y la varianza de los mismos. Calcularemos nuestro rango de valores en función de estos parámetros estadísticos.

En función de las medias obtenidas, obtenemos unos valores de resistencia del material.

Tomamos los extremos medidos, para calcular el rango que estaríamos obteniendo, aunque como seguridad, siempre se tomaría como decisión el máximo.

	kgf / mm ²	mm	mm	kgf
	sT	l	e	Esfuerzo
F =	2,2	59,3761012	3	391,88
F =	2,36	59,3761012	3	420,38

Tomando por tanto el mayor rango observamos que la diferencia en cuanto a los valores de la resistencia específica del material varía entre 2,2 kgf/mm² y 2,36 kgf/mm².

Tenemos que tener claro que en este tipo de ensayos la validez de los resultados radica en el orden de magnitud de los resultados, dado que el espesor en el parachoques, se mantiene prácticamente constante, pero tiene varias zonas reforzadas.

Todos estos valores calculados se han realizado sobre probetas sin pintar. En la industria normalmente los procesos de punzonado suelen realizarse sobre el propio parachoques pintado, por lo que los resultados variarán un poco sobre probetas pintadas.

Lógicamente en la industria y para tener un factor de seguridad de que siempre punzonaríamos tomaríamos como valor el 2.36 kgf/mm²

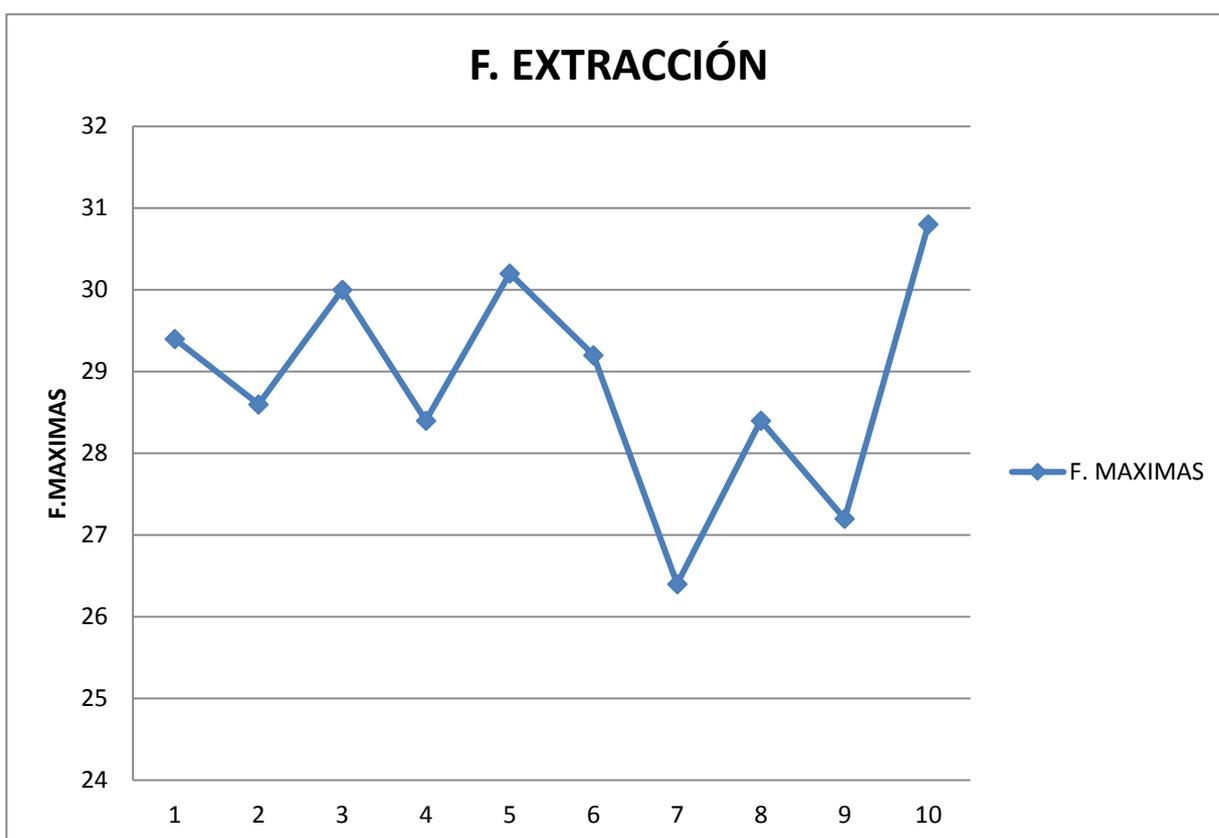
Estudio sobre el proceso de extracción.

El segundo estudio sobre el PP-EPDM-TD10. Nos centraremos en obtener el valor máximo que soporta la célula de carga en el instante en el que la reacción que obtenemos en los tubos laterales soldados que tenemos se iguala a la fuerza que hace que la chapa punzonada se quede encajada en el punzón.

Además hemos intentado estimar la extracción de la misma, para ver la fuerza que hay que hacer para extraer el plástico de la matriz, dejando que le liberen los brazos de la bancada.

EXTRACCION

29,4	28,6	30	28,4	30,2	29,2	26,4	28,4	27,2	30,8
kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf



Gráfica 13- Ensayo F(t) punzón plano PP-EPDM-TD1

MEDIA

$28,9 \pm 0,9 \text{ kgf}$

Comentamos anteriormente que este estudio se realiza para conocer el promedio de la fuerza aproximada que se necesita para conseguir extraer la piel del paragolpes mediante el pisador.

Realmente en la industria el valor que se extraería de este estudio es el máximo de los valores calculados, para estar siempre del lado de la seguridad, luego por tanto se tomaría $F=30.8\text{kgf}$

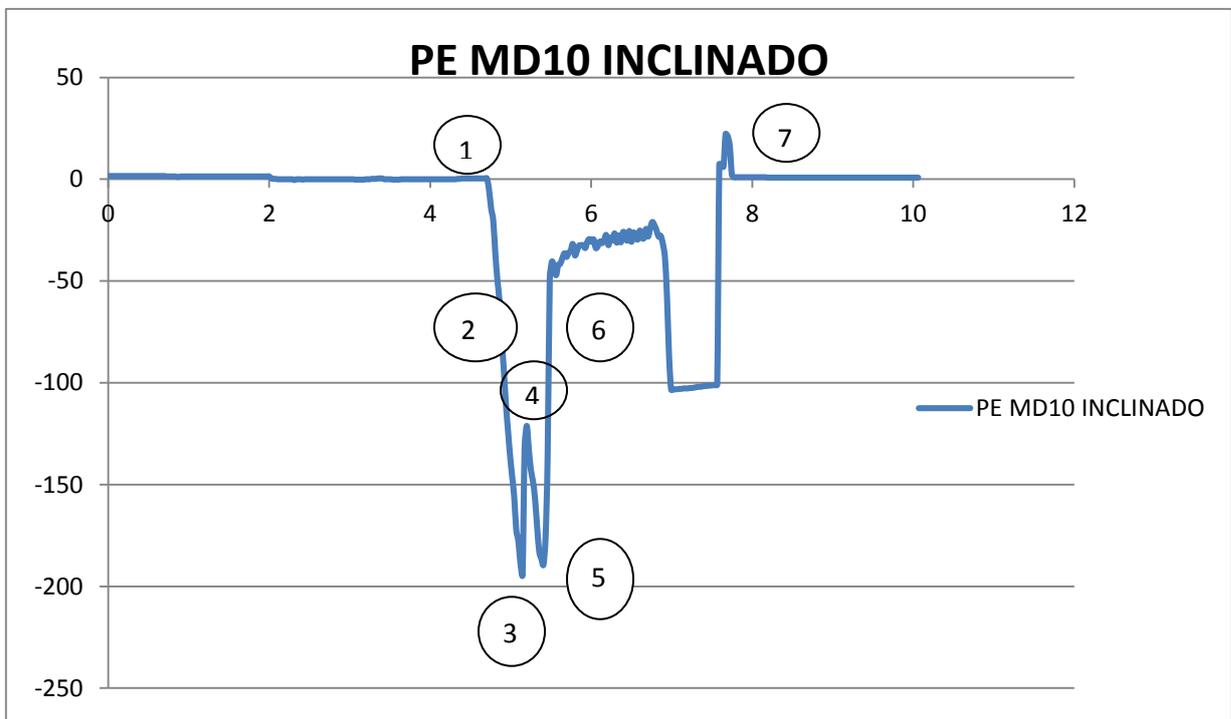
4.2 PUNZÓN INCLINADO

Ahora comenzaremos con el estudio de punzonado con los mismos materiales y con la relación antes deducida para este tipo de punzón.

ESTUDIO DE PUNZONADO, FUERZAS IMPLICADAS EN FUNCIÓN DE LOS PUNZONES.

El estudio se ha realizado sobre un polímero PE MD10, cortando con un punzón inclinado 75° de 18,9 mm de diámetro. Comentar que este ensayo está realizado sobre probetas sin pintar.

Inicialmente observaremos la gráfica obtenida a partir de la nube de puntos para explicar y observar las fases por las que evoluciona nuestro proceso en función del tiempo.

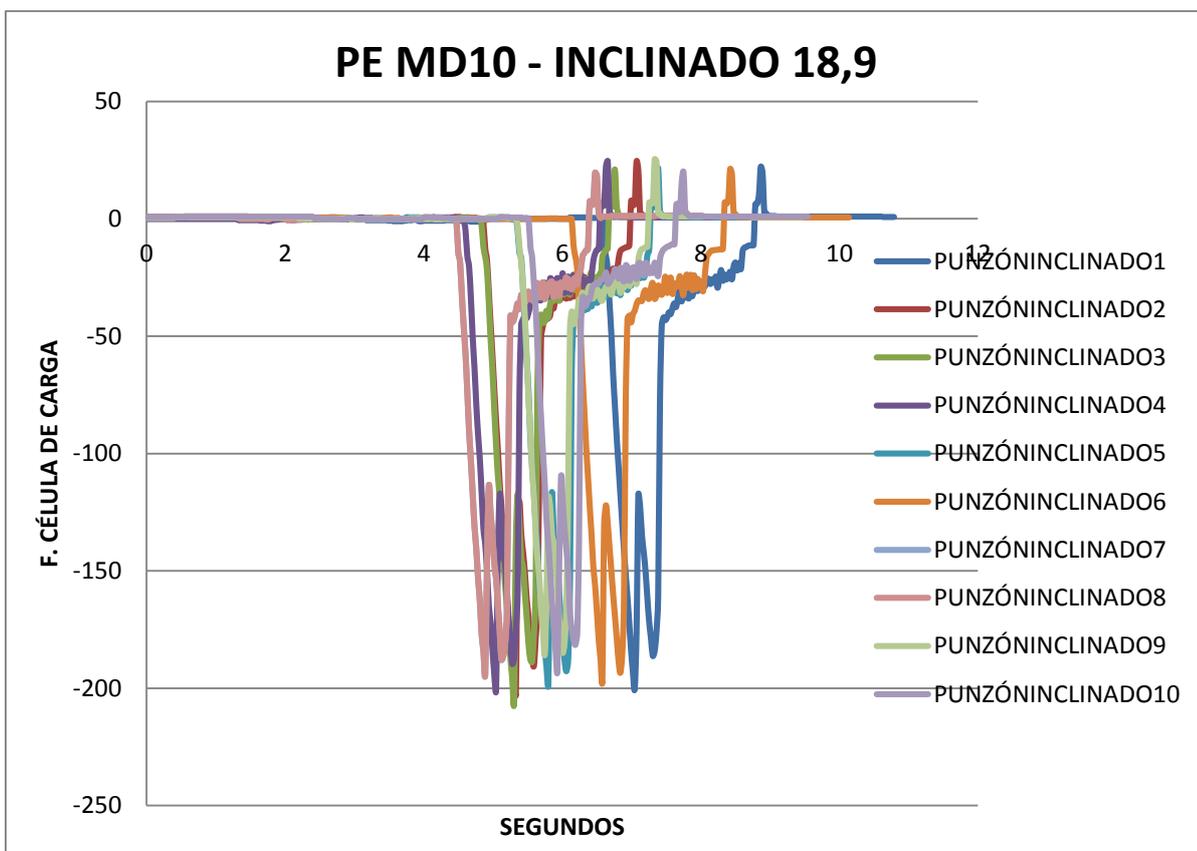


Gráfica 14- Ensayo $F(t)$ punzón inclinado PE MD10

Inicialmente observamos una zona en la que pese a que el tiempo avanza la célula de carga no mide ninguna fuerza debido a que el cilindro se encuentra descendiendo y todavía no ha iniciado el proceso de corte.

- 1- Encontramos inicialmente una zona de compresión en la que el punzón penetra en la lámina de polímero, deformándola y generando una fuerza cortante en la misma.
- 2- La fuerza va aumentando y las zonas de deformación por ambas partes, ya sea punzón- lámina o lámina matriz van aumentando hasta llegar al límite de deformación elástica.
- 3- Si continuamos aplicando fuerza tenemos el instante en el que la fuerza es máxima y se da la separación y rotura del material por el lado inclinado.
- 4- La fuerza disminuye debido a que hemos generado una grieta
- 5- La fuerza vuelve a aumentar en la salida del punzón hasta que corta el resto de material.
- 6- El material una vez cortado en su totalidad sufre una disminución exponencial de las fuerzas.
- 7- La parte traccionada que se observa en la gráfica, es debida a un estudio de extracción.

PE MD10- INCLINADO.

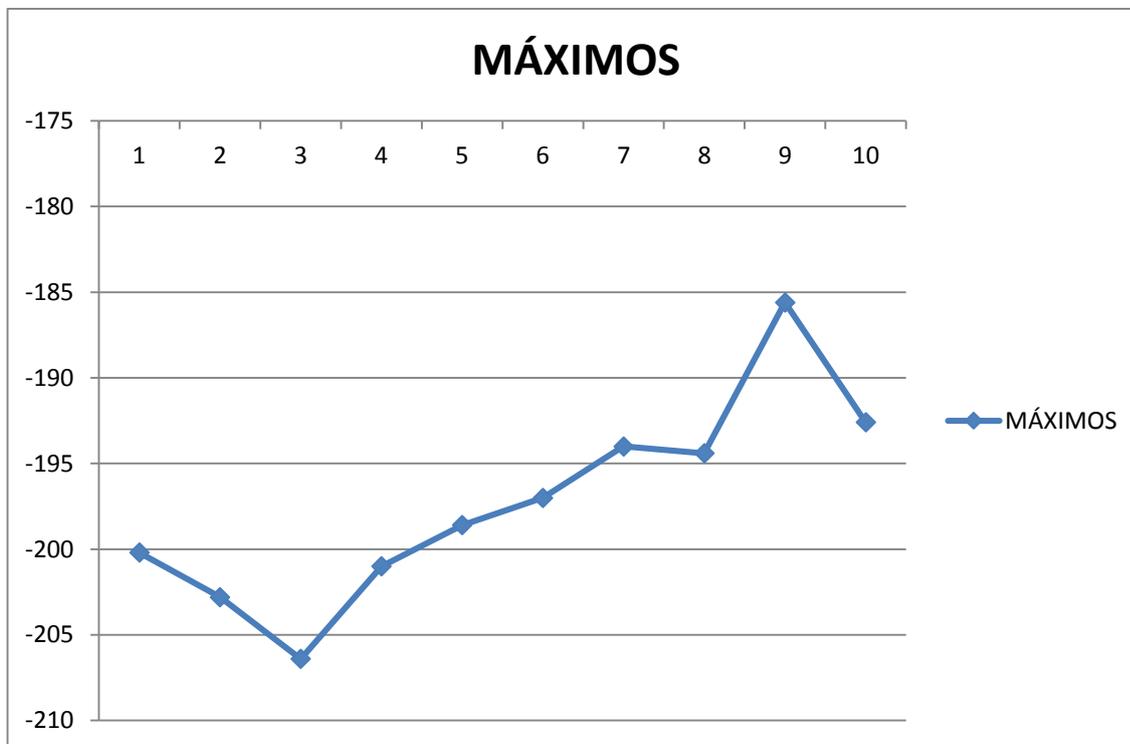


Gráfica 15- Ensayos F(t) punzón inclinado PE MD10

Podemos observar que con el punzón inclinado las fuerzas son sensiblemente inferiores a las del punzón plano. El corte progresivo y el área perimetral de penetración es mayor por lo que la fuerza es menor. El ángulo que hemos utilizado en nuestro ensayo es 75°. Sería interesante ver la dependencia del ángulo en el estudio de las fuerzas.

Rotur

-200,2 kgf	-202,8 kgf	-206,4 kgf	-201 kgf	-198,6 kgf	-197 kgf	-194 kgf	-194,4 kgf	-185,6 kgf	-192,6 kgf
---------------	---------------	---------------	-------------	---------------	-------------	-------------	---------------	---------------	---------------



Gráfica 16- Máximos punzón inclinado PE-MD10

MEDIA

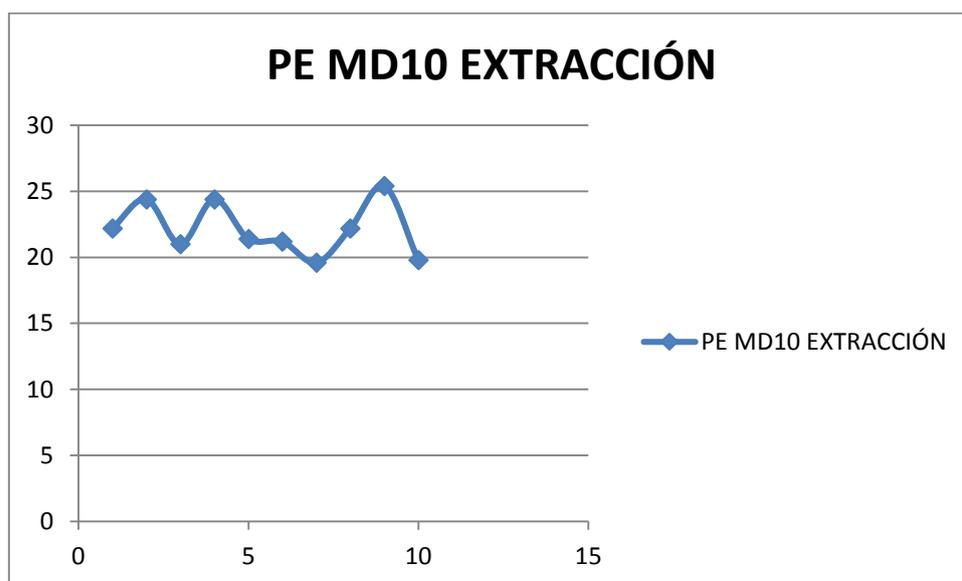
-197,3 ± 3,8 kgf

Estudio sobre el proceso de extracción.

El segundo estudio sobre el PP-EPDM-TD10. Nos centraremos en obtener el valor máximo que soporta la célula de carga en el instante en el que la reacción que obtenemos en los tubos laterales soldados que tenemos se iguala a la fuerza que hace que la chapa punzonada se quede encajada en el punzón.

Además hemos intentado estimar la extracción de la misma, para ver la fuerza que hay que hacer para extraer el plástico de la matriz, dejando que le liberen los brazos de la bancada.

22,2 kgf	24,4 kgf	21 kgf	24,4 kgf	21,4 kgf	21,2 kgf	19,6 kgf	22,2 kgf	25,4 kgf	19,8 kgf
-------------	-------------	-----------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------



Gráfica 17- Máximos extracción punzón inclinado PE-MD10

MEDIA

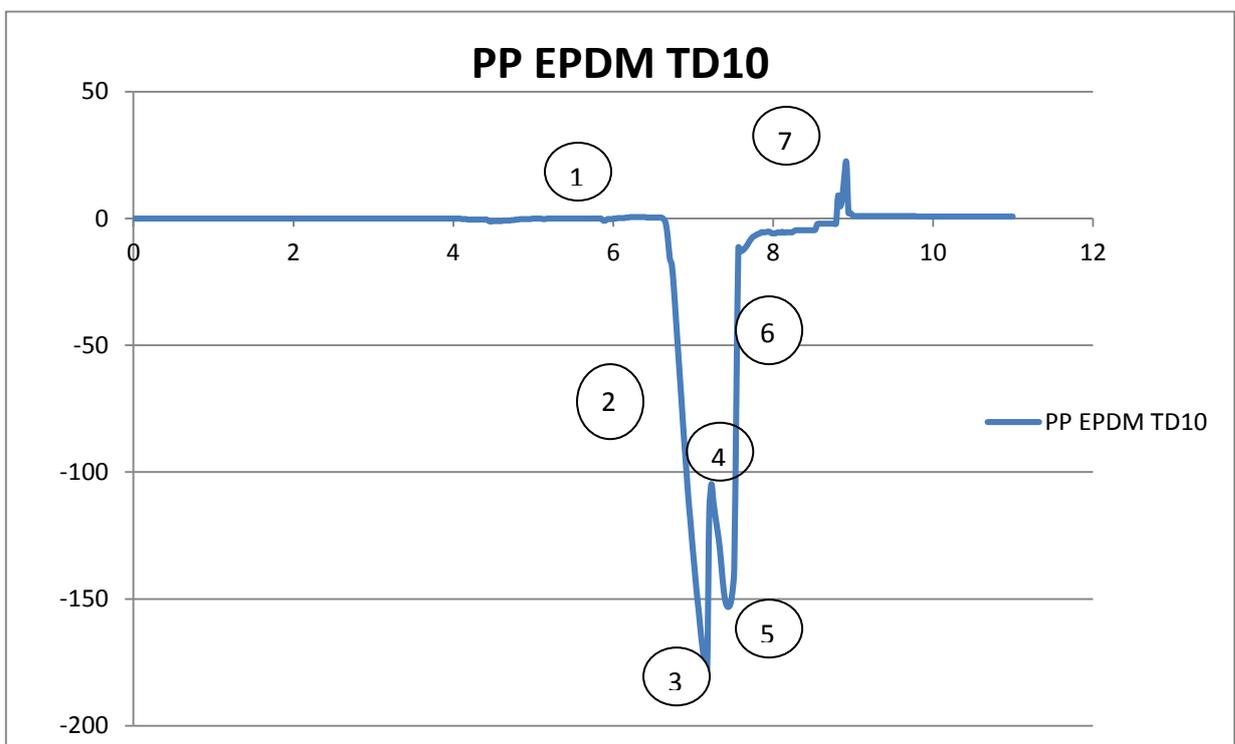
22,2 ± 1,3kgf

PP EPDM-TD10

ESTUDIO DE PUNZONADO, FUERZAS IMPLICADAS EN FUNCIÓN DE LOS PUNZONES.

El estudio se ha realizado sobre un polímero PE MD10, cortando con un punzón inclinado 75° de 18,9 mm de diámetro. Comentar que este ensayo está realizado sobre probetas sin pintar.

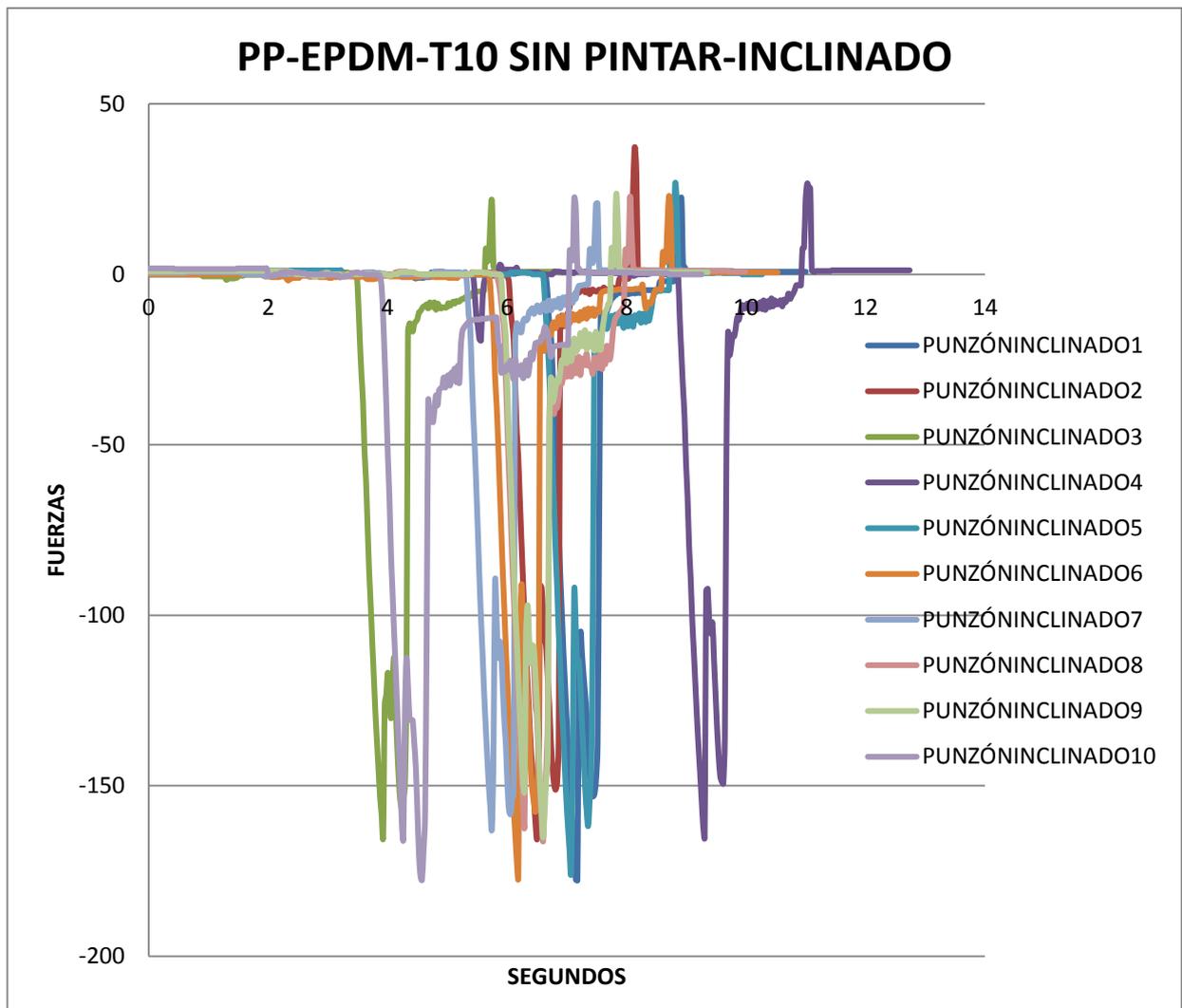
Inicialmente observaremos la gráfica obtenida a partir de la nube de puntos para explicar y observar las fases por las que evoluciona nuestro proceso en función del tiempo.



Inicialmente observamos una zona en la que pese a que el tiempo avanza la célula de carga no mide ninguna fuerza debido a que el cilindro se encuentra descendiendo y todavía no ha iniciado el proceso de corte.

- 1- Encontramos inicialmente una zona de compresión en la que el punzón penetra en la lámina de polímero, deformándola y generando una fuerza cortante en la misma.
- 2- La fuerza va aumentando y las zonas de deformación por ambas partes, ya sea punzón- lámina o lámina matriz van aumentando hasta llegar al límite de deformación elástica.
- 3- Si continuamos aplicando fuerza tenemos el instante en el que la fuerza es máxima y se da la separación y rotura del material por el lado inclinado.

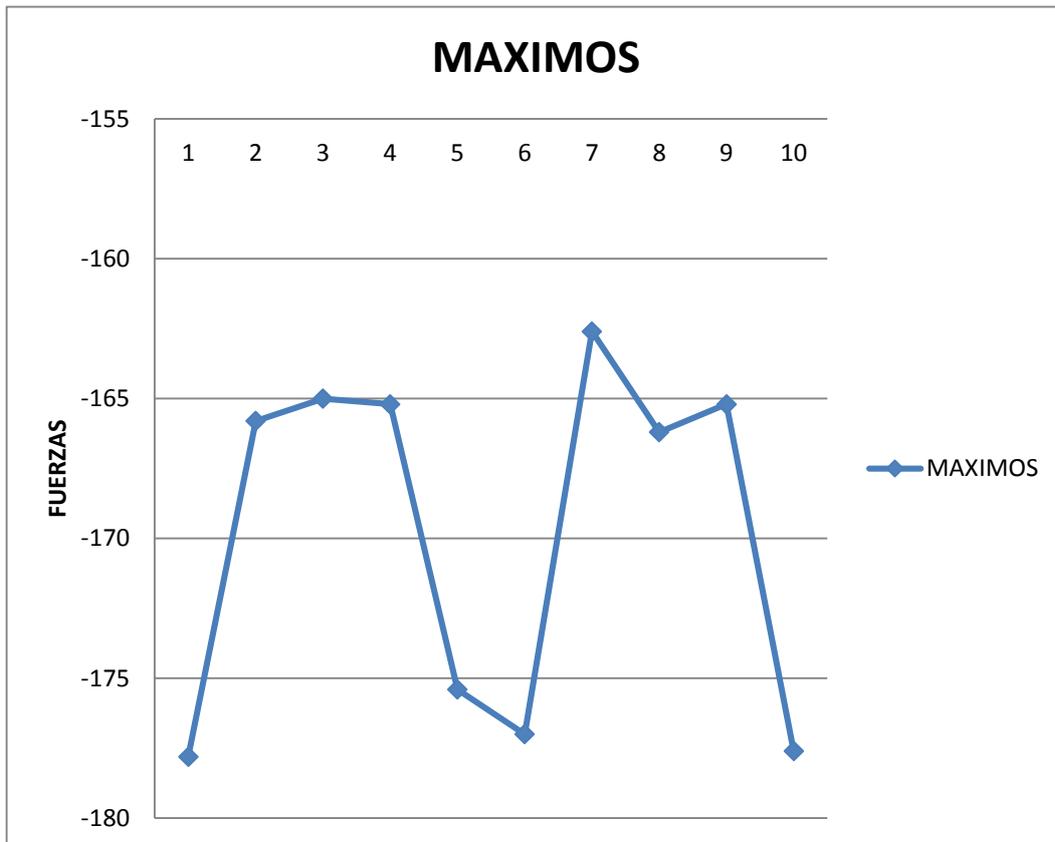
- 4- La fuerza disminuye debido a que hemos generado una grieta
- 5- La fuerza vuelve a aumentar en la salida del punzón hasta que corta el resto de material.
- 6- El material una vez cortado en su totalidad sufre una disminución exponencial de las fuerzas.
- 7- La parte traccionada que se observa en la gráfica, es debida a un estudio de extracción.



Gráfica 18- Ensayos punzón inclinado PP-EPDM-TD10

Rotur

-177,8	-165,8	-165	-165,2	-175,4	-177	-162,6	-166,2	-165,2	-177,6
kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf



Gráfica 19- Máximos punzón inclinado PP-EPDM-TD10

MEDIA

$-169,8 \pm 3,9 \text{ kgf}$

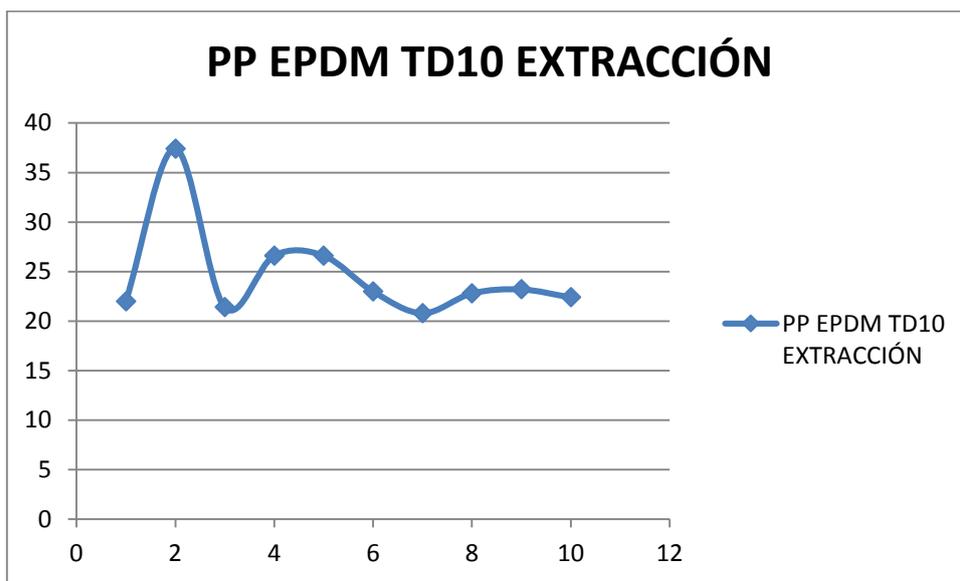
Podemos asegurar llegados a este punto que se mantiene que el PE MD10 es más resistente que el PP EPDM TD10, los resultados son coherentes observando ambos punzones.

Estudio sobre el proceso de extracción.

El segundo estudio sobre el PP-EPDM-TD10. Nos centraremos en obtener el valor máximo que soporta la célula de carga en el instante en el que la reacción que obtenemos en los tubos laterales soldados que tenemos se iguala a la fuerza que hace que la chapa punzonada se quede encajada en el punzón.

Además hemos intentado estimar la extracción de la misma, para ver la fuerza que hay que hacer para extraer el plástico de la matriz, dejando que le liberen los brazos de la bancada.

extr									
22	37,4	21,4	26,6	26,6	23	20,8	22,8	23,2	22,4
kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf



Gráfica 20- Máximos punzón inclinado PP-EPDM-TD10

MEDIA

$24,62 \pm 3,1 \text{ kgf}$

Vemos que el valor 3 dista mucho del resto, habría que estudiar el porqué de esa desviación, si no lo tenemos en cuenta observamos que la media variaría hasta llegar al siguiente resultado.

MEDIA

$23,2 \pm 1,4 \text{ kgf}$

Por tanto desde el punto de vista de la industria, tendríamos los promedios antes observados, convendría observar la repetitividad mediante más ensayos, pero ante estos resultados, se tomaría el mayor valor medido, que en este caso sería $F=37,4 \text{ kgf}$

ABS

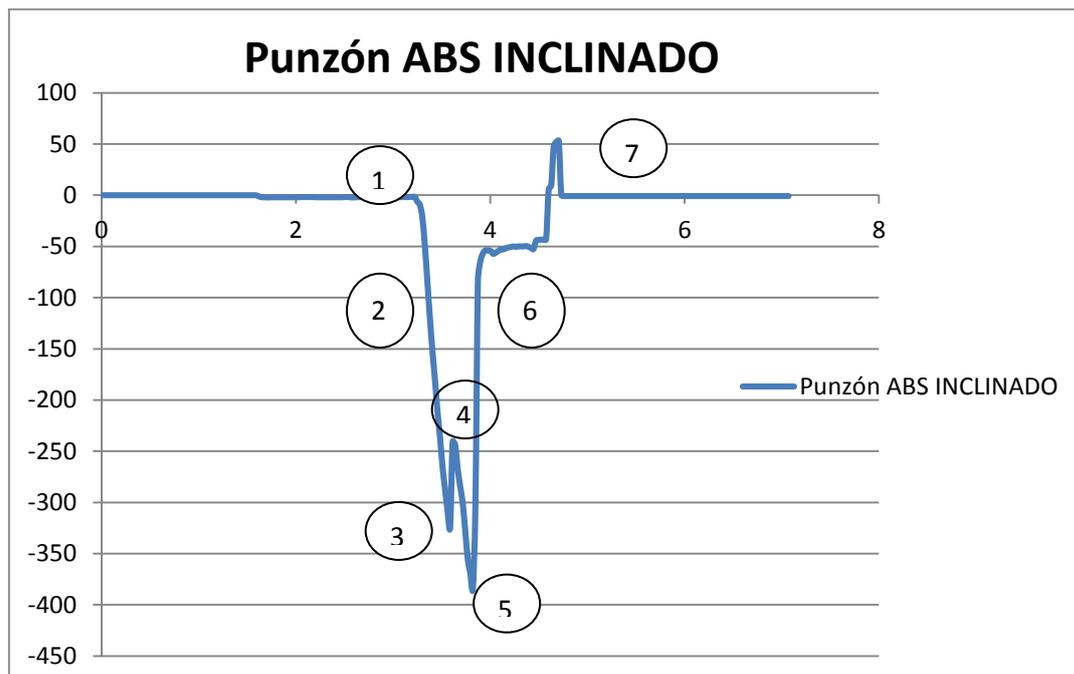
Se realizan las pruebas con el punzón inclinado, debido a que con el punzón plano soy incapaz de realizar el punzonado correctamente.

El ABS es un polímero reforzado con fibras con una dureza inusual, por lo que encuentra su utilidad en el mundo automovilístico. No se suele utilizar más que para piezas donde se clipan cromados, o rejillas.

ESTUDIO DE PUNZONADO, FUERZAS IMPLICADAS EN FUNCIÓN DE LOS PUNZONES.

El estudio se ha realizado sobre ABS, cortando con un punzón inclinado 75° de 18,9 mm de diámetro. Comentar que este ensayo está realizado sobre probetas sin pintar.

Inicialmente observaremos la gráfica obtenida a partir de la nube de puntos para explicar y observar las fases por las que evoluciona nuestro proceso en función del tiempo.

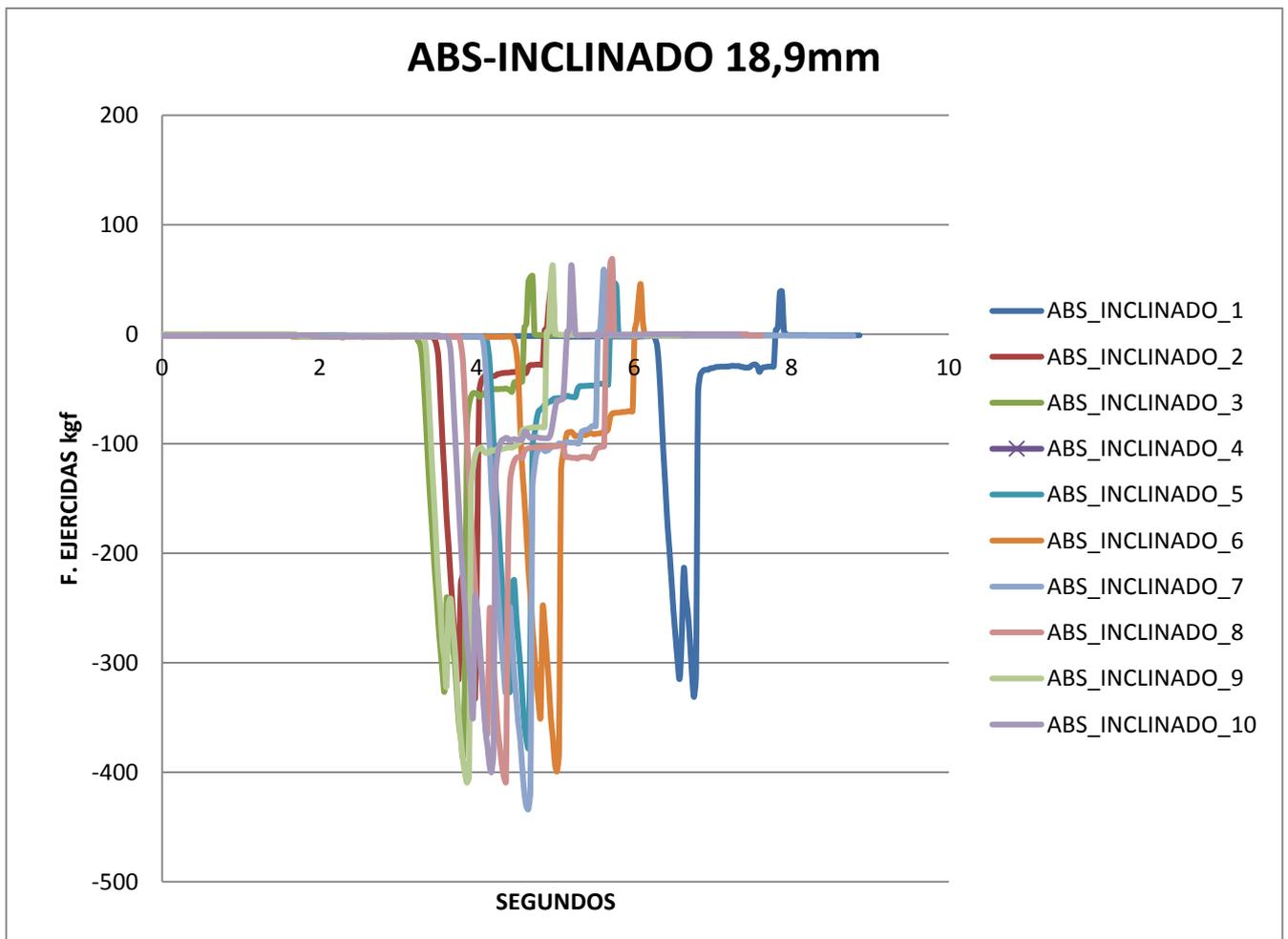


Gráfica 21- Ensayo punzón inclinado ABS.

Inicialmente observamos una zona en la que pese a que el tiempo avanza la célula de carga no mide ninguna fuerza debido a que el cilindro se encuentra descendiendo y todavía no ha iniciado el proceso de corte.

- 1- Encontramos inicialmente una zona de compresión en la que el punzón penetra en la lámina de polímero, deformándola y generando una fuerza cortante en la misma.

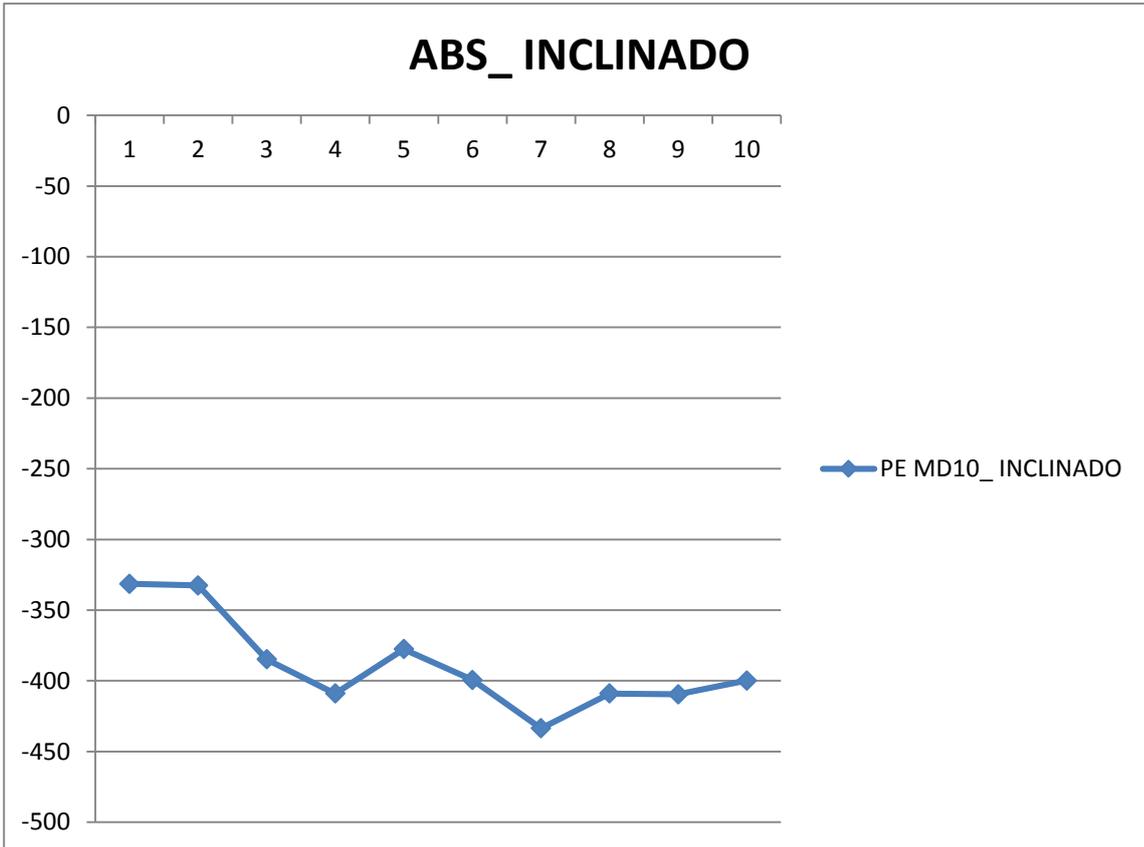
- 2- La fuerza va aumentando y las zonas de deformación por ambas partes, ya sea punzón- lámina o lámina matriz van aumentando hasta llegar al límite de deformación elástica.
- 3- Si continuamos aplicando fuerza tenemos el instante en el que la fuerza es máxima (localmente) y se da la separación y rotura del material por el lado inclinado.
- 4- La fuerza disminuye debido a que hemos generado una grieta
- 5- La fuerza vuelve a aumentar en la salida del punzón hasta que corta el resto de material, en este material frente a los anteriores, observamos en los ensayos una repetitividad en que el momento de corte total o separación es el máximo global, mínimo global en nuestra función al estar comprimiendo.
- 6- El material una vez cortado en su totalidad sufre una disminución exponencial de las fuerzas.
- 7- La parte traccionada que se observa en la gráfica, es debida a un estudio de extracción.



Gráfica 22- Ensayos conjuntos ABS inclinado

Rotura

-331,4 kgf	-332,6 kgf	-384,8 kgf	-409 kgf	-377,6 kgf	-399,4 kgf	-433,6 kgf	-409 kgf	-409,6 kgf	-399,8 kgf
---------------	---------------	---------------	-------------	---------------	---------------	---------------	-------------	---------------	---------------



Gráfica 23- Máximos punzón inclinado ABS

MEDIA

$-388,68 \pm 21,7 \text{ kgf}$

Este ensayo tiene una incertidumbre inusual, si apartáramos los dos primeros valores y volviéramos a calcular.

MEDIA

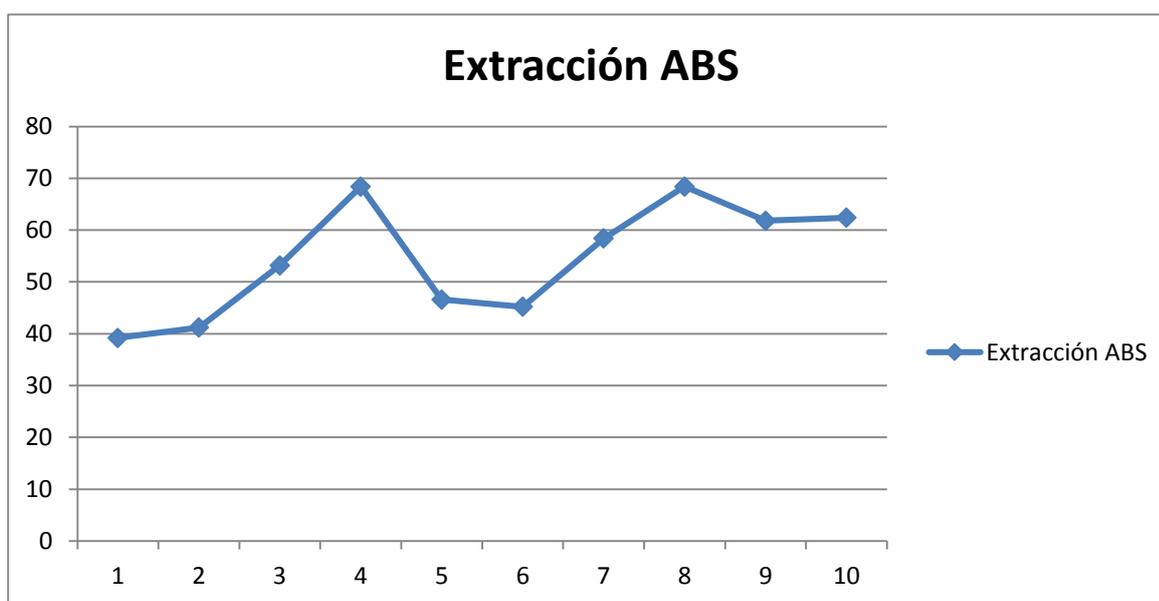
$-388,68 \pm 12,1 \text{ kgf}$

En el estudio de extracción de la piel del parachoques, podemos intuir, bastante antes de realizar cualquier ensayo, que por lógica el valor de la constante de los

resortes que tengamos que incluir van a ser mayores; es decir, nuestro valor de extracción será mayor.

Extracción

39,2	41,2	53,2	68,4	46,6	45,2	58,4	68,4	61,8	62,4
kgf									



Gráfica 24- Máximos extracción ABS

MEDIA

54,5 ± 6,9 kgf

Comprobamos que al poseer una resistencia mayor implica mayores fuerzas mediante el punzón inclinado en comparación con el PP EPDM TD10 y el PE MD10.

En este ensayo no hemos podido realizar pruebas satisfactorias sobre el punzón plano para poder extraer los datos de resistencia del material debido a que nuestra célula de carga podía dañarse ya que prevemos estar sobre los valores límite de medición.

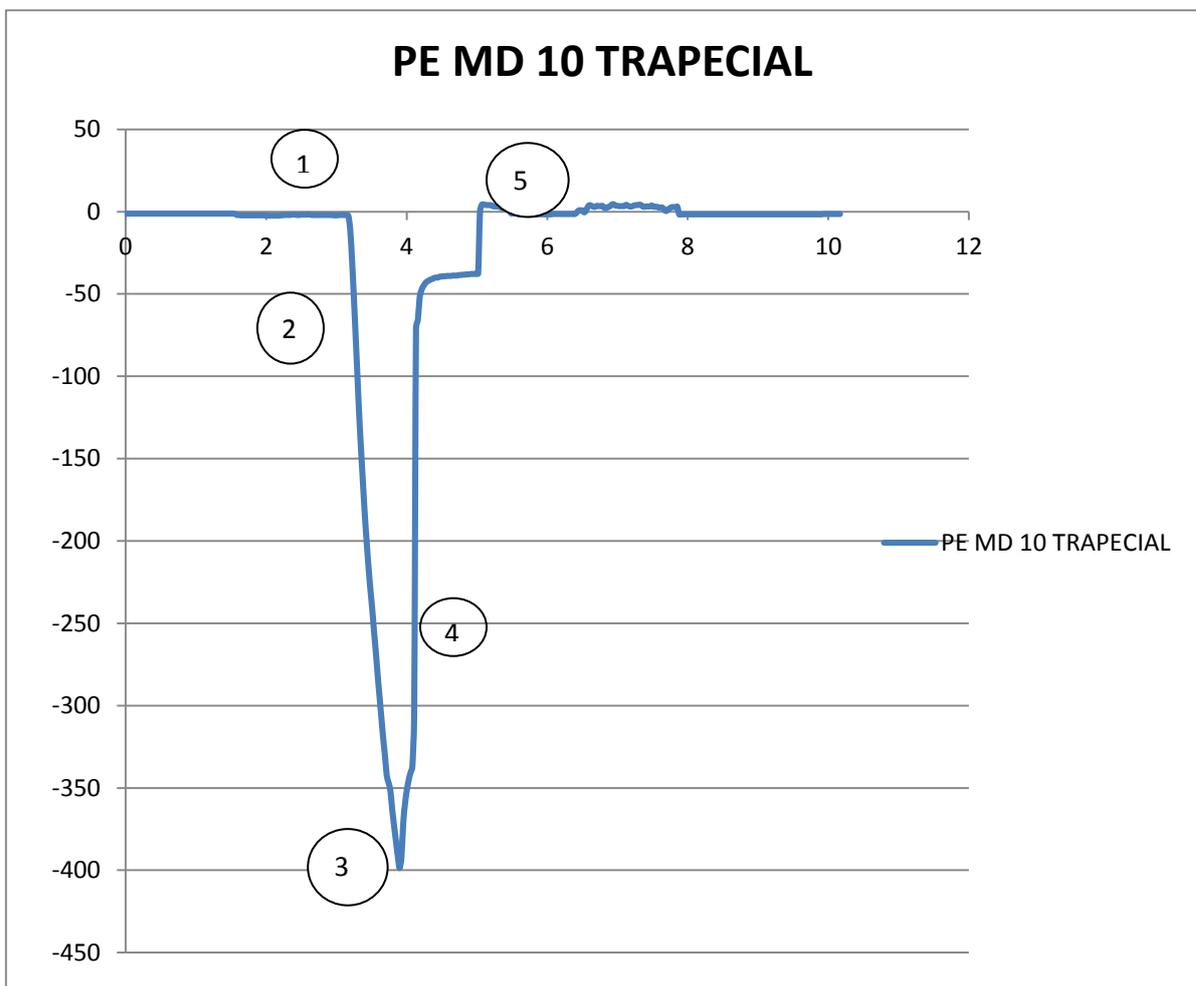
Por lo cual lo ideal sería comprar una célula de carga mayor que pueda arrojarnos datos fiables, sin temor a dañarla.

4.3 PUNZÓN TRAPEZOIDAL DE $\phi 18,9\text{mm}$.

ESTUDIO DE PUNZONADO, FUERZAS IMPLICADAS EN FUNCIÓN DE LOS PUNZONES.

El estudio se ha realizado sobre un polímero PE MD10, cortando con un punzón inclinado 75° de 18,9 mm de diámetro. Comentar que este ensayo está realizado sobre probetas sin pintar.

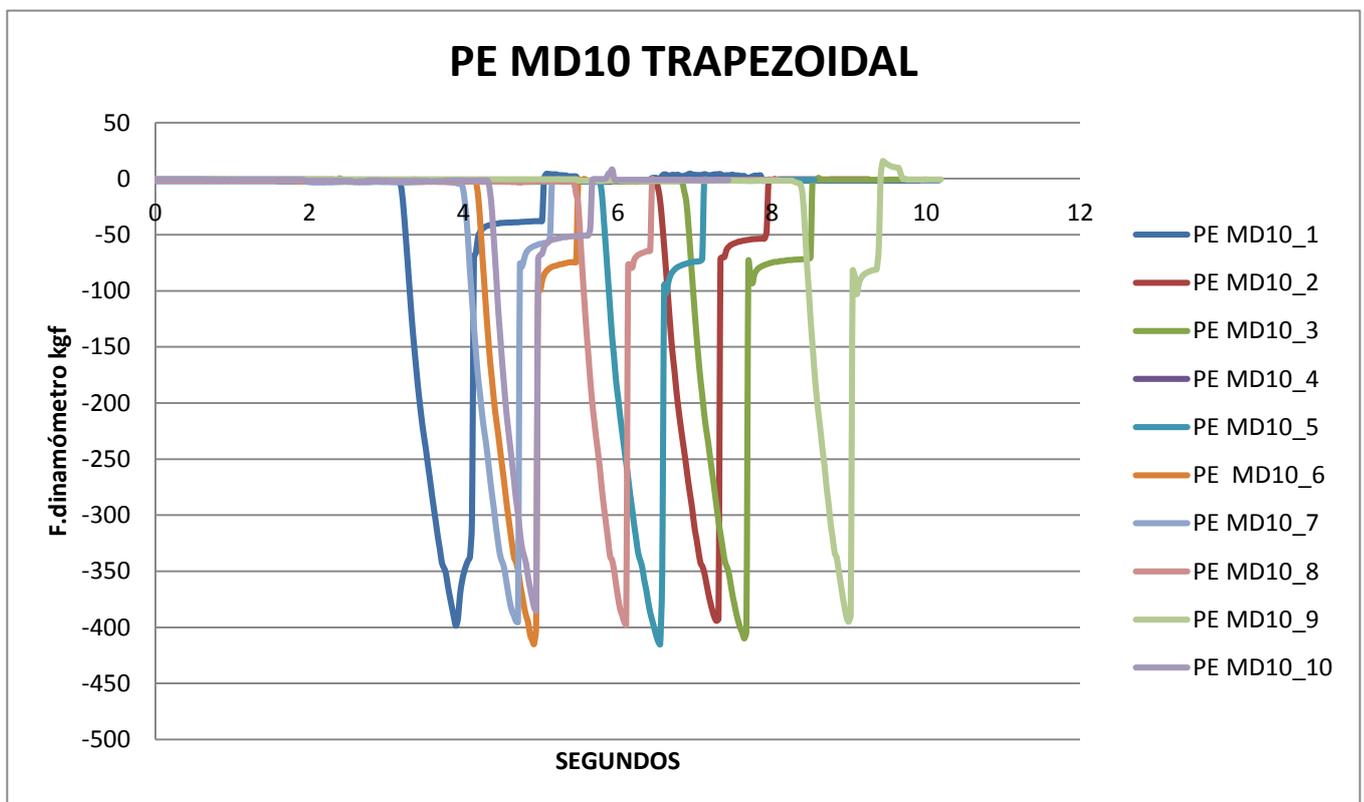
Inicialmente observaremos la gráfica obtenida a partir de la nube de puntos para explicar y observar las fases por las que evoluciona nuestro proceso en función del tiempo.



Gráfica 25- Máximos punzón trapezoidal PE-MD10

Inicialmente observamos una zona en la que pese a que el tiempo avanza la célula de carga no mide ninguna fuerza debido a que el cilindro se encuentra descendiendo y todavía no ha iniciado el proceso de corte.

- 1- Encontramos inicialmente una zona de compresión en la que el punzón penetra en la lámina de polímero, deformándola y generando una fuerza cortante en la misma.
- 2- La fuerza va aumentando y las zonas de deformación por ambas partes, ya sea punzón- lámina o lámina matriz van aumentando hasta llegar al límite de deformación elástica.
- 3- Si continuamos aplicando fuerza tenemos el instante en el que la fuerza es máxima y se da la separación y rotura del material.
- 4- La fuerza disminuye debido al corte.
- 5- Zonas traccionadas del estudio de extracción.



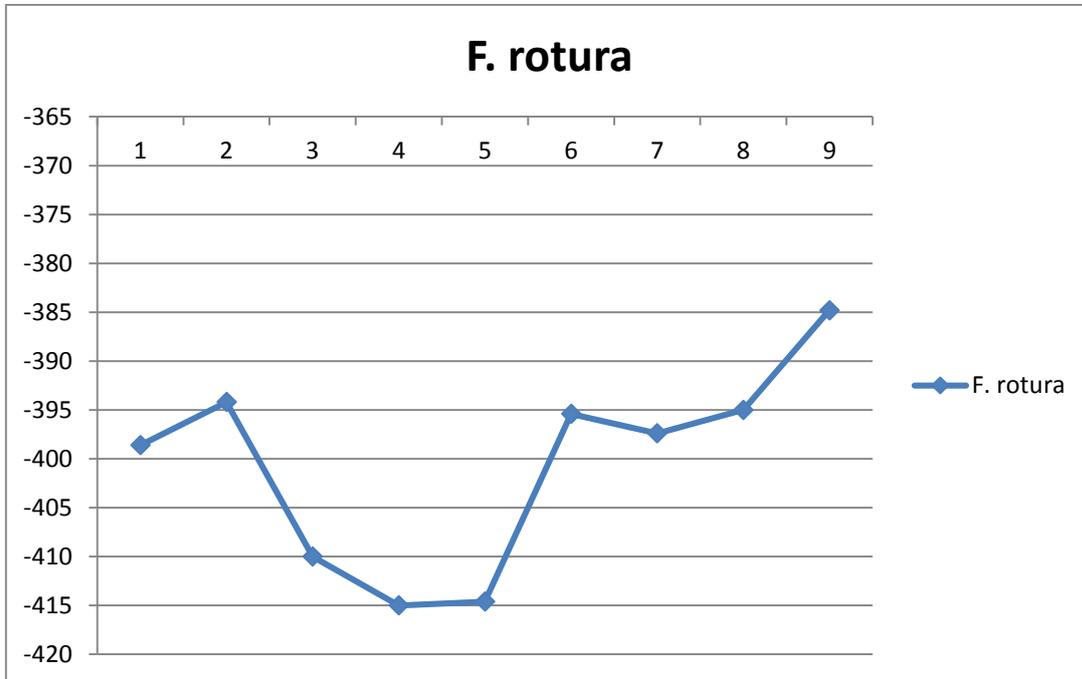
Gráfica 26- Ensayos punzón trapezoidal PE-MD10

La utilización de este punzón se fundamenta en la necesidad de crear un radio en el borde del punzonado, por lo que este proceso pese a ser uno de los más utilizados no registra la menor media obtenida, debido a que su función no es únicamente de corte.

No se ha realizado un ensayo adecuado de extracción de la piel del paragolpes, la variabilidad en los resultados hace que no podamos arrojar datos que consideremos fiables.

Rotura

-398,6	-394,2	-410	-415	-414,6	-395,4	-397,4	-395	-384,8
kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf



Gráfica 27- Máximos punzón trapezoidal PE-MD10



MEDIA

$-400,6 \pm 6,5 \text{ kgf}$

Imagen 31: Proingesa.

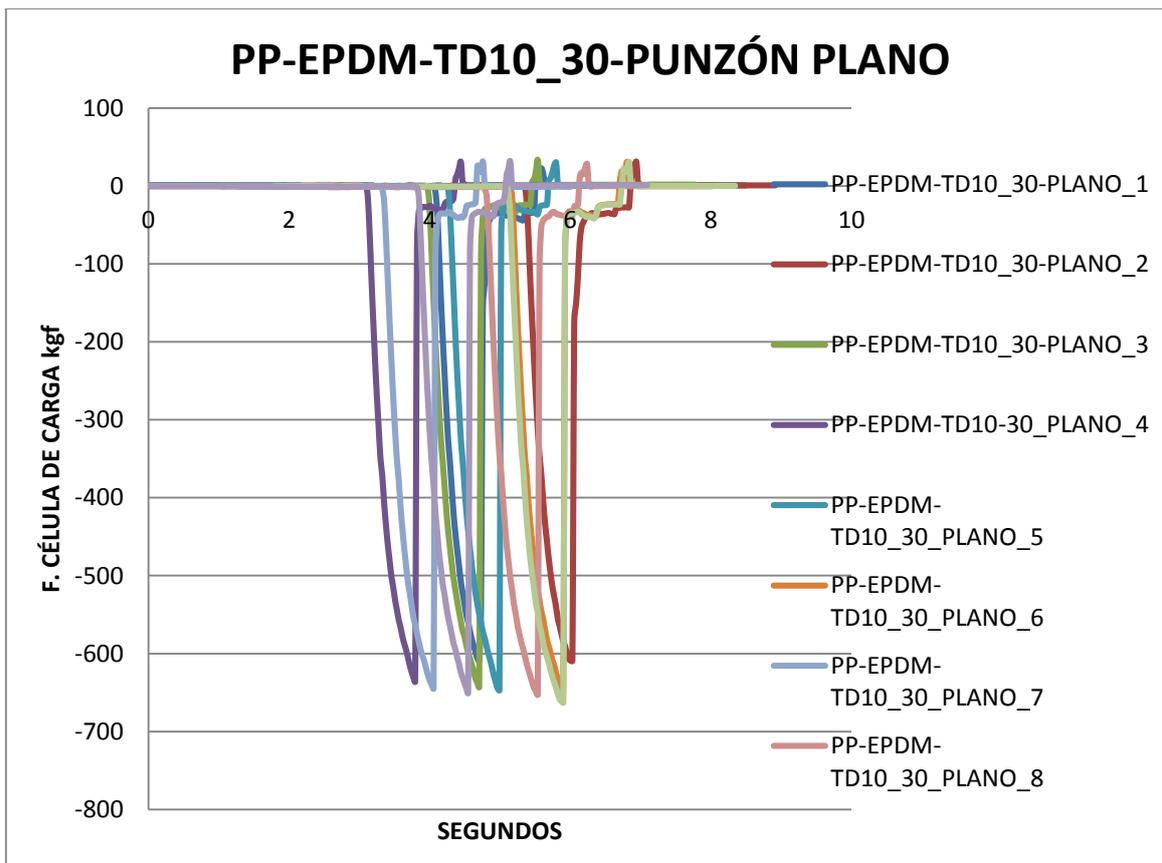
Punzón trapezoidal

Comparación frente a diámetros mayores.

El Segundo estudio que se plantea una vez obtenidos los valores experimentales de los principales plásticos, queremos observar el comportamiento de los mismos

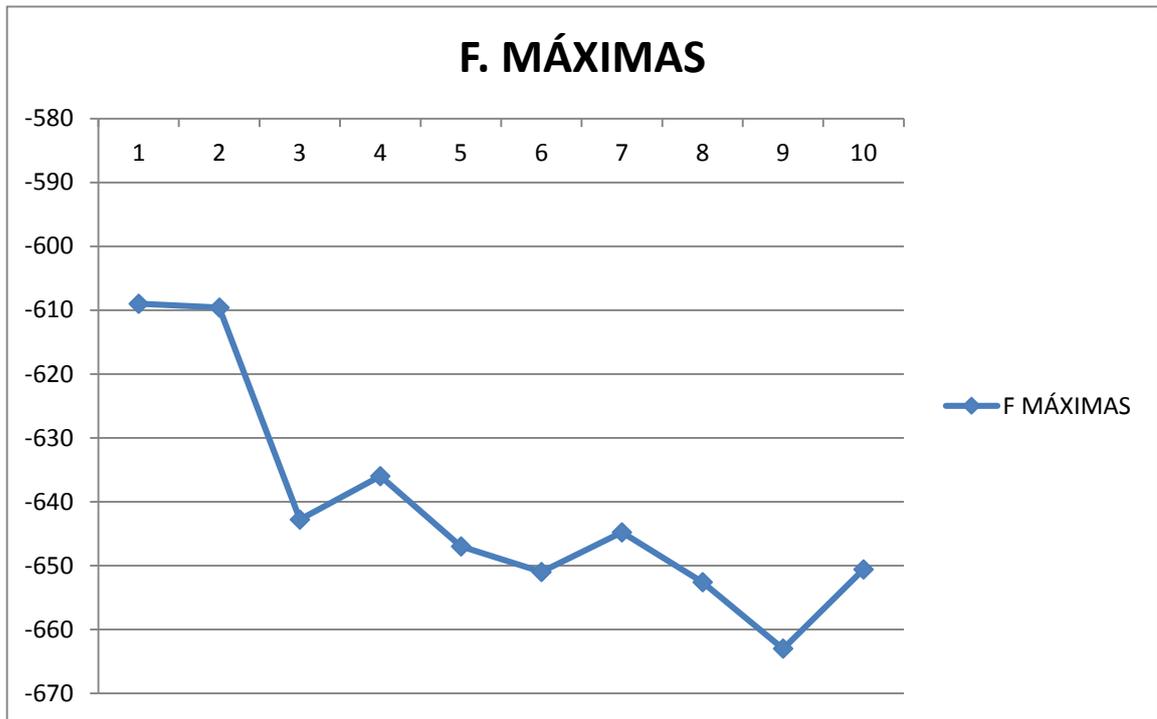
materiales con respecto a punzones mayores, queremos observar la evolución o cómo es la tendencia de las fuerzas. Decir que uno de los valores más utilizados en el punzonado para la colocación de los soportes es el 18,9mm de diámetro que hemos utilizado antes, luego el estudio es representativo para lo que usualmente trabajamos.

El otro valor que se suele utilizar con frecuencia para punzonar, es el punzón de diámetro 30 mm.



Gráfica 28- Ensayos conjuntos Ø30 mm punzón plano PP-EPDM-TD10

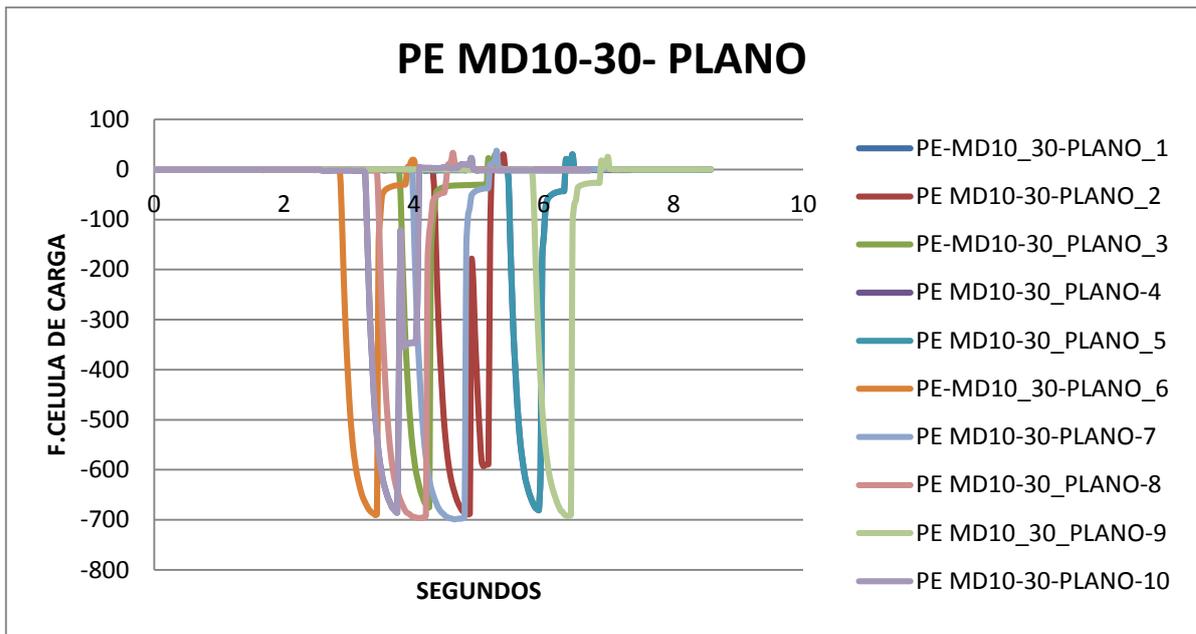
Rotura									
-609	-609,6	-642,8	-636	-647	-651	-644,8	-652,6	-663	-650,6
kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf



Gráfica 29 - Máximos Ø30 mm punzón plano PP-EPDM-TD10

MEDIA
$-640,6 \pm 11,3 \text{ kgf}$

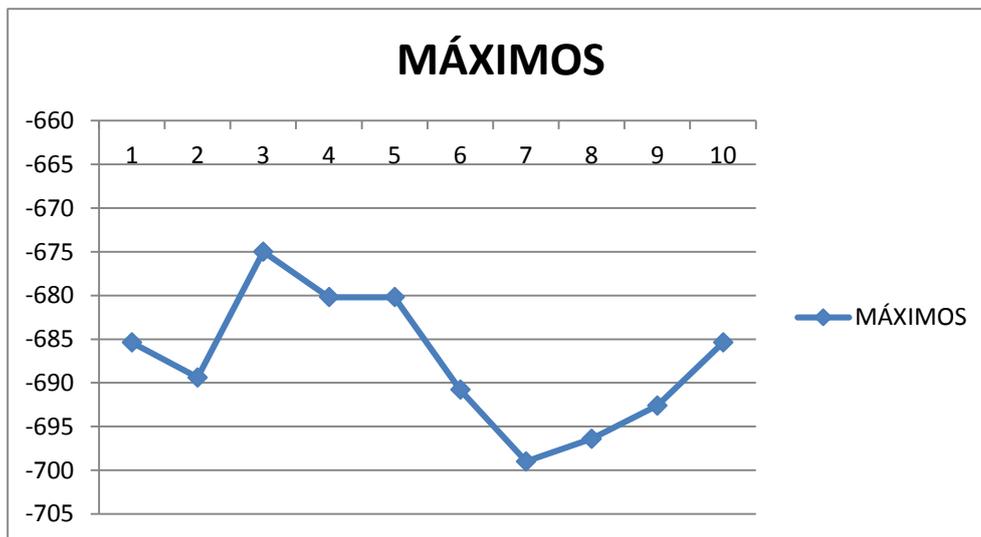
Tenemos una importante variabilidad en los resultados, de ahí y por los motivos que he comentado anteriormente calculamos la media.



Gráfica 30- Ensayos conjuntos Ø30 mm punzón plano PE-MD10

Rotura

-685,4	-689,4	-675	-680,2	-680,2	-690,8	-699	-696,4	-692,6	-685,4
kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf

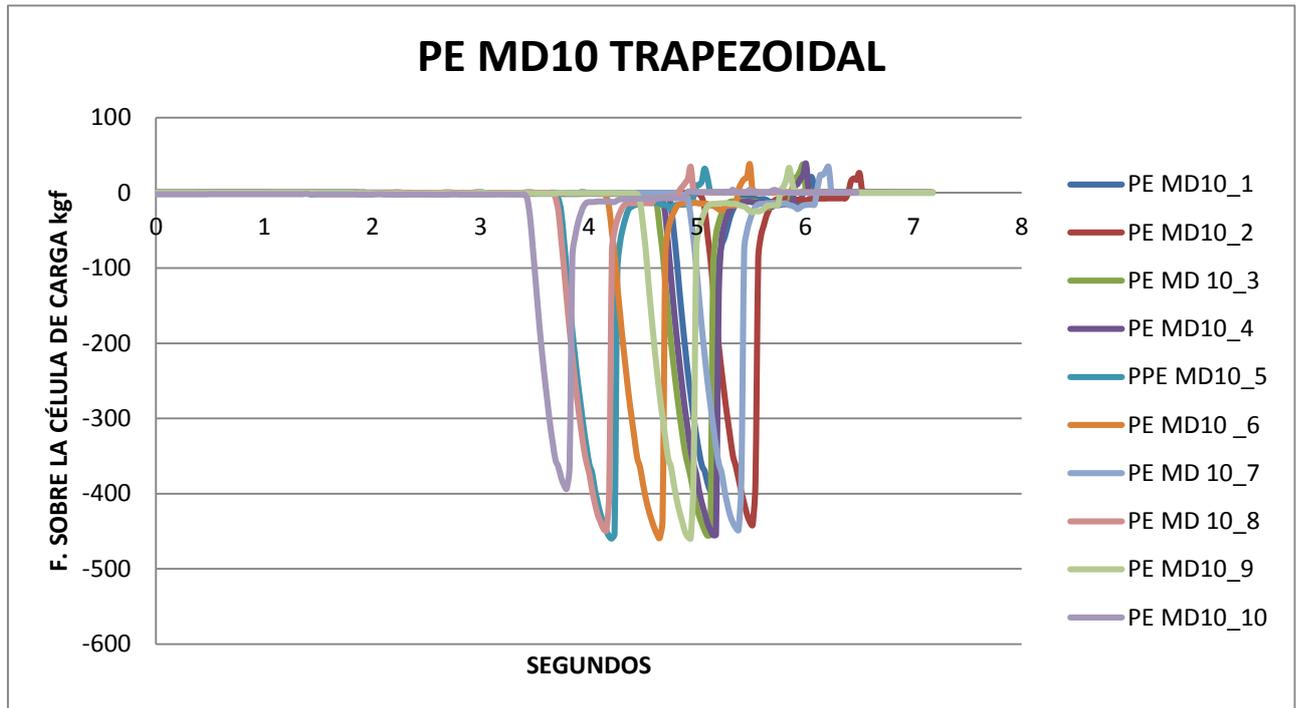


Gráfica 31- Ensayos conjuntos Ø30 mm punzón plano PE MD10

MEDIA

-687,44 ± 4,8 kgf

PE MD10- D30 TRAPEZOIDAL

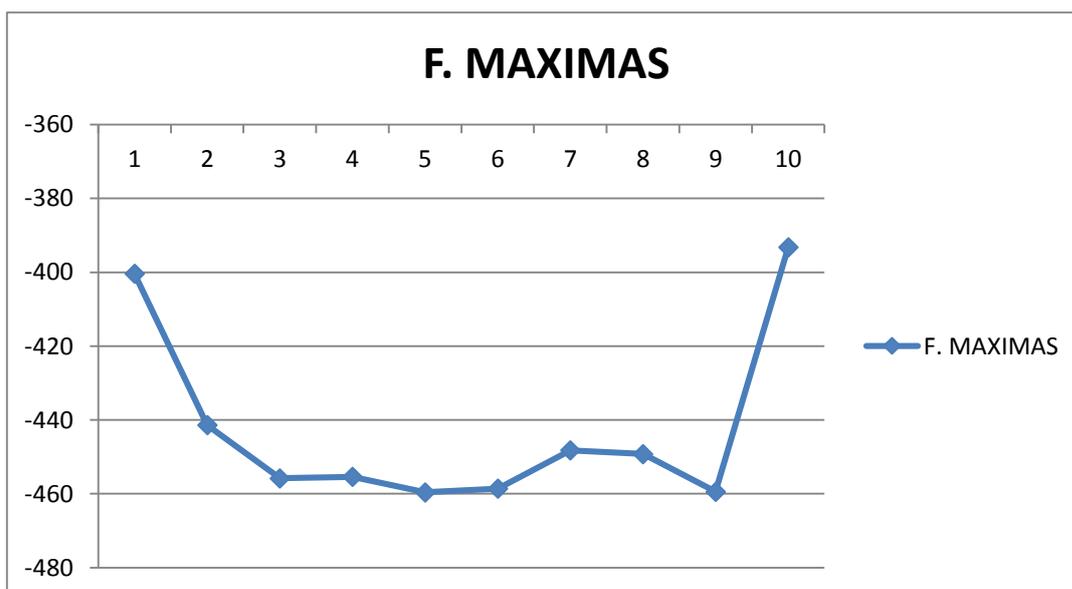


Gráfica 32- Ensayos conjuntos Ø30 mm punzón trapezoidal PE-MD10

ROTURA

-400,4	-441,4	-455,8	-455,4	-459,6	-458,6	-448,2	-449,2	-459,4	-393,2
kgf									

PP-EPDM-TD10_D30 TRAPEZOIDAL

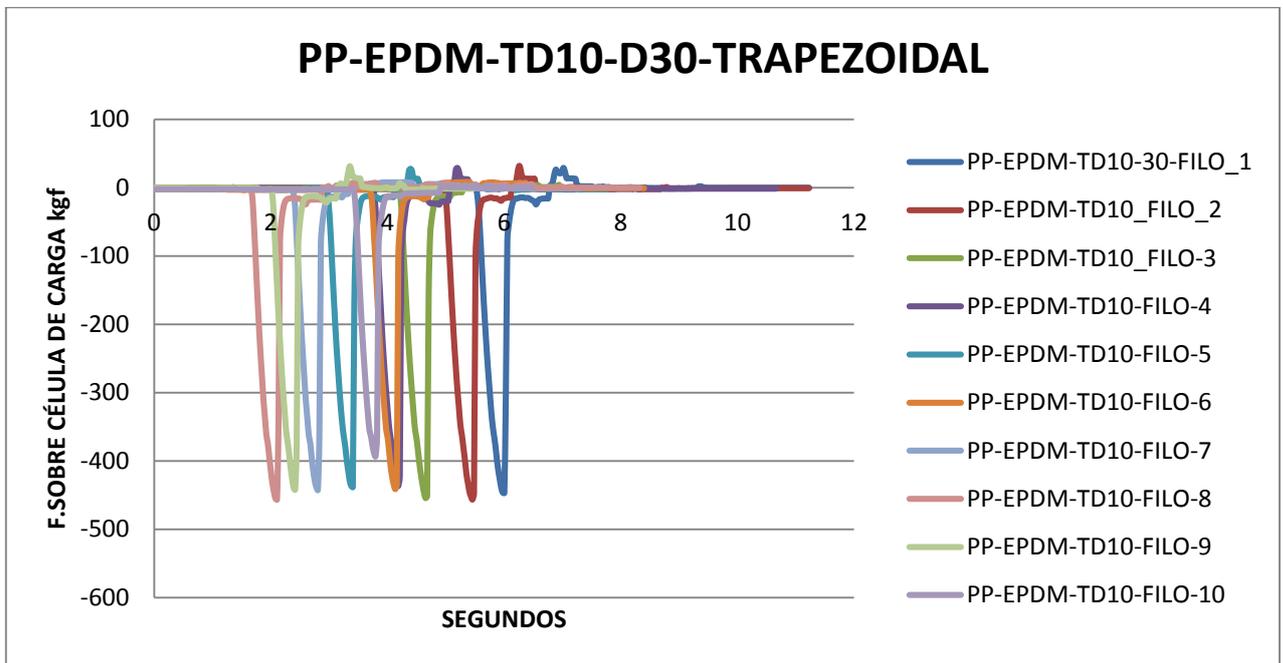


Gráfica 33- Fuerzas máximas Ø30 mm punzón plano PP-EPDM-TD10

MEDIA

-442,1 ± 15,6 kgf

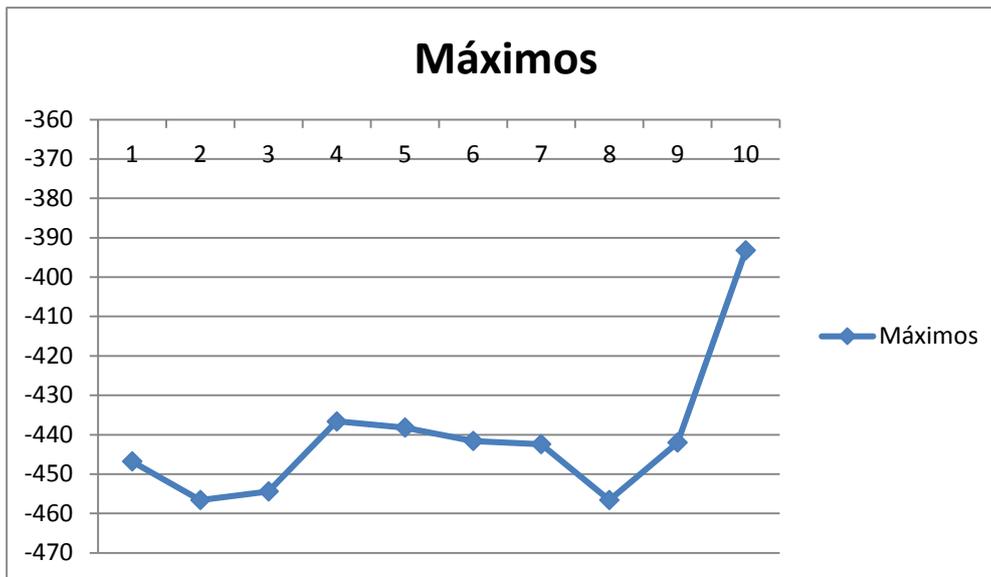
Podemos observar claramente que con el punzón trapezoidal, estamos realizando mucha menos fuerza que con los punzones plano e inclinado. Empíricamente vemos que entrar a punzonar sobre dos zonas diferentes con una inclinación (se podría considerar como un punzón con doble inclinación) nos beneficia a la hora de conseguir un corte progresivo y con de fuerza menor.



Gráfica 34- Ensayos conjuntos Ø30 mm punzón trapezoidal PP-EPDM-TD10

Rotura

-446,8	-456,6	-454,4	-436,6	-438,2	-441,6	-442,4	-456,6	-442
kgf	kgf							



Gráfica 35- Máximos Ø30 mm punzón plano PP-EPDM-TD10

media

$-440,8 \pm 5,2 \text{ kgf}$

RESUMEN RESULTADOS

Medias: PUNZONADO

Diámetro 18,9mm

PUNZÓN PLANO

PP-EPDM-TD10 → $411,2 \pm 5,9 \text{ kgf}$

PE MD10 → $487,2 \pm 6,7 \text{ kgf}$

PUNZÓN INCLINADO

PP-EPDM-TD10 → $169,8 \pm 3,8 \text{ kgf}$

PE MD10 → $197,3 \pm 3,8 \text{ kgf}$

ABS → $388,7 \pm 21,7 \text{ kgf}$

Diámetro 30 mm

PUNZÓN PLANO

PP-EPDM-TD10 → $640,6 \pm 11,3 \text{ kgf}$

PE MD10 → $687,4 \pm 4,8 \text{ kgf}$

PUNZÓN TRAPEZOIDAL

PP-EPDM-TD10 → $446,1 \pm 5 \text{ kgf}$

PE MD10 → $442,1 \pm 15,6 \text{ kgf}$

P/E-TM10

2,8 kgf/mm²

PP-EPDM-TD10

2,4 kgf/mm²

RESUMEN RESULTADOS

Medias: EXTRACCIÓN

Diámetro 18,9mm

PUNZÓN PLANO

PP-EPDM-TD10 → $28,9 \pm 0,9 \text{ kgf}$

PE MD10 → $30,3 \pm 1,7 \text{ kgf}$

PUNZÓN INCLINADO

PP-EPDM-TD10 → $24,6 \pm 3,1 \text{ kgf}$

PE MD10 → $22,2 \pm 1,3 \text{ kgf}$

ABS → $54,5 \pm 6,9 \text{ kgf}$

5 Conclusiones

El objetivo de este estudio era obtener unos valores de resistencia del material que se correspondieran más con la experiencia que se observaba. Empíricamente, hemos obtenido unos valores de fuerza de rotura a compresión para los polímeros más usuales en el ámbito automovilístico.

Uno de los objetivos intrínsecos del estudio, era observar el comportamiento de los polímeros frente al proceso de punzonado. Es conocido que el punzonado se observa como un proceso con un escaso valor añadido, pero con bastante utilidad, por lo que en la mayor parte de los casos no se observa un cálculo ajustado de los parámetros que rodean el proceso, es un proceso que por lo habitual se tiende a sobredimensionar los actuadores y a no centrarse en un estudio.

Por lo que inicialmente hemos observado la evolución de las fuerzas en función del tiempo en un proceso de punzonado en plástico, y no en chapa metálica. Hemos podido observar las diferencias en las gráficas obtenidas entre los diferentes punzones. Vemos como el cómo apliquemos la fuerza es francamente relevante para el proceso, y vemos que aplicando una fuerza con un cierto ángulo evitamos entre otras cosas una contracción del plástico en el punzón y no es necesario aplicar tanta fuerza.

Experimentalmente el valor promedio obtenido ha sido

P/E-TM10	2,8 kgf/mm ²
PP-EPDM-TD10	2,4 kgf/mm ²

Que contrastan con el 2 kgf/mm² y 3,3 kgfmm², que eran los valores aproximados proporcionados por los proveedores. Por tanto hemos obtenido unos valores a compresión que nos orientan de una forma más ajustada que las tablas aportadas por los proveedores. Hemos obtenido unas fuerzas con las que poder tener una idea empírica de los valores que manejarán posteriormente en las máquinas para el diámetro usual que es 18'9mm y bajo las condiciones de estudio de qué orden son los números con los que tratamos.

Lamentablemente con nuestra célula de carga no hemos podido acotar el valor promedio de resistencia del ABS, pero si hemos podido calcular la fuerza necesaria para punzones inclinados. Comentar que normalmente este material se utiliza en rejillas principalmente, por lo que encontrar un proceso de punzonado para la soldadura o adhesivado de soportes es francamente difícil, ya que carece de sentido colocar un captador en la zona más resistente del parachoques.

Se ha obtenido además un valor bastante relevante mediante los estudios de extracción de los pisadores, el cual está directamente relacionado con el muelle y con el tipo de muelle que se utilizaría para el mismo. Este punto es de especial relevancia para el cliente debido a que no podemos marcar la pieza. En un cálculo muy alejado el muelle ejercería demasiada fuerza y no se podría punzonar adecuadamente y además marcaríamos la pieza. Si por otro lado, no alcanzamos este valor realizaríamos el punzonado correctamente pero el parachoques quedaría incrustado en el punzón, ya que la reacción del muelle no iguala la fuerza que necesita realizar para desencajarlo.

Hemos observado la variación de las fuerzas anteriormente mencionadas frente a un diámetro de 30mm en el agujero, y cómo evolucionan las gráficas para este diámetro en concreto.

La conclusión es que hemos conseguido obtener unos valores del proceso de punzonado en los materiales más utilizados por la empresa que nos proporcionan un mayor conocimiento del comportamiento de los mismos y han sido aportados con sus respectivas incertidumbres expandidas de medida, en las cuales se observa principalmente una gran aporte de la incertidumbre de repetitividad a la incertidumbre expandida total.

En cuanto a las incertidumbres obtenidas, decir que es bastante coherente que la variable de repetitividad de nuestro proceso tenga tanto peso sobre la incertidumbre expandida, debido a la propia variabilidad del proceso, al igual que cabría destacar la baja aportación a la incertidumbre del instrumento, cuyo certificado de calibración aporta un valor ciertamente bajo.



Imagen 32. PP-EPDM-TD10. Proingesa

6 LÍNEAS FUTURAS

Como continuación a este proyecto se podría ajustar más los valores, conociendo los valores a compresión de los materiales a trabajar. Para ello, habría que realizar un ensayo a compresión de los mismos y obtener el módulo elástico a compresión, conocer en profundidad todas las etapas del proceso de punzonado sobre materiales plásticos llevaría a tener que utilizar menos factores de seguridad y ello supondría un ahorro.

Sería francamente útil realizar un estudio teórico del proceso completo de punzonado en polímeros, observar el alcance de cada etapa señalada anteriormente en las gráficas de valores individuales de los mismos, un estudio similar al observado en chapa metálica.

Otra iniciativa sería estudiar individualmente cada variable que actúa en el proceso y observar su sinergia con el resto, pese a que ciertamente la más importante y por tanto la que más peso tiene es el juego de corte, las demás variables afectan sobre este proceso.

Un estudio interesante sería también cómo afectaría el calor al proceso de punzonado, ya que en la empresa normalmente se pueden observar estos procesos de calentamiento o preparación del material para el corte, para disminuir mucho más la fuerza necesaria a aplicar, ya que no suelen ser cortes circulares, sino rectangulares con unas áreas importantes. Este proceso es bastante complejo debido a que hay muchos parámetros a controlar, normalmente son cortes en zonas curvas, en los que hay que realizar un precalentamiento.

En este punto en concreto en el que sería necesario considerar un proceso exhaustivo para unas determinadas condiciones de temperatura. Un estudio de cómo afecta el calor en los polímeros puede encontrarse en el siguiente artículo: [Nagarajan, P., Yao, D., Ellis, T. S., & Azadegan, R. (2007). Through-thickness embossing process for fabrication of three-dimensional thermoplastic parts. *Polymer Engineering & Science*, 47(12), 2075-2084.]

Como en la mayoría de los estudios que se dan en la actualidad, lo más lógico sería que analizáramos modelando el sistema en elementos finitos y ajustando los valores de la malla observáramos cómo evoluciona el sistema.

En el final de los anexos podemos observar un estudio que también era bastante relevante para la empresa que he incluido a modo informativo del porcentaje de retracción que sufre el plástico al punzonar. Este estudio es francamente interesante y se realiza para ver cuál es el diámetro real al que punzamos, digo que es bastante interesante porque cada vez las exigencias del cliente son mayores, ya que exige tolerancias de 0,5 mm por lo que es un parámetro a estudiar.

No hay que olvidar que todos estos estudios se han realizado sobre un punzón y normalmente en la industria, se utilizan varios punzones simultáneamente por lo que para ser plenamente riguroso en mi estudio tendríamos que ver el comportamiento en conjunto y las iteraciones que pudiera sufrir el material ya sea porque un punzón actúe un instante antes y las reacciones ya no sean homogéneas.

El punzonado es un proceso de corte bastante económico y muy funcional para determinados aspectos industriales, la evolución del mismo estará siempre ligada a la evolución de la industria, pero pese a ser un proceso aparentemente sencillo, esconde muchas variables y dependencias por lo que siempre se ha considerado que el estudio del mismo tiene que tener un enfoque claramente experimental.



Imagen 33. Proingesa PE-MD10

7 Bibliografía

Libros:

- Arlie, J. P. (1990). *Commodity Thermoplastics: Technical and Economic Characteristics*. Editions Technip.
- Colorado Rodríguez, J. (2008). Análisis de las características de los modelos de material recomendados para la simulación de procesos de embutición de chapa de acero.
- Harper, C. A. (1975). *Handbook of plastics and elastomers*. McGraw-Hill.
- Mateos, S. et al. (2000). *Punzonado de la chapa*. Universidad de Oviedo.
- McDaniel, M. P. (2008). Review of the Phillips Chromium Catalyst for Ethylene Polymerization. *Handbook of Heterogeneous Catalysis*.
- Nee, J. G., Dufraigne, W., Evans, J. W., & Hill, M. (2010). *Fundamentals of tool design*. Society of Manufacturing Engineers.
- Nicholson, J. W. (2006). *The Chemistry of Polymers, University of Greenwich*(Vol. 4). ISBN 0-85404-684
- Oehler, G., & Kaiser, F. (1977). *Herramientas de troquelar, estampar y embutir*. Editorial Gustavo Gili.
- Troughton, M. J. (2008). *Handbook of plastics joining: a practical guide*. William Andrew.
- FLORIT, A. (2015). *Fundamentos de matricería: corte y punzonado*. CEAC, 2005.
- Garcia-Romeu, M. L. (2005). *Contribución al estudio del proceso de doblado al aire de chapa. Modelo de predicción del ángulo de recuperación y del radio de doblado final*. Universitat de Girona.

Artículos:

- Adhikary, K. B., Pang, S., & Staiger, M. P. (2008). Dimensional stability and mechanical behaviour of wood–plastic composites based on recycled and virgin high-density polyethylene (HDPE). *Composites Part B: Engineering*,39(5), 807-815.
- Arroyo, M., Zitzumbo, R., & Avalos, F. (2000). Composites based on PP/EPDM blends and aramid short fibres. Morphology/behaviour relationship. *Polymer*, 41(16), 6351-6359.
- BIRON, M. (1998). Propriétés des thermoplastiques: Tableaux comparatifs. *Techniques de l'ingénieur. Plastiques et composites*, 2(AM3306), AM3306-1.
- González, E. C., Muñoz, D. L., Álvarez, B. J. Á., Díaz, S. M., & Fernández, D. B. (2010). Aplicación integrada para el cálculo de esfuerzos en punzonado de

chapa. *Deformación metálica: Técnicas de fabricación, acabado y transformación del fleje, chapa, tubos y alambre*, 36(314), 8-17.

- Majumdar, B., Keskkula, H., & Paul, D. R. (1994). Mechanical properties and morphology of nylon-6/acrylonitrile-butadiene-styrene blends compatibilized with imidized acrylic polymers. *Polymer*, 35(25), 5453-5467.

Material consultado en internet

- Universidad de Oviedo. Lección 5 plásticos rigidez y diseño.
 - <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion5.PLASTICOS.Rigidez.Dis e%F1o.pdf> Recuperado el 04 de Abril de 2016
 - <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion8.PLASTICOS.MateriasPr imas.pdf> Recuperado 22 de Marzo de 2016
- Universidad de Valladolid. Polímeros
 - <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso07-08/pp/Polimeros.htm#concep> Recuperado el 12 de Marzo de 2016
- Universidad del País Vasco. Tema 10 Herramientas de corte.
 - http://www.ehu.es/manufacturing/docencia/727_ca.pdf Recuperado el 21 de Febrero de 2016

Material Fotográfico internet y consulta (Recuperadas Marzo 2016)

<http://www.proquibasa.com/industrias-2/polimeros/>

<http://www.losadhesivos.com/IMAGENES/polimero.gif>

<http://www.plastico.com/temas/Firman-convenio-para-promover-capacitacion-en-polimeros-en-Guanajuato+102356>

<http://fisica.universidadlaboralab.es/wordpress/wp-content/uploads/2011/05/polimeros.pdf>

http://materiales-procesos.blogspot.com.es/2014/08/polimeros_79.html

<http://www.quimicayalgomas.com/quimica-organica/hidrocarburos/propiedades-del-caucho-vulcanizacion/>

<http://www.tkno.mx/informacion-general/hule-o-caucho-polimero-natural>

http://www.kingfa.com.cn/siteen/cpml/67/list_1702.html

<http://bosite.eu/spoiwa.html>

http://ies.almudena.madrid.educa.madrid.org/dpto_tecnologia/TI.I_distancia/T8_plasticos_otros.materiales.pdf

<http://polymertradingusa.com/es/ventas-mundiales/>

<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.es/2011/06/abs.html>

<http://www.instalacionesyproyectosplasticos.es/polipropileno-alveolar-y-compacto-bencore/>

<https://es.wikipedia.org/wiki/Polipropileno>

<http://www.ieslaaldea.com/documentos/tecnologia/terceroesotema1.pdf>

<http://www.iestiemposmodernos.com/depart/dtec/Recursos/materiales.pdf>

<https://tecnoclara.wikispaces.com/file/view/3%C2%BA+ESO+Materiales+PI%C3%A1sticos.pdf>

http://www.tecnosefarad.com/wp-content/archivos/bach_1/materiales/plasticos_apuntes.pdf

8 Anexos

Tablas de valores obtenidos, reducidos a la zona en la que hemos centrado nuestro estudio.

8.2 PE-MD10

Ø18,9 mm punzón plano.

Ensayo 1

2,808	-38,4	3,328	-77,2	3,952	-200,2
2,834	-96,2	3,354	-74,6	3,978	-199,8
2,86	-158,2	3,38	-73,4	4,004	-199,6
2,886	-210,2	3,406	-72	4,03	-199,6
2,912	-257,2	3,432	-66,4	4,056	-199,4
2,938	-296,4	3,458	-63,2	4,082	-93
2,964	-334,2	3,484	-60,4	4,108	2,8
2,99	-355,4	3,51	-59	4,134	1,6
3,016	-384,8	3,536	-57,6	4,16	13,2
3,042	-408,8	3,562	-58,2	4,186	34,2
3,068	-428,8	3,588	-57,8	4,212	29
3,094	-445,6	3,614	-59	4,238	1,4
3,12	-460	3,64	-55	4,264	1,2
3,146	-122,6	3,666	-51,4	4,29	-0,2
3,172	-89,8	3,692	-49,6	4,316	-0,2
3,198	-81,4	3,718	-54,4	4,342	-0,2
3,224	-88,8	3,744	-80,4	4,368	-0,2
3,25	-87,4	3,77	-150,6	4,394	0
3,276	-83,8	3,796	-204	4,42	0
3,302	-80,6	3,822	-202,4	4,446	0
3,328	-77,2	3,848	-201,4		
3,354	-74,6	3,874	-201		
3,38	-73,4	3,9	-200,4		
3,406	-72	3,926	-200,4		

Ensayo 2

1,82	-0,6	2,288	-88,2	2,756	-20,4
1,846	-8,8	2,314	-95,2	2,782	1,6
1,872	-41	2,34	-90,8	2,808	2,8
1,898	-107,6	2,366	-89,4	2,834	2,4
1,924	-166,8	2,392	-87,6	2,86	16
1,95	-220	2,418	-85,4	2,886	25,6
1,976	-267	2,444	-84,4	2,912	1,6
2,002	-306,2	2,47	-85	2,938	1,4
2,028	-344,6	2,496	-83,2	2,964	0,2
2,054	-367	2,522	-80,2	2,99	0,2
2,08	-397,6	2,548	-79,2	3,016	0,2
2,106	-421,2	2,574	-78	3,042	0,2
2,132	-441,6	2,6	-42,2	3,068	0
2,158	-456,6	2,626	-32	3,094	0
2,184	-473,2	2,652	-27,4	3,12	0
2,21	-480,4	2,678	-24,6	3,146	0
2,236	-100,4	2,704	-22,6	3,172	0
2,262	-87,2	2,73	-21,2	3,198	0

Ensayo 3

1,586	-0,8	2,028	-100,8	2,47	-20,4
1,612	-2	2,054	-95,6	2,496	-19,6
1,638	-17,2	2,08	-95,2	2,522	-18,8
1,664	-57,4	2,106	-94	2,548	-18,2
1,69	-124,4	2,132	-92,4	2,574	5,4
1,716	-183,4	2,158	-89,6	2,6	2,6
1,742	-235	2,184	-86,4	2,626	2,4
1,768	-278,8	2,21	-84	2,652	27,2
1,794	-318,2	2,236	-83,8	2,678	25,2
1,82	-349,6	2,262	-82	2,704	1,6
1,846	-376,6	2,288	-77,6	2,73	1,4
1,872	-404,2	2,314	-75,4	2,756	0,2
1,898	-426,2	2,34	-41,8	2,782	0,2
1,924	-444,4	2,366	-30,4	2,808	0,2
1,95	-459,4	2,392	-25,8	2,834	0
1,976	-473,6	2,418	-23	2,86	0
2,002	-110	2,444	-21,2		

Ensayo 4

1,456	-1,2	1,898	-321,2	2,34	-81,6
1,482	-0,6	1,924	-347,8	2,366	-78,6
1,508	-0,4	1,95	-379,2	2,392	-45
1,534	-0,6	1,976	-406	2,418	-30,4
1,56	-0,6	2,002	-428,2	2,444	-25
1,586	-0,6	2,028	-445,4	2,47	-22,2
1,612	-0,8	2,054	-461,4	2,496	5,4
1,638	-0,8	2,08	-473	2,522	2,4
1,664	-0,8	2,106	-99,8	2,548	2,4
1,69	-0,8	2,132	-85,2	2,574	30,2
1,716	-0,8	2,158	-84,6	2,6	28,4
1,742	-18,6	2,184	-87,8	2,626	1,6
1,768	-60	2,21	-86,4	2,652	1,4
1,794	-129,4	2,236	-86,2	2,678	0,2
1,82	-187,4	2,262	-85,6	2,704	0,2
1,846	-238,4	2,288	-83,8	2,73	0,2
1,872	-282,2	2,314	-82,2	2,756	0

Ensayo 5

1,144	-0,8	1,664	-0,8	2,184	-93,4
1,17	-0,8	1,69	-0,8	2,21	-91,4
1,196	-0,8	1,716	-17	2,236	-89,8
1,222	-0,8	1,742	-60,6	2,262	-87,8
1,248	-0,8	1,768	-129,8	2,288	-85,8
1,274	-0,8	1,794	-189,8	2,314	-85,2
1,3	-0,8	1,82	-240,6	2,34	-84
1,326	-0,8	1,846	-283,8	2,366	-76,4
1,352	-1	1,872	-324,4	2,392	-37,2
1,378	-1	1,898	-350	2,418	-29,4
1,404	-1	1,924	-380,8	2,444	-25,2
1,43	-1	1,95	-408,6	2,47	-22,8
1,456	-0,6	1,976	-431,2	2,496	4
1,482	-0,4	2,002	-448,8	2,522	2,4
1,508	-0,4	2,028	-464,2	2,548	2,4
1,534	-0,6	2,054	-478	2,574	29,8
1,56	-0,6	2,08	-108,4	2,6	1,6
1,586	-0,8	2,106	-92,6	2,626	1,4
1,612	-0,8	2,132	-91,4	2,652	0
1,638	-0,8	2,158	-95,2	2,678	0

Ensayo 6

1,326	-1	1,846	-382,6	2,366	-28,8
1,352	-1	1,872	-409,4	2,392	-26
1,378	-0,4	1,898	-431,8	2,418	3,8
1,404	-0,4	1,924	-451	2,444	2,2
1,43	-0,8	1,95	-467,4	2,47	2,4
1,456	-0,8	1,976	-480,6	2,496	31,8
1,482	-0,8	2,002	-115,4	2,522	27,4
1,508	-0,8	2,028	-89,2	2,548	1,6
1,534	-0,8	2,054	-86,4	2,574	1,4
1,56	-0,8	2,08	-98	2,6	0,2
1,586	-0,8	2,106	-95,4	2,626	0,2
1,612	-0,6	2,132	-92,4	2,652	0,2
1,638	-15,2	2,158	-88,8	2,678	0
1,664	-61,4	2,184	-85,4	2,704	0
1,69	-130,8	2,21	-83,4	2,73	0
1,716	-189,2	2,236	-83,2	2,756	0
1,742	-239,6	2,262	-81,6	2,782	0
1,768	-283,6	2,288	-77,4	2,808	0
1,794	-324,8	2,314	-43,2	2,834	0
1,82	-350	2,34	-33	2,86	0
1,846	-382,6	2,366	-28,8	2,886	0

Ensayo 7

1,326	-0,8	1,898	-310,4	2,47	-80,8
1,352	-1	1,924	-344,6	2,496	-52
1,378	-1	1,95	-372,4	2,522	-35,4
1,404	-1	1,976	-401,8	2,548	-29,8
1,43	-1,2	2,002	-424,4	2,574	-26,4
1,456	-1,2	2,028	-444,4	2,6	-24,2
1,482	-0,8	2,054	-461,2	2,626	-22,4
1,508	-0,6	2,08	-478,8	2,652	5,2
1,534	-0,6	2,106	-298,6	2,678	2,8
1,56	-1	2,132	-96,8	2,704	2,4
1,586	-1	2,158	-90,4	2,73	29,2
1,612	-1	2,184	-92,6	2,756	26,6
1,638	-1	2,21	-97,2	2,782	1,6
1,664	-1	2,236	-95,2	2,808	1,4
1,69	-1	2,262	-93	2,834	0
1,716	-0,8	2,288	-89,8	2,86	0,2
1,742	-8,6	2,314	-87,4	2,886	0,2
1,768	-44,8	2,34	-87,4	2,912	0,2
1,794	-108,6	2,366	-87,2	2,938	0
1,82	-170,8	2,392	-84,4	2,964	0
1,846	-224,2	2,418	-82,4	2,99	0
1,872	-270,8	2,444	-80,8	3,016	0

Ensayo 8

1,196	-0,6	1,846	-0,8	2,496	-65,2
1,222	-0,4	1,872	-0,8	2,522	-64,4
1,248	-1	1,898	-0,8	2,548	-64,2
1,274	-1	1,924	-1,6	2,574	-61,4
1,3	-1	1,95	-19,6	2,6	-59,8
1,326	-1	1,976	-68,4	2,626	-57,6
1,352	-1	2,002	-137	2,652	-56,2
1,378	-0,8	2,028	-194,8	2,678	-54,8
1,404	-0,8	2,054	-245,2	2,704	-53,2
1,43	-0,8	2,08	-287,8	2,73	-54,4
1,456	-0,8	2,106	-326,4	2,756	-41,6
1,482	-0,8	2,132	-352	2,782	-29
1,508	-0,8	2,158	-384,8	2,808	-25,6
1,534	-0,8	2,184	-412	2,834	-23,6
1,56	-1	2,21	-433,2	2,86	3,6
1,586	-1	2,236	-452	2,886	2
1,612	-1	2,262	-465,6	2,912	3
1,638	-1	2,288	-478,4	2,938	31,2
1,664	-1	2,314	-110	2,964	28,4
1,69	-0,6	2,34	-85,2	2,99	1,6
1,716	-0,4	2,366	-79,4	3,016	1,4
1,742	-0,8	2,392	-75,4	3,042	0
1,768	-1	2,418	-72,6	3,068	0,2
1,794	-0,8	2,444	-70,4	3,094	0,2
1,82	-0,8	2,47	-67,8	3,12	0

Ensayo 9

1,456	-1,2	2,106	-101,6	2,756	0,2
1,482	-0,6	2,132	-88,8	2,782	0
1,508	-0,4	2,158	-88,4	2,808	0
1,534	-1	2,184	-93	2,834	0
1,56	-0,8	2,21	-91	2,86	0
1,586	-0,8	2,236	-88,8	2,886	0
1,612	-0,8	2,262	-85,2	2,912	0
1,638	-1	2,288	-80,8	2,938	0
1,664	-0,8	2,314	-79	2,964	0
1,69	-0,8	2,34	-79,2	2,99	0
1,716	-1,6	2,366	-76,8	3,016	0
1,742	-26,4	2,392	-48,2	3,042	0
1,768	-83,4	2,418	-32	3,068	0
1,794	-150,6	2,444	-27	3,094	0
1,82	-206,2	2,47	-24,2	3,12	0
1,846	-256	2,496	-22,4	3,146	0
1,872	-296,8	2,522	4		
1,898	-337,4	2,548	2,4		
1,924	-361,8	2,574	2,4		
1,95	-392,6	2,6	26		
1,976	-419,6	2,626	1,6		
2,002	-441	2,652	1,4		
2,028	-457,2	2,678	0,2		
2,054	-474,4	2,704	0,2		
2,08	-485,2	2,73	0,2		

Ensayo 10

1,352	-1,2	1,82	-344,6	2,288	-55,6
1,378	-1,2	1,846	-377,6	2,314	-33,8
1,404	-0,4	1,872	-405,4	2,34	-27,6
1,43	-0,6	1,898	-431,6	2,366	-24,2
1,456	-1	1,924	-450,8	2,392	-21,8
1,482	-1	1,95	-468,2	2,418	-20,6
1,508	-1	1,976	-485	2,444	4,4
1,534	-1	2,002	-494,4	2,47	2,2
1,56	-0,8	2,028	-104	2,496	1,8
1,586	-0,8	2,054	-90,8	2,522	29,6
1,612	-0,8	2,08	-91,4	2,548	9,2
1,638	-12	2,106	-94,2	2,574	1,4
1,664	-51,4	2,132	-92,8	2,6	1,4
1,69	-112,6	2,158	-90,2	2,626	0
1,716	-174	2,184	-87	2,652	0
1,742	-228,8	2,21	-84,2	2,678	0
1,768	-274	2,236	-83,2	2,704	0
1,794	-316	2,262	-82,8	2,73	0

PUNZÓN PLANO

Ensayo 1

4,186	-190,8	4,94	-35,2	5,72	1
4,212	-237,8	4,966	-35,2	5,746	1
4,238	-283,8	4,992	-34,2	5,772	1
4,264	-324,6	5,018	-35,2	5,798	1
4,29	-353,4	5,044	-36,2	5,824	1
4,316	-386,4	5,07	-36,8	5,85	1
4,342	-420	5,096	-38,2	5,876	1
4,368	-445,6	5,122	-37,8	5,902	1
4,394	-467	5,148	-38,6	5,928	1
4,42	-487,2	5,174	-39,2	5,954	1
4,446	-507,6	5,2	-40	5,98	1
4,472	-522,2	5,226	-40,6	6,006	1
4,498	-536,2	5,252	-41,2	6,032	1
4,524	-550,2	5,278	-42,4	6,058	1
4,55	-559,8	5,304	-43,4	6,084	1
4,576	-571,6	5,33	-44	6,11	1
4,602	-581,6	5,356	-36,2	6,136	1
4,628	-590	5,382	-35,4	6,162	1
4,654	-597,4	5,408	-34,6	6,188	1
4,68	-606	5,434	-34,4	6,214	1
4,706	-609	5,46	-34		

Ensayo 2

5,304	0	5,928	-590,8	6,552	-34,6
5,33	0	5,954	-600	6,578	-35,6
5,356	-0,4	5,98	-606,2	6,604	-35,6
5,382	-21,6	6,006	-609,4	6,63	-36,2
5,408	-67	6,032	-609,6	6,656	-28,4
5,434	-124,2	6,058	-175,4	6,682	-28,2
5,46	-175	6,084	-151,4	6,708	-28
5,486	-223,6	6,11	-117	6,734	-27,6
5,512	-269,6	6,136	-72,2	6,76	-27,6
5,538	-310,8	6,162	-52,4	6,786	-27,4
5,564	-346	6,188	-46,6	6,812	-27,4
5,59	-370,8	6,214	-41,8	6,838	-27,4
5,616	-403,8	6,24	-38,6	6,864	7,4
5,642	-432	6,266	-37,4	6,89	17
5,668	-454,6	6,292	-35,6	6,916	26,2
5,694	-477,2	6,318	-34,6	6,942	30,8
5,72	-496,2	6,344	-35,8	6,968	2,2
5,746	-513,8	6,37	-35,6	6,994	2,2
5,772	-526,4	6,396	-35,8	7,02	-0,2
5,798	-539,4	6,422	-36,6	7,046	1
5,824	-555,4	6,448	-36	7,072	1
5,85	-564,6	6,474	-35,8	7,098	1
5,876	-575,2	6,5	-35,4		
5,902	-584	6,526	-34,8		

Ensayo 3

3,874	0	4,498	-578,4	5,122	-31,8
3,9	0	4,524	-589,6	5,148	-31,6
3,926	0	4,55	-598,8	5,174	-31,6
3,952	-0,6	4,576	-606,2	5,2	-31,6
3,978	-3,6	4,602	-614,6	5,226	-33
4,004	-33,6	4,628	-623,2	5,252	-29
4,03	-87,6	4,654	-632,4	5,278	-24,8
4,056	-142,8	4,68	-637,2	5,304	-24,6
4,082	-196,6	4,706	-642,8	5,33	-24,4
4,108	-240,4	4,732	-89,2	5,356	-23,8
4,134	-283,2	4,758	-39,2	5,382	-23,8
4,16	-323	4,784	-29,6	5,408	-23,8
4,186	-352	4,81	-28,8	5,434	-23,8
4,212	-382,4	4,836	-27,2	5,46	5,6
4,238	-415	4,862	-27	5,486	8
4,264	-441,6	4,888	-25,6	5,512	19,2
4,29	-463	4,914	-24,6	5,538	33,8
4,316	-484,4	4,94	-24,2	5,564	8,6
4,342	-503,6	4,966	-26,2	5,59	1
4,368	-518,6	4,992	-27,4	5,616	1
4,394	-533	5,018	-28,2		
4,42	-546	5,044	-29,6		
4,446	-558,8	5,07	-30,4		
4,472	-570,8	5,096	-31,6		

Ensayo 4

3,042	0	3,926	-27	4,81	1
3,068	0	3,952	-27	4,836	1
3,094	0,2	3,978	-27,2	4,862	1
3,12	-12,2	4,004	-25,4	4,888	1
3,146	-56,4	4,03	-26,6	4,914	1
3,172	-114,6	4,056	-28,6	4,94	1
3,198	-170,2	4,082	-29	4,966	1
3,224	-221,8	4,108	-29,6	4,992	1
3,25	-268,6	4,134	-31	5,018	1
3,276	-308,8	4,16	-30,8	5,044	1
3,302	-349,8	4,186	-31,2	5,07	1
3,328	-372	4,212	-24	5,096	1
3,354	-406,4	4,238	-20,4	5,122	1
3,38	-434,8	4,264	-20	5,148	1
3,406	-459,8	4,29	-19,6	5,174	1
3,432	-480,6	4,316	-19,4	5,2	1
3,458	-501	4,342	-15,4	5,226	1
3,484	-515,2	4,368	8,4	5,252	0,8
3,51	-531,2	4,394	14,8	5,278	0,8
3,536	-544	4,42	22,6	5,304	0,8
3,562	-556,8	4,446	30,8	5,33	0,8
3,588	-566,4	4,472	2,4	5,356	0,8
3,614	-578	4,498	2,2	5,382	0,8
3,64	-587,4	4,524	1,2	5,408	0,8
3,666	-595	4,55	1	5,434	0,8
3,692	-604,6	4,576	1	5,46	0,8
3,718	-615	4,602	1	5,486	0,8
3,744	-623,2	4,628	1	5,512	0,8
3,77	-630,6	4,654	1	5,538	0,8
3,796	-636	4,68	1	5,564	0,8
3,822	-76	4,706	1	5,59	0,8
3,848	-32,4	4,732	1	5,616	0,8
3,874	-29,2	4,758	1	5,642	0,8
3,9	-27	4,784	1		

Ensayo 5

4,03	0	4,68	-537	5,33	-32
4,056	0	4,706	-549,2	5,356	-32
4,082	0	4,732	-560,6	5,382	-32,6
4,108	0,4	4,758	-572,4	5,408	-33,2
4,134	0,4	4,784	-580,4	5,434	-33
4,16	0,2	4,81	-590,8	5,46	-33
4,186	0	4,836	-600	5,486	-33,6
4,212	0	4,862	-608,6	5,512	-35,2
4,238	0	4,888	-618,2	5,538	-36,4
4,264	-3,8	4,914	-628,2	5,564	-27
4,29	-33,2	4,94	-637	5,59	-25,4
4,316	-84,2	4,966	-644,4	5,616	-24,8
4,342	-139,2	4,992	-647	5,642	-24,6
4,368	-194,4	5,018	-59,8	5,668	-24
4,394	-243,6	5,044	-27,8	5,694	6,2
4,42	-285	5,07	-26,8	5,72	10
4,446	-327,4	5,096	-24,8	5,746	17,6
4,472	-354,8	5,122	-25,6	5,772	26,6
4,498	-388	5,148	-25,6	5,798	30
4,524	-419,4	5,174	-25	5,824	2,2
4,55	-444	5,2	-25	5,85	-0,6
4,576	-466,6	5,226	-25,4	5,876	0,8
4,602	-488,4	5,252	-28,8	5,902	0,8
4,628	-506,6	5,278	-29	5,928	0,8
4,654	-523	5,304	-31	5,954	0,8

Ensayo 6

5,07	-0,6	5,72	-598,2	6,37	-38,8
5,096	-0,6	5,746	-608,4	6,396	-28,2
5,122	-0,6	5,772	-614,4	6,422	-25,2
5,148	-2,4	5,798	-624	6,448	-24,4
5,174	-13,6	5,824	-633,4	6,474	-24
5,2	-62	5,85	-638,8	6,5	-23,8
5,226	-118,2	5,876	-646	6,526	-23,4
5,252	-171	5,902	-651	6,552	-23,2
5,278	-221,2	5,928	-84,6	6,578	-23,2
5,304	-266,6	5,954	-38,2	6,604	-23
5,33	-308	5,98	-32,8	6,63	-23
5,356	-346,8	6,006	-32,4	6,656	-22,8
5,382	-371,6	6,032	-32,4	6,682	-22,8
5,408	-407,8	6,058	-32	6,708	6,2
5,434	-434,6	6,084	-32	6,734	19
5,46	-457,8	6,11	-32	6,76	17,8
5,486	-480,2	6,136	-31,8	6,786	23
5,512	-499,2	6,162	-34,4	6,812	30,4
5,538	-518,2	6,188	-34,2	6,838	1,6
5,564	-532	6,214	-35,8	6,864	-0,2
5,59	-546,2	6,24	-37,4	6,89	0,4
5,616	-555,2	6,266	-36,8	6,916	0,4
5,642	-569,4	6,292	-37,4	6,942	0,4
5,668	-581,2	6,318	-38	6,968	0
5,694	-590,4	6,344	-37,8	6,994	0

Ensayo 7

3,302	-0,6	3,874	-595,6	4,446	-39,2
3,328	-4	3,9	-603,4	4,472	-40,4
3,354	-20	3,926	-610,6	4,498	-36,8
3,38	-66,4	3,952	-619,8	4,524	-25,8
3,406	-121,2	3,978	-628,4	4,55	-24,6
3,432	-176,2	4,004	-635,2	4,576	-23,8
3,458	-226,4	4,03	-639,8	4,602	-23,6
3,484	-273,4	4,056	-644,8	4,628	-23
3,51	-315,6	4,082	-89,6	4,654	-21
3,536	-352,4	4,108	-44,6	4,68	25,8
3,562	-378,8	4,134	-37,4	4,706	19,4
3,588	-412,6	4,16	-35,2	4,732	18,6
3,614	-440,8	4,186	-35,2	4,758	31,4
3,64	-465,6	4,212	-35,2	4,784	1,6
3,666	-487,6	4,238	-35,2	4,81	1,4
3,692	-508,4	4,264	-34,4	4,836	0,4
3,718	-521,8	4,29	-33,4	4,862	0,2
3,744	-538,2	4,316	-36	4,888	0,2
3,77	-553,6	4,342	-37,2	4,914	0
3,796	-563,4	4,368	-39,2		
3,822	-575,2	4,394	-40,8		
3,848	-585,4	4,42	-40,6		

Ensayo 8

4,732	-1	5,33	-593,6	5,928	-38
4,758	-1,8	5,356	-603,4	5,954	-39,2
4,784	-3,8	5,382	-613,4	5,98	-38,6
4,81	-12	5,408	-621,4	6,006	-39,2
4,836	-51	5,434	-629,4	6,032	-38
4,862	-104,4	5,46	-637,2	6,058	-26,2
4,888	-159,6	5,486	-644,6	6,084	-25,2
4,914	-211,2	5,512	-648	6,11	-24,4
4,94	-258,2	5,538	-652,6	6,136	11,8
4,966	-303	5,564	-98,4	6,162	17,2
4,992	-343,4	5,59	-51,4	6,188	15,2
5,018	-366	5,616	-44,4	6,214	24
5,044	-402,8	5,642	-41,4	6,24	28,2
5,07	-431,8	5,668	-39,6	6,266	1,2
5,096	-460,2	5,694	-39	6,292	-1
5,122	-481,4	5,72	-35,8	6,318	-0,2
5,148	-502,6	5,746	-33,4	6,344	-0,2
5,174	-518	5,772	-33,2	6,37	-0,2
5,2	-536,6	5,798	-35,4	6,396	-0,2
5,226	-549,4	5,824	-36,2	6,422	0
5,252	-564,4	5,85	-36,8	6,448	0
5,278	-575	5,876	-37,6	6,474	0
5,304	-585,6	5,902	-38		

Ensayo 9

4,966	-0,6	5,694	-611,6	6,422	-26
4,992	-0,6	5,72	-621	6,448	-25,2
5,018	-0,6	5,746	-629,2	6,474	-25
5,044	-0,6	5,772	-636,8	6,5	-24,4
5,07	-0,6	5,798	-643,8	6,526	-24,4
5,096	-1,2	5,824	-651,4	6,552	-24,2
5,122	-8,8	5,85	-658,6	6,578	-24
5,148	-40	5,876	-661,2	6,604	-24
5,174	-93,6	5,902	-663	6,63	-24
5,2	-148,2	5,928	-76,8	6,656	-23,8
5,226	-199	5,954	-38,6	6,682	-23,8
5,252	-250,6	5,98	-36,8	6,708	-23,8
5,278	-293,2	6,006	-34,8	6,734	1,6
5,304	-335,4	6,032	-34,6	6,76	21,8
5,33	-359,6	6,058	-34,6	6,786	17,8
5,356	-397	6,084	-34	6,812	19,8
5,382	-428,2	6,11	-33,2	6,838	30,6
5,408	-454,2	6,136	-33,8	6,864	1,8
5,434	-479,4	6,162	-36,8	6,89	1,6
5,46	-498,6	6,188	-37,6	6,916	0,4
5,486	-516,8	6,214	-38,8	6,942	0,4
5,512	-535,2	6,24	-40,2	6,968	0,4
5,538	-547	6,266	-39,2	6,994	0
5,564	-563,2	6,292	-40,2	7,02	0
5,59	-573,4	6,318	-41,2	7,046	0
5,616	-586,8	6,344	-41,6	7,072	0
5,642	-595,8	6,37	-36,8		
5,668	-604	6,396	-27,2		

Ensayo 10

3,692	-0,8	4,55	-650,6	5,408	0,6
3,718	-0,8	4,576	-84,4	5,434	0,6
3,744	-0,6	4,602	-40	5,46	0,6
3,77	-0,6	4,628	-36,6	5,486	0,6
3,796	-0,6	4,654	-35,2	5,512	0,6
3,822	-1,8	4,68	-33,6	5,538	0,8
3,848	-13,4	4,706	-33,2	5,564	0,8
3,874	-63	4,732	-34	5,59	0,8
3,9	-121	4,758	-34	5,616	0,8
3,926	-176,2	4,784	-34,8	5,642	0,8
3,952	-227,8	4,81	-36,4	5,668	0,8
3,978	-274	4,836	-37	5,694	0,8
4,004	-316,2	4,862	-38	5,72	0,8
4,03	-352,8	4,888	-39,2	5,746	0,8
4,056	-381,2	4,914	-38,4	5,772	0,8
4,082	-416	4,94	-24,6	5,798	0,8
4,108	-442,2	4,966	-22,4	5,824	0,8
4,134	-469,4	4,992	-21,4	5,85	0,8
4,16	-489	5,018	-21,2	5,876	0,8
4,186	-509,6	5,044	-21	5,902	0,8
4,212	-523	5,07	-12	5,928	0,8
4,238	-538,8	5,096	13,4	5,954	0,8
4,264	-552,8	5,122	21,4	5,98	0,8
4,29	-564	5,148	31,6	6,006	1
4,316	-575	5,174	1,6	6,032	1
4,342	-587,2	5,2	1,6	6,058	1
4,368	-594,6	5,226	-0,6	6,084	1
4,394	-605	5,252	0,4	6,11	1
4,42	-613,4	5,278	0,4	6,136	1
4,446	-624,4	5,304	0,4	6,162	1
4,472	-631,2	5,33	0,6	6,188	1
4,498	-638,2	5,356	0,6	6,214	1
4,524	-644,6	5,382	0,6	6,24	1

PUNZÓN INCLINADO.

Ensayo 1

6,578	0,4	7,436	-45,4	8,294	-21,8
6,604	-12,2	7,462	-42	8,32	-26,4
6,63	-15,8	7,488	-43,2	8,346	-23,8
6,656	-21,6	7,514	-42	8,372	-25,8
6,682	-36	7,54	-39,8	8,398	-24,2
6,708	-48,8	7,566	-40,6	8,424	-22,6
6,734	-66,2	7,592	-37,8	8,45	-25,8
6,76	-79,6	7,618	-36	8,476	-20
6,786	-93,2	7,644	-37,6	8,502	-18,6
6,812	-105,2	7,67	-33,6	8,528	-22
6,838	-117	7,696	-30,4	8,554	-18,8
6,864	-128,8	7,722	-35,2	8,58	-21,4
6,89	-140,8	7,748	-32	8,606	-13,4
6,916	-151,4	7,774	-33,6	8,632	-12,2
6,942	-161,6	7,8	-31,8	8,658	-12
6,968	-172,6	7,826	-34	8,684	-11,4
6,994	-184,2	7,852	-31	8,71	-11,4
7,02	-193,2	7,878	-33	8,736	-11,2
7,046	-200,2	7,904	-29,8	8,762	-11,2
7,072	-175,8	7,93	-26,4	8,788	6,2
7,098	-117,6	7,956	-30,8	8,814	6,4
7,124	-122,8	7,982	-26,6	8,84	10,4
7,15	-134,8	8,008	-29	8,866	22,2
7,176	-142	8,034	-26,8	8,892	19,4
7,202	-150,2	8,06	-28,8	8,918	2,4
7,228	-161,4	8,086	-25,6	8,944	2,4
7,254	-171,6	8,112	-25,6	8,97	1
7,28	-178,6	8,138	-27,8	8,996	1,2
7,306	-186,2	8,164	-25,8	9,022	1,2
7,332	-184,4	8,19	-27,2	9,048	1,2
7,358	-176,8	8,216	-24,6	9,074	1,2
7,384	-161,2	8,242	-29,4	9,1	1
7,41	-78,4	8,268	-25,4	9,126	1

Ensayo 2

4,758	0,4	5,616	-179	6,474	-29,6
4,784	0	5,642	-162,4	6,5	-25,2
4,81	0	5,668	-108	6,526	-29,8
4,836	0	5,694	-51	6,552	-23,2
4,862	-2,2	5,72	-45,8	6,578	-25,8
4,888	-12,8	5,746	-42,4	6,604	-27,4
4,914	-17,8	5,772	-42,8	6,63	-22,8
4,94	-31,2	5,798	-42,4	6,656	-27,8
4,966	-45	5,824	-41,4	6,682	-22,8
4,992	-58	5,85	-36,2	6,708	-26,6
5,018	-72	5,876	-38,2	6,734	-21,2
5,044	-85,8	5,902	-33,2	6,76	-24,6
5,07	-98,2	5,928	-33,8	6,786	-23,2
5,096	-112,6	5,954	-34,8	6,812	-17,2
5,122	-123	5,98	-34	6,838	-13,8
5,148	-133,6	6,006	-31	6,864	-13
5,174	-145,6	6,032	-31,8	6,89	-12,6
5,2	-157,8	6,058	-34	6,916	-12,2
5,226	-170,6	6,084	-28,8	6,942	-12
5,252	-177	6,11	-33,8	6,968	-11,4
5,278	-188,2	6,136	-30	6,994	7,6
5,304	-197,6	6,162	-33,2	7,02	5,6
5,33	-202,8	6,188	-30,2	7,046	6,4
5,356	-129,6	6,214	-32,6	7,072	24,4
5,382	-120,4	6,24	-29,4	7,098	20,4
5,408	-134,4	6,266	-25,6	7,124	2
5,434	-142	6,292	-31,2	7,15	2
5,46	-150,6	6,318	-24,8	7,176	0,8
5,486	-161,8	6,344	-30,2	7,202	0,8
5,512	-169,8	6,37	-31,2	7,228	0,8
5,538	-181,2	6,396	-25,6	7,254	0,8
5,564	-186,6	6,422	-28,2	7,28	0,8
5,59	-190,6	6,448	-26,8	7,306	0,8

Ensayo 3

4,81	0	5,642	-71,4	6,474	-25,2
4,836	-2,8	5,668	-45,8	6,5	-28,8
4,862	-12	5,694	-40,8	6,526	-24,2
4,888	-16,2	5,72	-44,4	6,552	-28,2
4,914	-21,8	5,746	-43,8	6,578	-16,6
4,94	-35,8	5,772	-39,2	6,604	-14,6
4,966	-51,4	5,798	-42,2	6,63	-13,2
4,992	-64	5,824	-36,8	6,656	-12,8
5,018	-80,8	5,85	-34,4	6,682	6,2
5,044	-95,8	5,876	-35	6,708	4,8
5,07	-109	5,902	-29,4	6,734	7,4
5,096	-118,2	5,928	-30,6	6,76	21
5,122	-132,8	5,954	-35	6,786	5,6
5,148	-143,4	5,98	-27,8	6,812	2
5,174	-155,4	6,006	-31,4	6,838	0,8
5,2	-165	6,032	-32,2	6,864	0,8
5,226	-175,6	6,058	-28,8	6,89	0,8
5,252	-187,2	6,084	-26,4	6,916	0,8
5,278	-195,6	6,11	-32,4	6,942	0,6
5,304	-206,4	6,136	-26,4	6,968	0,6
5,33	-139,6	6,162	-30,4	6,994	0,6
5,356	-117,4	6,188	-28,2	7,02	0,6
5,382	-130,4	6,214	-25,4	7,046	0,6
5,408	-144,6	6,24	-25,4	7,072	0,6
5,434	-148,6	6,266	-28,2	7,098	0,6
5,46	-159,2	6,292	-29	7,124	0,6
5,486	-169,6	6,318	-26,4	7,15	0,6
5,512	-180,6	6,344	-25,8	7,176	0,6
5,538	-187,6	6,37	-29,8	7,202	0,6
5,564	-188,8	6,396	-25	7,228	0,6
5,59	-176,8	6,422	-23	7,254	0,6
5,616	-158,6	6,448	-28	7,28	0,6

Ensayo 4

4,55	0	5,33	-174,8	6,11	-31,4
4,576	-0,6	5,356	-158	6,136	-27
4,602	-4,8	5,382	-73	6,162	-23,8
4,628	-15,8	5,408	-45	6,188	-28
4,654	-20,4	5,434	-42,8	6,214	-24,4
4,68	-33,6	5,46	-41,2	6,24	-30,8
4,706	-50,4	5,486	-42,4	6,266	-23,4
4,732	-63,4	5,512	-40	6,292	-28,8
4,758	-79	5,538	-36,8	6,318	-26,2
4,784	-92	5,564	-34	6,344	-26
4,81	-102,6	5,59	-35,8	6,37	-26
4,836	-117,4	5,616	-34,4	6,396	-28,6
4,862	-132,2	5,642	-31,2	6,422	-24
4,888	-138,8	5,668	-34,6	6,448	-17,8
4,914	-150,4	5,694	-34,6	6,474	-14,8
4,94	-165	5,72	-28,6	6,5	-13,2
4,966	-172,2	5,746	-27,2	6,526	-12,8
4,992	-183,4	5,772	-30,4	6,552	6,6
5,018	-194,2	5,798	-33,2	6,578	5,4
5,044	-201	5,824	-25,4	6,604	5,8
5,07	-144	5,85	-26,2	6,63	22,2
5,096	-117,4	5,876	-32,4	6,656	24,4
5,122	-128,8	5,902	-29,8	6,682	2
5,148	-144	5,928	-25,2	6,708	2
5,174	-146,6	5,954	-31	6,734	0,8
5,2	-160,6	5,98	-28,2	6,76	0,8
5,226	-172	6,006	-23,2	6,786	0,8
5,252	-180,8	6,032	-31,4		
5,278	-189,6	6,058	-28,4		
5,304	-187,4	6,084	-24,6		

Ensayo 5

5,33	0	6,058	-192,8	6,786	-31,8
5,356	-5,2	6,084	-188,2	6,812	-26
5,382	-14,6	6,11	-157	6,838	-32,6
5,408	-16,8	6,136	-65	6,864	-25,6
5,434	-30,4	6,162	-43,8	6,89	-23,6
5,46	-45,6	6,188	-41,4	6,916	-27,2
5,486	-60,4	6,214	-42,6	6,942	-30,4
5,512	-73,4	6,24	-40,6	6,968	-25
5,538	-92,8	6,266	-41,2	6,994	-28,6
5,564	-105,2	6,292	-37	7,02	-24,6
5,59	-117	6,318	-39	7,046	-24
5,616	-130,4	6,344	-38,2	7,072	-24,8
5,642	-140,2	6,37	-38,4	7,098	-22,6
5,668	-159	6,396	-32,8	7,124	-25,4
5,694	-161,4	6,422	-37,4	7,15	-22,4
5,72	-172,8	6,448	-33,2	7,176	-25,2
5,746	-182,8	6,474	-29,4	7,202	-22,2
5,772	-191	6,5	-35,8	7,228	-15,4
5,798	-198,6	6,526	-34,4	7,254	-13,2
5,824	-135,4	6,552	-26,6	7,28	6,2
5,85	-116,4	6,578	-27,6	7,306	5,6
5,876	-134	6,604	-28,4	7,332	5
5,902	-138,6	6,63	-33,2	7,358	20,2
5,928	-147,2	6,656	-28,4	7,384	21,4
5,954	-158,4	6,682	-28,4	7,41	2,4
5,98	-170,8	6,708	-28,4	7,436	2
6,006	-179,2	6,734	-29,6	7,462	0,8
6,032	-188	6,76	-25	7,488	0,8

Ensayo 6

6,11	0	7,046	-39,2	7,982	-29
6,136	0	7,072	-36,4	8,008	-28,4
6,162	-11,2	7,098	-34,8	8,034	-30,8
6,188	-16	7,124	-34,8	8,06	-23,8
6,214	-20,8	7,15	-35	8,086	-16,4
6,24	-36,2	7,176	-31,6	8,112	-15
6,266	-50,2	7,202	-30,4	8,138	-14
6,292	-66,8	7,228	-33,2	8,164	-13,4
6,318	-81,4	7,254	-34	8,19	-13,4
6,344	-96,4	7,28	-29,4	8,216	-13,2
6,37	-109,2	7,306	-27,4	8,242	-13,2
6,396	-122,2	7,332	-34	8,268	-13
6,422	-134,2	7,358	-32,8	8,294	-13
6,448	-148	7,384	-28,4	8,32	-12,8
6,474	-156,2	7,41	-30,6	8,346	7
6,5	-167,4	7,436	-32,4	8,372	6,4
6,526	-179,2	7,462	-29,6	8,398	8,2
6,552	-187,4	7,488	-24,6	8,424	21,2
6,578	-197	7,514	-31,4	8,45	18,8
6,604	-131	7,54	-29,4	8,476	2
6,63	-122	7,566	-25	8,502	2
6,656	-129,6	7,592	-32	8,528	0,8
6,682	-139,8	7,618	-28,4	8,554	0,8
6,708	-149,6	7,644	-27,4	8,58	0,8
6,734	-159,8	7,67	-28,8	8,606	0,8
6,76	-169	7,696	-24,4	8,632	0,8
6,786	-178,6	7,722	-28,2	8,658	0,8
6,812	-188	7,748	-32,6	8,684	0,8

Ensayo 7

4,394	0	5,226	-92,4	6,058	-25
4,42	0	5,252	-41,4	6,084	-29,4
4,446	0	5,278	-44	6,11	-26
4,472	-1,2	5,304	-42,6	6,136	-30
4,498	-14,2	5,33	-39,2	6,162	-26,4
4,524	-18,4	5,356	-36	6,188	-25,2
4,55	-32,4	5,382	-38,4	6,214	-28
4,576	-45,4	5,408	-32,4	6,24	-23,8
4,602	-57	5,434	-34,6	6,266	-21,6
4,628	-73	5,46	-35,6	6,292	-16
4,654	-90	5,486	-34	6,318	-14,6
4,68	-102,6	5,512	-31	6,344	-13,4
4,706	-116,8	5,538	-34,4	6,37	-13
4,732	-130,8	5,564	-31,2	6,396	7,4
4,758	-140,4	5,59	-35,2	6,422	5,8
4,784	-153	5,616	-30,8	6,448	6,4
4,81	-162,8	5,642	-27,4	6,474	19,6
4,836	-177	5,668	-33,4	6,5	18,2
4,862	-184,2	5,694	-33	6,526	2,2
4,888	-194	5,72	-27	6,552	0,4
4,914	-145,2	5,746	-34	6,578	1
4,94	-113,8	5,772	-32,4	6,604	1
4,966	-126	5,798	-28	6,63	1
4,992	-134,8	5,824	-27,2	6,656	1
5,018	-146,6	5,85	-26,8	6,682	1
5,044	-153,2	5,876	-33,2	6,708	1,2
5,07	-164,4	5,902	-30,2	6,734	1,2
5,096	-175	5,928	-27,8	6,76	1,2
5,122	-187,8	5,954	-32,8	6,786	1,2
5,148	-186,4	5,98	-27,2	6,812	1,2
5,174	-181,4	6,006	-29,2	6,838	1,2
5,2	-167,4	6,032	-28	6,864	1,2

Ensayo 8

6,11	-30,6	6,708	-28,2	7,306	-102,2
6,136	-31,4	6,734	-24	7,332	-102
6,162	-29,8	6,76	-21	7,358	-102
6,188	-27,4	6,786	-22,6	7,384	-101,8
6,214	-32,4	6,812	-25	7,41	-101,6
6,24	-28,8	6,838	-28,2	7,436	-101,6
6,266	-30	6,864	-27,8	7,462	-101,4
6,292	-26,6	6,89	-31,6	7,488	-101,4
6,318	-31,2	6,916	-38	7,514	-101,2
6,344	-27,6	6,942	-57,4	7,54	-101,2
6,37	-31	6,968	-87	7,566	-101
6,396	-26	6,994	-103,4	7,592	7,4
6,422	-27	7,02	-103,4	7,618	7,2
6,448	-30,2	7,046	-103,2	7,644	6,2
6,474	-25,4	7,072	-103,2	7,67	22,2
6,5	-30,8	7,098	-103	7,696	21,2
6,526	-26,2	7,124	-103	7,722	16,4
6,552	-28,2	7,15	-102,8	7,748	2,2
6,578	-29,6	7,176	-102,8	7,774	1
6,604	-25,2	7,202	-102,8	7,8	1
6,63	-28,8	7,228	-102,6	7,826	1
6,656	-29	7,254	-102,6	7,852	1
6,682	-24,4	7,28	-102,4		

Ensayo 9

5,356	-3,4	6,084	-114,8	6,812	-28
5,382	-12,4	6,11	-46,6	6,838	-31,6
5,408	-19	6,136	-39,4	6,864	-29,2
5,434	-28,8	6,162	-44,8	6,89	-29,2
5,46	-42	6,188	-41,8	6,916	-25,2
5,486	-59	6,214	-40,2	6,942	-25
5,512	-77,6	6,24	-34,4	6,968	-28,6
5,538	-90,4	6,266	-34,4	6,994	-26,4
5,564	-107,4	6,292	-31,4	7,02	-22,6
5,59	-118,2	6,318	-35,4	7,046	-26,2
5,616	-134,6	6,344	-34	7,072	-27,6
5,642	-145,2	6,37	-30,6	7,098	-17,2
5,668	-153,8	6,396	-28,8	7,124	-14
5,694	-167,2	6,422	-33,8	7,15	-12,8
5,72	-175,8	6,448	-33,8	7,176	-12,6
5,746	-185,6	6,474	-32	7,202	-12
5,772	-160,6	6,5	-30	7,228	-11,8
5,798	-118,6	6,526	-31,2	7,254	7
5,824	-122,8	6,552	-34,4	7,28	6,6
5,85	-134,6	6,578	-34,8	7,306	6,8
5,876	-138,4	6,604	-30,6	7,332	25,4
5,902	-147,6	6,63	-29	7,358	24,4
5,928	-157	6,656	-28,4	7,384	2,4
5,954	-170,2	6,682	-30,8	7,41	2,4
5,98	-180,8	6,708	-32,2	7,436	1,2
6,006	-185	6,734	-29,2	7,462	1,2
6,032	-180,6	6,76	-27,8	7,488	1,2
6,058	-163,8	6,786	-26	7,514	1

Ensayo 10

5,538	-11,8	6,318	-37,2	7,228	-19,8
5,564	-16,6	6,344	-36,8	7,254	-23,2
5,59	-28,4	6,37	-33,8	7,28	-21
5,616	-39,4	6,396	-34,2	7,306	-23
5,642	-55,6	6,422	-30,4	7,332	-18,6
5,668	-71,4	6,448	-28,2	7,358	-22,4
5,694	-85,8	6,474	-28	7,384	-24,2
5,72	-100	6,5	-27	7,41	-16,8
5,746	-113,2	6,526	-27,6	7,436	-14,2
5,772	-129	6,552	-25,8	7,462	-13
5,798	-138,8	6,578	-25,6	7,488	-12,4
5,824	-150,8	6,604	-25	7,514	-11,8
5,85	-163,6	6,63	-22,8	7,54	-11,6
5,876	-174	6,656	-27,6	7,566	-11
5,902	-184	6,682	-26,8	7,592	-10,8
5,928	-192,6	6,708	-25,4	7,618	-10,8
5,954	-146,4	6,734	-23,8	7,644	6,2
5,98	-110	6,76	-21,4	7,67	6,4
6,006	-121,6	6,786	-23,4	7,696	3,2
6,032	-132,4	6,812	-25,4	7,722	15,4
6,058	-141	6,838	-20,8	7,748	19,8
6,084	-150,2	6,864	-23,8	7,774	2,6
6,11	-168	6,89	-26,6	7,8	2,4
6,136	-175	6,916	-19,8	7,826	1,2
6,162	-179,4	6,942	-21	7,852	1,2
6,188	-181,4	6,968	-26,4	7,878	1,2
6,214	-176,2	6,994	-23,4	7,904	1,2
6,24	-135,8	7,02	-20,6	7,93	1,2
6,266	-47,2	7,046	-22,2	7,956	1,2
6,292	-33,4	7,072	-25,6	7,982	1,2

ABS**Ensayo 1**

5,824	-2	6,578	-314,6	7,332	-29
5,85	-2	6,604	-278	7,358	-29,8
5,876	-2	6,63	-214,2	7,384	-29,8
5,902	-2	6,656	-238,4	7,41	-30,6
5,928	-2	6,682	-254	7,436	-30,4
5,954	-2	6,708	-279	7,462	-30,4
5,98	-2,2	6,734	-309,6	7,488	-28,8
6,006	-2,2	6,76	-331,4	7,514	-27,8
6,032	-2,2	6,786	-310,8	7,54	-27,6
6,058	-2,2	6,812	-54,8	7,566	-29,2
6,084	-2	6,838	-37,6	7,592	-34,4
6,11	-2	6,864	-34,2	7,618	-31,2
6,136	-1,8	6,89	-32,6	7,644	-30,2
6,162	-1,8	6,916	-32,4	7,67	-30
6,188	-1,8	6,942	-32,4	7,696	-29,6
6,214	-1,6	6,968	-31	7,722	-29,6
6,24	-1,6	6,994	-31	7,748	-29,4
6,266	-4	7,02	-30,4	7,774	-29,4
6,292	-10,8	7,046	-29,8	7,8	3,8
6,318	-32,8	7,072	-29,8	7,826	5,6
6,344	-68	7,098	-29,6	7,852	38,2
6,37	-106	7,124	-29,6	7,878	39,2
6,396	-137,8	7,15	-29,6	7,904	3,4
6,422	-172	7,176	-29,4	7,93	0,2
6,448	-197	7,202	-29,4	7,956	-0,8
6,474	-224,6	7,228	-29	7,982	-0,8
6,5	-253	7,254	-28,8	8,008	-0,8
6,526	-276,4	7,28	-29	8,034	-0,8
6,552	-298,6	7,306	-29		

Ensayo 2

3,198	-2	3,978	-332,6	4,758	-27,8
3,224	-2	4,004	-198	4,784	-27,8
3,25	-2	4,03	-54,2	4,81	-27,8
3,276	-2	4,056	-42,6	4,836	-27,8
3,302	-2	4,082	-39,4	4,862	3,8
3,328	-1,8	4,108	-37,6	4,888	3,8
3,354	-1,8	4,134	-37,6	4,914	26,4
3,38	-1,8	4,16	-37,6	4,94	41,2
3,406	-1,6	4,186	-38,4	4,966	40,2
3,432	-2,8	4,212	-38,2	4,992	0,2
3,458	-4,2	4,238	-37,8	5,018	-0,8
3,484	-9,2	4,264	-36,4	5,044	-0,8
3,51	-21,2	4,29	-36,2	5,07	-0,8
3,536	-57,4	4,316	-35,6	5,096	-0,8
3,562	-96,8	4,342	-35,4	5,122	-0,8
3,588	-129,6	4,368	-35,2	5,148	-0,8
3,614	-166	4,394	-35,2	5,174	-0,8
3,64	-192,8	4,42	-35	5,2	-0,8
3,666	-222,2	4,446	-34,6	5,226	-0,8
3,692	-249,8	4,472	-34,6	5,252	-0,8
3,718	-276	4,498	-34,2	5,278	-1
3,744	-298,6	4,524	-34,6	5,304	-1
3,77	-313,8	4,55	-34,8		
3,796	-227,8	4,576	-34,8		
3,822	-220,8	4,602	-35,4		
3,848	-243,2	4,628	-35,2		
3,874	-265,2	4,654	-30		
3,9	-270,6	4,68	-28,2		
3,926	-302,8	4,706	-28,2		
3,952	-328,8	4,732	-28		

Ensayo 3

3,068	-2	3,692	-284,6	4,316	-50
3,094	-1,8	3,718	-301	4,342	-50
3,12	-1,8	3,744	-328	4,368	-49,6
3,146	-1,8	3,77	-355,8	4,394	-50,4
3,172	-1,6	3,796	-369,2	4,42	-51,4
3,198	-1,6	3,822	-384,8	4,446	-52,6
3,224	-1,6	3,848	-305	4,472	-44,4
3,25	-6,2	3,874	-83,4	4,498	-43,6
3,276	-9,2	3,9	-64,2	4,524	-43,4
3,302	-21,2	3,926	-56,8	4,55	-43,4
3,328	-49	3,952	-53,8	4,576	-43,2
3,354	-84	3,978	-54	4,602	5,6
3,38	-120	4,004	-54,2	4,628	9,4
3,406	-152	4,03	-57,2	4,654	47,4
3,432	-180,2	4,056	-56,2	4,68	52
3,458	-211	4,082	-54,6	4,706	53,2
3,484	-236,4	4,108	-53	4,732	0,2
3,51	-265,4	4,134	-53	4,758	-0,8
3,536	-287,4	4,16	-51,8	4,784	-0,8
3,562	-308,8	4,186	-51	4,81	-0,8
3,588	-324,8	4,212	-50,6	4,836	-0,8
3,614	-240,6	4,238	-50	4,862	-0,8
3,64	-243,6	4,264	-50,4	4,888	-0,8
3,666	-267,4	4,29	-50	4,914	-0,8

Ensayo 4

7,618	-2	8,502	-368,8	9,386	-48,8
7,644	-2	8,528	-114,2	9,412	-48,8
7,67	-2	8,554	-86,6	9,438	-48,6
7,696	-2	8,58	-73,8	9,464	-48,6
7,722	-2	8,606	-68	9,49	-48,6
7,748	-1,4	8,632	-66,2	9,516	-48,6
7,774	-1,4	8,658	-65	9,542	-48,4
7,8	-1,4	8,684	-62	9,568	-48,4
7,826	-1,4	8,71	-60	9,594	-48,4
7,852	-1,8	8,736	-59,8	9,62	-48,4
7,878	-1,8	8,762	-58,4	9,646	-48,2
7,904	-7,6	8,788	-57,6	9,672	-48,2
7,93	-7,8	8,814	-55,6	9,698	-48,2
7,956	-15,8	8,84	-55,6	9,724	-48,2
7,982	-44,6	8,866	-55,2	9,75	-48
8,008	-80,8	8,892	-55,4	9,776	-48
8,034	-115	8,918	-55,4	9,802	-48
8,06	-145,2	8,944	-54,8	9,828	-47,8
8,086	-176,6	8,97	-54,8	9,854	-47,8
8,112	-208	8,996	-54,6	9,88	-47,6
8,138	-237,4	9,022	-55,4	9,906	-47,6
8,164	-263,8	9,048	-56	9,932	-47,6
8,19	-289	9,074	-57,6	9,958	-47,4
8,216	-312,8	9,1	-51	9,984	-47,4
8,242	-331,8	9,126	-49,8	10,01	-47,4
8,268	-242,8	9,152	-49,6	10,036	4,6
8,294	-236	9,178	-49	10,062	3,2
8,32	-262,8	9,204	-49	10,088	14,8
8,346	-283,2	9,23	-49	10,114	64,4
8,372	-305,2	9,256	-49	10,14	64
8,398	-333,8	9,282	-48,8	10,166	0,2
8,424	-361,6	9,308	-48,8	10,192	-0,8
8,45	-374,4	9,334	-48,8	10,218	-0,8
8,476	-392,8	9,36	-48,8	10,244	-0,8

Ensayo 5

3,952	-2	4,628	-370	5,304	-47,6
3,978	-2	4,654	-377,6	5,33	-47,4
4,004	-1,8	4,68	-270,6	5,356	-47,4
4,03	-1,8	4,706	-102,4	5,382	-47,2
4,056	-1,8	4,732	-90,8	5,408	-47,2
4,082	-2	4,758	-77,6	5,434	-47
4,108	-1,8	4,784	-70,4	5,46	-47
4,134	-9,4	4,81	-68,6	5,486	-47
4,16	-25,6	4,836	-67,2	5,512	-47
4,186	-61,4	4,862	-64,4	5,538	-46
4,212	-100,2	4,888	-63,4	5,564	-45,4
4,238	-138,4	4,914	-61,6	5,59	-45,4
4,264	-165,4	4,94	-61,4	5,616	-45,4
4,29	-196,4	4,966	-59,4	5,642	-45,4
4,316	-226	4,992	-58,6	5,668	-46
4,342	-254	5,018	-58,6	5,694	7,2
4,368	-282,6	5,044	-58,4	5,72	15,8
4,394	-307,8	5,07	-58,8	5,746	46,6
4,42	-325	5,096	-57,2	5,772	43,8
4,446	-228,2	5,122	-57,4	5,798	0,6
4,472	-224,4	5,148	-56,2	5,824	-2
4,498	-255,4	5,174	-57	5,85	-0,6
4,524	-279,6	5,2	-57,2	5,876	-0,8
4,55	-303	5,226	-57,6	5,902	-0,8
4,576	-329,6	5,252	-57,4	5,928	-0,8
4,602	-357	5,278	-50,2	5,954	-0,8

Ensayo 6

4,394	-2,2	4,966	-368,4	5,538	-90,8
4,42	-2	4,992	-392,2	5,564	-90,6
4,446	-2	5,018	-399,4	5,59	-90
4,472	-6,2	5,044	-382,4	5,616	-88,8
4,498	-13,8	5,07	-126,8	5,642	-89
4,524	-33,4	5,096	-109,2	5,668	-86,6
4,55	-81,8	5,122	-98,6	5,694	-76,2
4,576	-122	5,148	-90,2	5,72	-72,6
4,602	-147,8	5,174	-89,8	5,746	-72
4,628	-179,2	5,2	-89,2	5,772	-71,8
4,654	-212,8	5,226	-91	5,798	-71,6
4,68	-238,6	5,252	-93,4	5,824	-71,6
4,706	-267	5,278	-92,8	5,85	-71
4,732	-291,2	5,304	-92,8	5,876	-71
4,758	-316	5,33	-92	5,902	-70,8
4,784	-336,6	5,356	-92,2	5,928	-70,4
4,81	-349,8	5,382	-92,2	5,954	-70,4
4,836	-249,6	5,408	-91,4	5,98	-70,4
4,862	-266,6	5,434	-90,4	6,006	1,8
4,888	-293	5,46	-90,6	6,032	11,8
4,914	-317,8	5,486	-91,4	6,058	33,2
4,94	-350,4	5,512	-91	6,084	45,2

Ensayo 7

3,952	-2,2	4,55	-369,6	5,148	-98,4
3,978	-2,2	4,576	-395	5,174	-98,8
4,004	-2	4,602	-418	5,2	-99
4,03	-2,2	4,628	-430,6	5,226	-98,8
4,056	-2,2	4,654	-433,6	5,252	-99
4,082	-7,6	4,68	-416,2	5,278	-99,8
4,108	-27,2	4,706	-141,8	5,304	-99,2
4,134	-62,8	4,732	-121,8	5,33	-89,2
4,16	-98,4	4,758	-109,2	5,356	-88
4,186	-142,4	4,784	-106	5,382	-87,4
4,212	-168,2	4,81	-103,8	5,408	-87
4,238	-201,2	4,836	-103,6	5,434	-85,8
4,264	-231,6	4,862	-106,6	5,46	-84
4,29	-260,2	4,888	-106,4	5,486	-83,8
4,316	-286,8	4,914	-105,4	5,512	-83,8
4,342	-307,8	4,94	-103	5,538	1,6
4,368	-326,6	4,966	-102,8	5,564	1,8
4,394	-279,4	4,992	-101,8	5,59	31,6
4,42	-248,8	5,018	-102	5,616	58,4
4,446	-276,6	5,044	-99,6	5,642	0,2
4,472	-308,4	5,07	-100	5,668	-0,2
4,498	-329,8	5,096	-100	5,694	-1
4,524	-354	5,122	-99,4	5,72	-1

Ensayo 8

3,77	-2	4,498	-113	5,226	-112,8
3,796	-9,4	4,524	-112,2	5,252	-113
3,822	-25,4	4,55	-112,2	5,278	-113,6
3,848	-62,6	4,576	-113	5,304	-112,4
3,874	-97,2	4,602	-106,8	5,33	-112,2
3,9	-132	4,628	-105	5,356	-111,8
3,926	-166,2	4,654	-104,4	5,382	-112
3,952	-199	4,68	-103,8	5,408	-112,2
3,978	-232	4,706	-103,6	5,434	-112,6
4,004	-257,8	4,732	-103,4	5,46	-113,4
4,03	-285,2	4,758	-103,4	5,486	-109,8
4,056	-308,8	4,784	-103,2	5,512	-104,8
4,082	-335	4,81	-103	5,538	-103,8
4,108	-356,6	4,836	-103	5,564	-103,2
4,134	-364,6	4,862	-102,8	5,59	-102,6
4,16	-252,6	4,888	-102,8	5,616	-102,2
4,186	-276,6	4,914	-102,6	5,642	2
4,212	-304,2	4,94	-102,6	5,668	1,2
4,238	-331,4	4,966	-102,4	5,694	64,2
4,264	-360,8	4,992	-102,2	5,72	68,4
4,29	-376,2	5,018	-102,2	5,746	0,2
4,316	-393,2	5,044	-102	5,772	-0,8
4,342	-404,2	5,07	-101,8	5,798	-0,8
4,368	-409	5,096	-101,8	5,824	-0,8
4,394	-207,6	5,122	-111,6	5,85	-0,8
4,42	-135,8	5,148	-112,2	5,876	-0,6
4,446	-122,6	5,174	-112,2	5,902	-0,6
4,472	-116,2	5,2	-112,8	5,928	-0,6

Ensayo 9

3,198	-2	3,848	-400,8	4,498	-101,6
3,224	-1,8	3,874	-409,6	4,524	-99,8
3,25	-1,8	3,9	-404	4,55	-98,2
3,276	-1,8	3,926	-142	4,576	-88
3,302	-1,8	3,952	-122,4	4,602	-86,8
3,328	-3,2	3,978	-111	4,628	-86,4
3,354	-14	4,004	-106	4,654	-85,8
3,38	-46,4	4,03	-104,2	4,68	-85,6
3,406	-83,8	4,056	-103,6	4,706	-85,2
3,432	-122,2	4,082	-106,2	4,732	-85
3,458	-154,8	4,108	-108,4	4,758	-85
3,484	-191,2	4,134	-108,2	4,784	-84,8
3,51	-225,6	4,16	-107,8	4,81	-84,8
3,536	-249,6	4,186	-105,8	4,836	-84,8
3,562	-282,6	4,212	-106,2	4,862	-84,6
3,588	-296,4	4,238	-106,2	4,888	2
3,614	-321	4,264	-104,6	4,914	1,8
3,64	-248,2	4,29	-105,4	4,94	48,4
3,666	-241,4	4,316	-105	4,966	61,8
3,692	-263,6	4,342	-104,6	4,992	0,6
3,718	-285,2	4,368	-104	5,018	0,4
3,744	-316	4,394	-103,6	5,044	-0,6
3,77	-347,8	4,42	-103,6	5,07	-0,6
3,796	-370	4,446	-103,6	5,096	-0,6
3,822	-388,4	4,472	-102,8	5,122	-0,8

Ensayo 10

3,406	-2	4,082	-330	4,758	-94
3,432	-2	4,108	-361,2	4,784	-94,4
3,458	-2	4,134	-375,4	4,81	-94,8
3,484	-2	4,16	-393,2	4,836	-95
3,51	-1,2	4,186	-399,8	4,862	-95
3,536	-1,4	4,212	-380,4	4,888	-95,2
3,562	-1,8	4,238	-132,2	4,914	-94,6
3,588	-1,8	4,264	-110	4,94	-90,8
3,614	-2,8	4,29	-101,4	4,966	-80,6
3,64	-5,2	4,316	-96,8	4,992	-68,8
3,666	-15,8	4,342	-96	5,018	-61
3,692	-48,6	4,368	-94,6	5,044	-60,6
3,718	-84,8	4,394	-95,2	5,07	-59,6
3,744	-121	4,42	-97,6	5,096	-58,8
3,77	-156	4,446	-96,6	5,122	-31
3,796	-190,8	4,472	-95,8	5,148	2,6
3,822	-221,6	4,498	-96,2	5,174	3,4
3,848	-249,2	4,524	-96,4	5,2	62,4
3,874	-280	4,55	-96,2	5,226	35,6
3,9	-299,8	4,576	-96,2	5,252	0,6
3,926	-323,6	4,602	-89,6	5,278	-1
3,952	-348,2	4,628	-89	5,304	-1
3,978	-239,6	4,654	-93	5,33	-0,8
4,004	-249	4,68	-94,8	5,356	-0,8
4,03	-275,6	4,706	-94	5,382	-0,8
4,056	-303,6	4,732	-94,2	5,408	-0,8

ESTUDIO DEL PORCENTAJE DE RETRACCIÓN DEL PE-MD10.



Luego por tanto estamos arrancando unas 7 centésimas de mm.

MEDIDA DE LOS AGUJEROS

DIAMETRO	DIÁMETROAG	DESVIACIÓN	RETRACCIÓN
18,9	18,8	0,1	0,53%
18,9	18,9	0	0,00%
18,9	18,8	0,1	0,53%
18,9	18,9	0	0,00%
18,9	18,85	0,05	0,26%
18,9	18,8	0,1	0,53%
18,9	18,8	0,1	0,53%
18,9	18,85	0,05	0,26%
18,9	18,8	0,1	0,53%
18,9	18,8	0,1	0,53%
MEDIA			
18,8 kgf			

**Promedio
retracción
0,34%**

Estudio del porcentaje de extracción para diámetro 30 PE – MD10.

DIAMETRO	DIÁMETRO AG	DESVIACIÓN	RETRACCIÓN
30	29,8	0,2	0,67%
30	29,8	0,2	0,67%
30	29,7	0,3	1,00%
30	29,8	0,2	0,67%
30	29,75	0,25	0,83%
30	29,75	0,25	0,83%
30	29,7	0,3	1,00%
30	29,9	0,1	0,33%
30	29,9	0,1	0,33%
30	29,9	0,1	0,33%
30	29,85	0,15	0,50%
30	29,75	0,25	0,83%
30	29,7	0,3	1,00%
30	29,7	0,3	1,00%
30	29,75	0,25	0,83%
30	29,75	0,25	0,83%
30	29,85	0,15	0,50%

promedio
0,67%

Media
29,7852941

Como comentario decir que estoy observando una mayor rebaba, entre 1-2 mm de rebaba, veo que el espesor del cilindro plano facilita la acumulación de material en la fase plástica. A lo mejor al aumentar el diámetro, necesitamos mayor ajuste, o mejor dicho una tolerancia más final.

TABLAS ESTUDIO DE INCERTIDUMBRE

PE MD10					
	-480,6	-478,8	-478,4	-485,2	-494,4
	-460	-480	-473,6	-473	-478
DESV	8,821186617				
incert repet	2,789504138				
incert escala	0,0288675				
incert instrumento	0,108599				
incert desal	0,11				
Inc típica comb	2,793932785				
Inc expandida	5,587865571				
	-499,2	-484,8	-473,4	-496,6	-498,4
PE MD10	-471,4	-478,4	-487,4	-498	-484,2
DESV	10,57647284				
incert repet	3,344574379				
incert escala	0,0288675				
incert instrumento	0,108599				
incert desal	0,11				
Inc típica comb	3,348268934				
Inc expandida	6,696537868				
	31,8	29,2	31,2	26	29,6
PE MD10	34,2	34,2	27,2	30,2	29,8
DESV	2,656731492				
incert repet	0,840132265				
incert escala	0,0288675				
incert instrumento	0,108599				
incert desal	0,11				
Inc típica comb	0,854721766				
Inc expandida	1,709443532				

	-418,2	-415,8	-422,2	-420	-415,2
PP-EPDM-TD10	-407,8	-408,8	-402,4	-391,2	-410,8
DESV	9,30653295				
incert repet	2,942984124				
incert escala	0,0288675				
incert instrumento	0,108599				
incert desal	0,11				
Inc tipica comb	2,947182151				
Inc expandida	5,894364302				
		-415,8	-422,2	-420	-415,2
PP-EPDM-TD10	-407,8	-408,8	-402,4	-410,8	-418,2
DESV	6,454455825				
incert repet	2,041078146				
incert escala	0,0288675				
incert instrumento	0,108599				
incert desal	0,11				
Inc tipica comb	2,047126541				
Inc expandida	4,094253082				
	-406,2	-407,2	-402,6	-416	-420,4
PP-EPDM-TD10	-417,2	-416,2	-406,2	-411,8	-400,8
DESV	1,356629811				
incert repet	0,429004014				
incert escala	0,0288675				
incert instrumento	0,108599				
incert desal	0,11				
Inc tipica comb	0,456915222				
Inc expandida	0,913830443				
	29,2	26,4	28,4	27,2	30,8
PP-EPDM-TD10	29,4	28,6	30	28,4	30,2
DESV	1,356629811				

incert repet	0,429004014				
incert escala	0,0288675				
incert instrumento	0,108599				
incert desal	0,11				
Inc tipica comb	0,456915222				
Inc expandida	0,913830443				
PUNZON INCLINADO					
	-197	-194	-194,4	-185,6	-192,6
PE MD10	-200,2	-202,8	-206,4	-201	-198,6
DESV	5,917995156				
incert repet	1,871434387				
incert escala	0,0288675				
incert instrumento	0,108599				
incert desal	0,11				
Inc tipica comb	1,878029218				
Inc expandida	3,756058435				
	21,2	19,6	22,2	25,4	19,8
PE MD10	22,2	24,4	21	24,4	21,4
DESV	1,986174436				
incert repet	0,628083505				
incert escala	0,0288675				
incert instrumento	0,108599				
incert desal	0,11				
Inc tipica comb	0,647468891				
Inc expandida	1,294937781				
	-177	-162,6	-166,2	-165,2	-177,6
PP-EPDM-TD10	-177,8	-165,8	-165	-165,2	-175,4
DESV	6,273365214				
incert repet	1,983812267				
incert escala	0,0288675				
incert	0,108599				

instrumento					
incert desal	0,11				
Inc tipica comb	1,99003472				
Inc expandida	3,98006944				
	23	20,8	22,8	23,2	22,4
PP-EPDM-TD10	22	37,4	21,4	26,6	26,6
DESV	4,897573095		2,07364414		
incert repet	1,548748599		0,69121471		
incert escala	0,0288675		0,0288675		
incert instrumento	0,108599		0,108599		
incert desal	0,11		0,11		
Inc tipica comb	1,556711051		0,70887577		
Inc expandida	3,113422103		1,41775153		
	-399,4	-433,6	-409	-409,6	-399,8
ABS	-331,4	-332,6	-384,8	-409	-377,6
DESV	33,47240323		17,1186615		
incert repet	10,5849033		6,05236081		
incert escala	0,0288675		0,0288675		
incert instrumento	0,108599		0,108599		
incert desal	0,11		0,11		
Inc tipica comb	10,58607127		6,05440323		
Inc expandida	21,17214253		12,1088065		
	45,2	58,4	68,4	61,8	62,4
ABS	39,2	41,2	53,2	68,4	46,6
DESV	10,94885078				
incert repet	3,462330622				
incert escala	0,0288675				
incert instrumento	0,108599				
incert desal	0,11				
Inc tipica comb	3,465899654				
Inc expandida	6,931799307				
	-395,4	-397,4	-395	-384,8	
PE MD10	-398,6	-394,2	-410	-415	-414,6

DESV	10,33768725				
incert repet	3,269063746				
incert escala	0,0288675				
incert instrumento	0,108599				
incert desal	0,11				
Inc tipica comb	3,272843542				
Inc expandida	6,545687085				
	-651	-644,8	-652,6	-663	-650,6
PP EPDM T10	-609	-609,6	-642,8	-636	-647
DESV	17,94455659				
incert repet	5,674567042				
incert escala	0,0288675				
incert instrumento	0,108599				
incert desal	0,11				
Inc tipica comb	5,676745387				
Inc expandida	11,35349077				
	-690,8	-699	-696,4	-692,6	-685,4
PE MD10	-685,4	-689,4	-675	-680,2	-680,2
DESV	5,248618866				
incert repet	1,659759019				
incert escala	0,0288675				
incert instrumento	0,108599				
incert desal	0,11				
Inc tipica comb	1,667191373				
Inc expandida	3,334382747				
	-458,6	-448,2	-449,2	-459,4	-393,2
PE MD10	-400,4	-441,4	-455,8	-455,4	-459,6
DESV	27,61180907				
incert repet	8,731620697				
incert escala	0,0288675				
incert instrumento	0,108599				
incert desal	0,11				

Inc típica comb	8,733036532				
Inc expandida	17,46607306				
	-441,6	-442,4	-456,6	-442	
PP EPDM	-446,8	-456,6	-454,4	-436,6	-438,2
DESV	7,307302284		-		
			446,133333		
incert repet	2,310771877				
incert escala	0,0288675				
incert instrumento	0,108599				
incert desal	0,11				
Inc típica comb	2,31611609				
Inc expandida	4,63223218				