

PROYECTO: ANÁLISIS DE LOS ESFUERZOS EXISTENTES EN LOS EXPULSORES DE UN MOLDE DE INYECCIÓN DE PLÁSTICOS

RESUMEN

El trabajo realizado en este proyecto se puede resumir de tal forma que:

Se parte de un molde de inyección de plásticos existente físicamente en el cual se dotan a los expulsores con un sistema de monitorización económico y eficaz que permitirá conocer los esfuerzos existentes en los expulsores durante todo el ciclo de trabajo.

El desarrollo del proyecto se basa en:

- Conocimiento del molde, así como de sus partes integrantes.
- Conocimiento de su funcionamiento, su montaje y desmontaje.
- Estudio de fuerzas que aparecen en el equilibrio de los expulsores inclinados.
- Estudio del sistema de expulsión
- Montaje y puesta a punto del molde para pruebas experimentales (0°)
- Establecer batería de pruebas.
- Procedimiento seguido para la colocación de galgas extensiométricas.
- Calibración de las galgas extensiométricas.
- Puesta a punto de los equipos de medida.
- Calibración de los equipos de medida.
- Realización de las pruebas de inyección.
- Adquisición y tratamiento de datos registrados.

ÍNDICE

1. MEMORIA	PAG
1.1.INTRODUCCIÓN	5
1.2.OBJETIVOS Y ALCANCE DEL PROYECTO	6
1.3. METODOLOGÍA	
1.3.1 Componentes generales del molde	7
1.3.2. Componentes específicos para cada formato	13
1.3.3. Puesta a punto del molde	14
1.3.4. Batería de pruebas	15
1.3.5. Medición de las deformaciones en los expulsores	
1.3.5.1. Tipo y disposición de medidores	16
1.3.5.2. Colocación de las galgas extensiométricas	16
1.3.5.3. Configuración del equipo de medida	17
1.3.5.4. Calibración de las galgas	18
1.3.5.5. Realización de las pruebas de inyección y adquisición de datos	19
1.4. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES	
1.3.4.1. Medición del tiempo de todo el ciclo	21
1.3.4.2. Medición del tiempo de 1ª Fase	21
1.3.4.3. Fiabilidad del sistema	23
1.3.4.4. Concepto nivel de presión de compactación	24
1.3.4.5. Medición del tiempo de 2ª Fase	26
1.3.4.6. Fuerza que recibe el expulsor en inyección	29
1.5.CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO	31
1.6. BIBLIOGRAFÍA	32

2. ANEXOS	PAG
2.1. CATÁLOGO VAP SA (DIBUJOS 2D).....	34
2.2. INVENTARIO COMPONENTES ESPECÍFICOS	37
2.3. MONTAGE Y DESMONTAGE DEL MOLDE	40
2.4. CICLO DE INYECCIÓN ·	44
2.5. CALIBRACIÓN EQUIPOS DE MEDIDA	
2.5.1. MÓDULO DBK43A	47
2.5.2. CALIBRACIÓN DEL EQUIPO	48
2.6 ECUACIONES Y RECTAS $V(v)$ vs F (KG) DE LAS GALGAS	49
2.7. TEORÍA DE LOS EXPULSORES INCLINADOS	51
2.8. ESFUERZOS TEÓRICOS EXPULSORES INCLINADOS	55
2.9. FICHA TÉCNICA DEL POLIPROPILENO	59
2.10. FICHA TÉCNICA DEL COCU.....	60

1.- MEMORIA

1.1. INTRODUCCIÓN

1.2. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL PROYECTO

1.3. METODOLOGÍA

1.4. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES

1.5. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO

1.6. BIBLIOGRAFÍA

1.1. INTRODUCCIÓN

Los plásticos son ahora parte de las grandes familias de la industria de materiales en general. De hecho, en los últimos años, los plásticos han revolucionado todos los procesos de fabricación de determinadas piezas. Los plásticos se han convertido en el material de elección para una amplia gama de envases, ya que son de peso ligero, resistentes a los chips y proporcionan protección en la entrega de productos en el mercado con un mínimo embalaje. El amplio uso de los plásticos en el envasado, sin embargo, no se produjo hasta la década de 1970.

Los materiales plásticos tienen propiedades muy diferentes: algunos son de alta presión, resistentes a las temperaturas extremas, otros forman una barrera contra la luz, el ácido, la humedad o el olor. Los mismos plásticos básicos también pueden adoptar una variedad de características con la adición de aditivos (adyuvantes, cargas...). De este modo, los plásticos que se conocen son muy resistentes, elásticos o no sensibles al calor. Otros son precisamente flexibles, tienen la apariencia de la espuma, son transparentes o permiten la producción de fibras. Estos nuevos materiales tienen muchas y muy diversas aplicaciones. Un gran número de materiales tradicionales, como madera, metales, cerámica, vidrio y fibras naturales han sido reemplazados hoy por el plástico: los usos del plástico, literalmente, se extienden a todas las áreas.



Foto 1: Distintos productos de plástico

En nuestro caso, el método de fabricación de piezas de plástico se realiza por inyección. Este método ampliamente utilizado en la industria ofrece un alto índice de calidad de la producción con costes reducidos.

La inyección de plástico en un molde requiere un sistema de expulsión por la parte de la empuñadura del plástico en el molde donde se encuentran las tensiones inducidas por la contracción del material. El dispositivo de expulsión se puede lograr de diferentes maneras, dependiendo de las formas y geometrías de la pieza de plástico.

El tipo de eyector más común es el eyector vertical, que permite la liberación de la pieza con varillas verticales montadas en la placa de eyector.

1.2. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL PROYECTO

El objetivo de este proyecto es, a partir de un molde de inyección de plásticos ya existente físicamente, conocer los esfuerzos a que están sometidos los expulsores del molde en el interior del mismo y durante todas las fases del ciclo de inyección de plásticos con diferentes parámetros de proceso.

Para tal fin, es necesaria una serie de actuaciones principales antes de poner el molde en máquina y realizar los ensayos.

Los primeros pasos del proyecto se centraron en el conocimiento del molde como se mostrará en apartados posteriores.

Una vez familiarizado con el montaje, desmontaje y funcionamiento del molde, se monitorizaron los expulsores del mismo mediante galgas extensiométricas, las cuales se calibraron para conocer la recta voltios vs fuerza. En este apartado, se trabajó también con la familiarización y la puesta a punto de los equipos de medida

La siguiente fase del proyecto, se centró en establecer una batería de pruebas, en esta se determinaron los parámetros del proceso que se variarían para poder sacar conclusiones de los datos obtenidos. Estos parámetros son:

- T^a de Inyección (210°C/230°C/250°C)
- P de compactación (0bares/20bares/40bares)
- t de compactación (3s y 10s)
- t de refrigeración (12s/20S)

A continuación, con la configuración de 0º montada en el molde, los expulsores sensorizados, los equipos de medida preparados y la batería de ensayos determinada, se realizan las inyecciones en máquina para la obtención de datos.

Para terminar, se analizan los datos sacando conclusiones demostrables mediante tablas, gráficas y se determinan puntos a tratar o mejorar para futuras líneas de investigación.

1.3. METODOLOGÍA

En este apartado se va a presentar el procedimiento seguido en el proyecto para llegar al último paso de obtención de datos, análisis de los mismos y obtención de conclusiones.

1.3.1 Componentes generales del molde, dibujos 3D

Como primer paso, se analizan uno por uno todos los elementos del molde, para conocerlos, saber cuáles son sus características, medidas, función y localización dentro del ensamblaje del molde de inyección de plásticos.

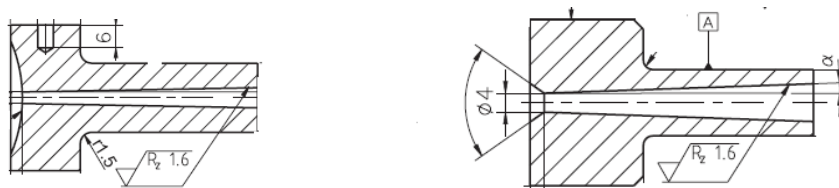
Como es un molde con 2 cavidades, habrá muchas piezas que estarán dobladas como cocu, expulsor y cabezal ya que existen 2 mecanismos de expulsión.

Sólo los componentes estándar que realizan la inyección y las interfaces de eyección con la máquina están en singular (disco de centrado, boquilla de inyección, y la fijación de buje de la varilla de expulsión de la máquina, placa expulsión fina, gruesa, hembra, macho..)

En el adjunto 2.1, se encuentra el catálogo de documentos "VAP SA" con información técnica de los componentes del molde.

- **Las placas de fijación (placas C y G):**

Estas placas son los extremos del bloque. Placa "C" es al ras con la placa hembra. La boquilla de inyección incide a través de las dos placas y estas deben ser mecanizadas para recibir la boquilla.

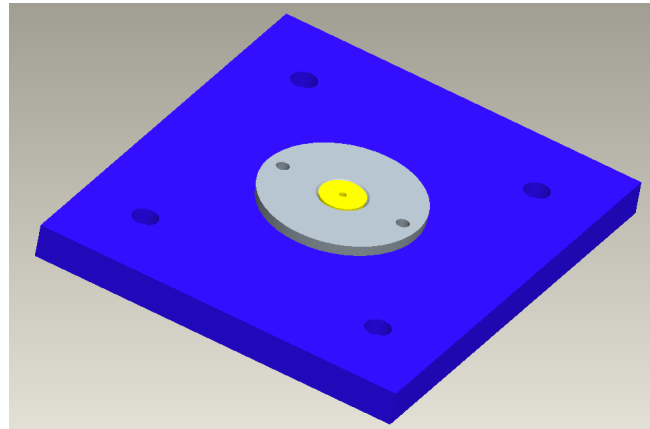


Dibujo 1: Diferentes diseños de boquillas

A la izquierda, con cabeza esférica, a la derecha, cabeza cónica. Esto asegura una buena transición del plástico fundido de la máquina al canal de inyección para el suministro de material a la pieza de trabajo. La forma de cono permite una fácil extracción. Dependiendo del tipo de inyección de plástico, la forma de punta de la boquilla puede cambiar, por ejemplo, con PVC es de forma cónica, con PP esférica.

- Placa « G » de fijación, disco, boquilla

Placa "G" está en contacto con la parte móvil, que asegura una alineación adecuada de la totalidad de esta parte. Esta placa permite el paso de la varilla de expulsión ($\varnothing 25$ mm)

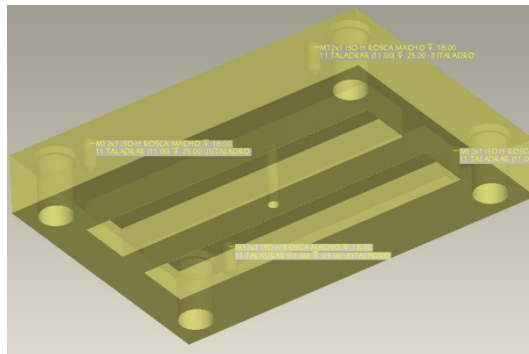


Dibujo 2: Placas de fijación 3D +Disco centrador

- **La placa hembra (placa D) :**

Esta parte debe garantizar el aprovisionamiento de suministro de materiales. La alineación con la placa macho es manejada por cuatro columnas guía (4 x M12 x 230).

La parte superior de la cavidad debe ser mecanizada.

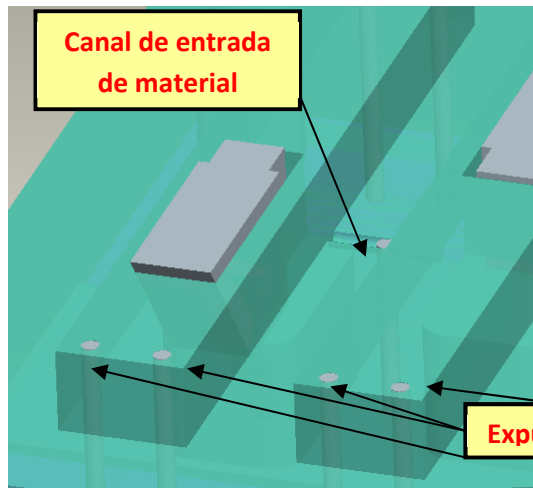


Dibujo 3: Placa hembra "D" en 3D

- **La placa macho (parte móvil E) :**

Este es el más complicado en términos de mecanizado de la placa. Esto es debido a que es en esta placa donde se aloja la cabeza del eyector. Se debe permitir el paso del material fundido entre las paredes y la cabeza del expulsor con el fin de producir la parte de cavidad

Se hace un zoom en « cavidad y taco tope » para observar el canal de entrada de material, los expulsores verticales y la placa macho



Este canal esta mecanizado en la placa hembra "D" con un diámetro de 6mm con la fresa redonda y es el que alimentará a las 2 cavidades de material fundido.

El diámetro de los expulsores verticales es de 6 mm.

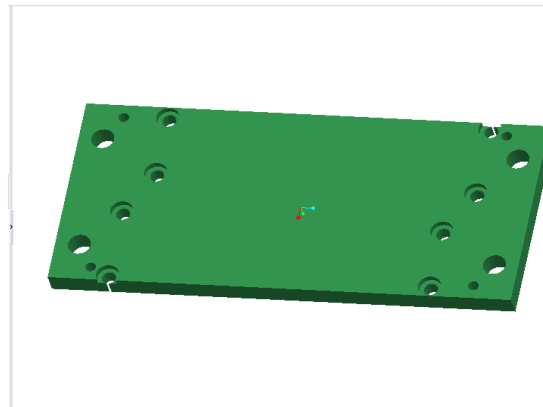
Dibujo 4: Zoom en placa macho "E" en 3D

- **Las placas de expulsión « L » y « M » :**

Estas placas se alojan en la parte móvil del molde, son accionadas por un actuador y permiten el movimiento de todos los eyectores.

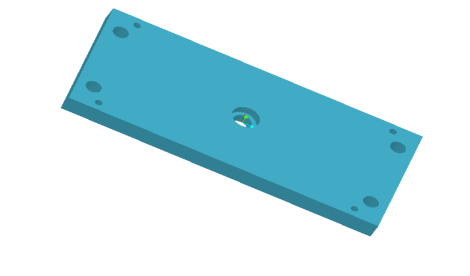
La primera placa fina "L" sirve para asegurar la instalación de eyectores y su alineación correcta. Estos se insertan con ajuste fino.

La placa de expulsión fina "L" asegura el posicionamiento del cocu, como también de los casquillos (ver adjunto 2.1 catálogo VAP SA)



Dibujo 5: Placa de expulsión fina "L" en 3D

La placa de expulsión gruesa "M" permite hacer el cierre con la placa de expulsión fina, con unión atornillada y así asegurar el buen posicionamiento de los eyectores, el cocu y los casquillos.

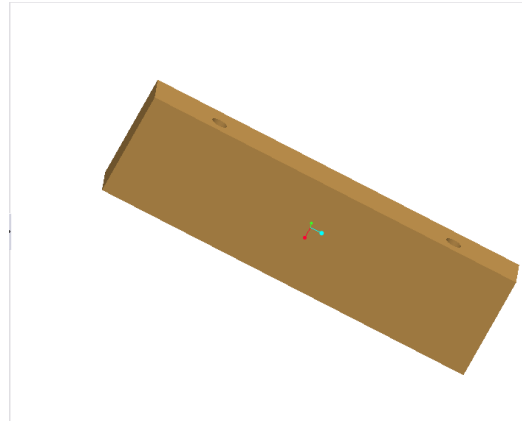


Dibujo 6: Placa de expulsión gruesa "M" en 3D

- **Las reglas (F) :**

Las reglas como se ve en el esquema, van posicionadas en perpendicular a las placas expulsoras y hacen de cierre del molde lateralmente.

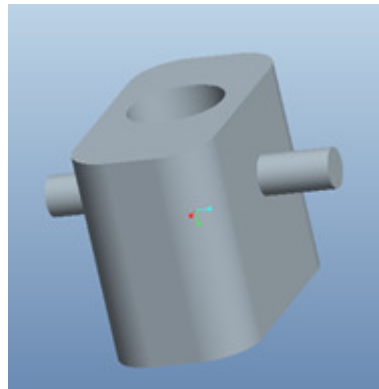
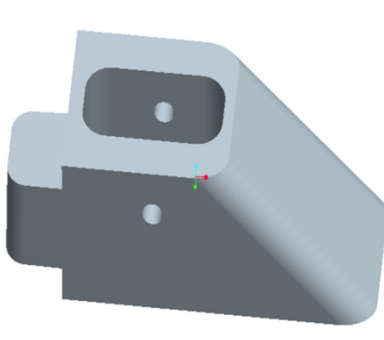
En el molde utilizado para el proyecto existen 4 reglas, 2 por lado y unidos entre sí por la columna que atraviesa todo el molde.



Dibujo 7: Regla en 3D

- **El cabezal y expulsor**

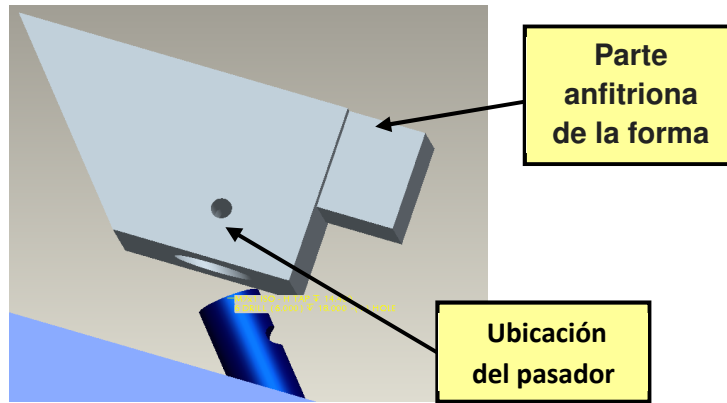
El cabezal está compuesto por una parte interior (postizo pequeño). De este postizo existe uno para cada formato ya que cada uno tiene una inclinación distinta. Y por la parte exterior, que es el propio cabezal dicho. La unión de estos con el expulsor es mediante un pasador cilíndrico.



Dibujo 8: Cabezal en 3D

El expulsor debe cumplir las expectativas de la especificación y debe permitir una expulsión rápida y eficiente, las medidas son: 180 mm y $\varnothing=12$ mm

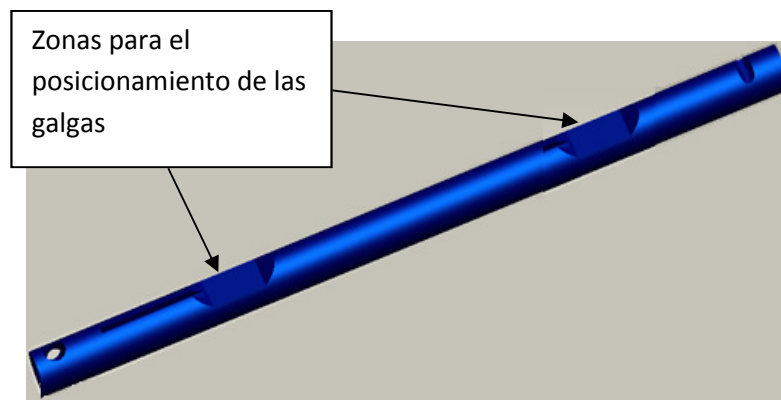
Esta parte del molde se compone de dos partes distintas, cabeza y eje. La geometría de la cabeza debe permitir la expulsión sin degradarlo



Dibujo 9: Montaje eje expulsor + cabezal en 3D

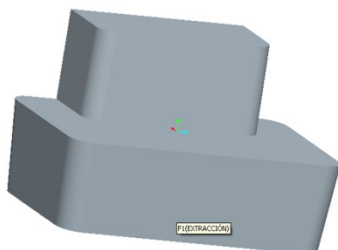
Como se puede apreciar en el dibujo 3D, el eje del expulsor está mecanizado en cuatro áreas, estos espacios son los utilizados para acoplar las galgas extensiométricas y así poder hacer mediciones de los esfuerzos en áreas de estrés.

Sabiendo que en la parte inferior del vástago se debe acomodar el cocu, la coincidencia de todos los agujeros debe ser la correcta para asegurar el funcionamiento adecuado del sistema. Es por ello que durante la producción se decidió hacer un eje de simetría, con el fin de asegurar una buena perpendicularidad de áreas de medición y, especialmente, para llevar a cabo las mediciones con dos posiciones perpendiculares.



Dibujo 10: Eje del expulsor mecanizado en 3D

- **Taco tope**



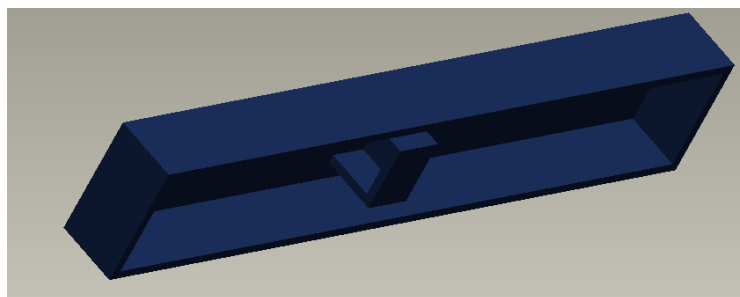
El taco tope va unido mediante pasadores cilíndricos a los expulsores de la parte inferior de la pieza. La función de este taco tope es dar forma a la pieza y ayudar al expulsor inclinado en la expulsión de la pieza.

Dibujo 11: Taco tope en 3D

- **La pieza**

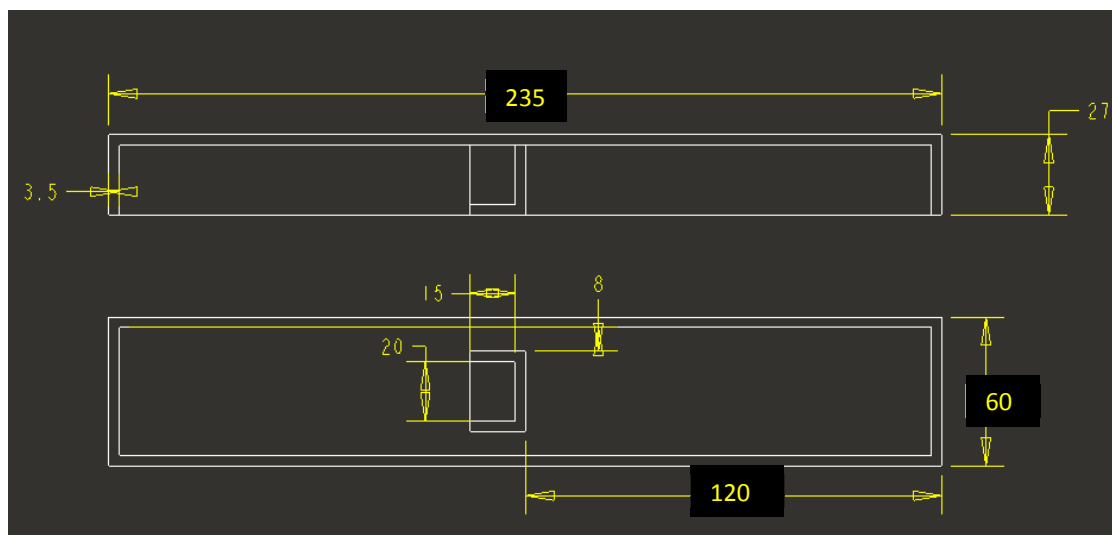
La pieza que se obtiene por inyección de plástico es de geometría simple..

Las dimensiones determinadas son: 235 x 60 x 27 mm con un espesor de 3,5 mm. La característica especial de esta pieza es tener una cavidad para la expulsión inclinada y esta cavidad es la parte sensible de la figura. Las dimensiones de este último son determinadas por las especificaciones y la colocación de la cavidad está relacionada con la posición de la cabeza del eyector.



Dibujo 12: Pieza en 3D

Tolerancia general +/- 0,1mm



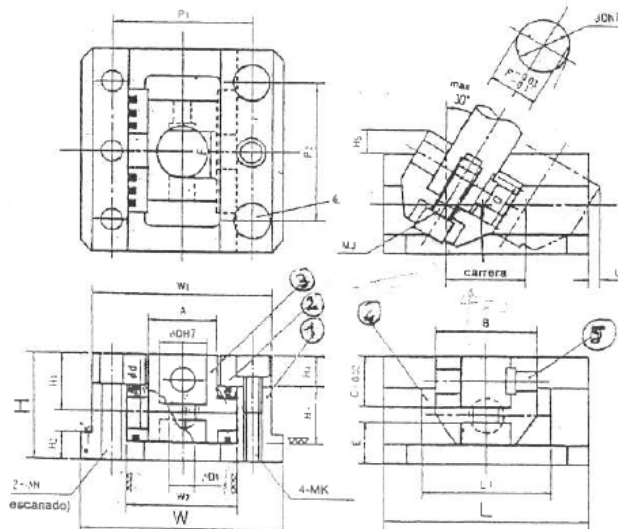
Dibujo 13: Pieza en 2D

1.3.2. Componentes específicos para cada formato

La primera toma de contacto con los componentes específicos para cada formato del molde es para hacer un inventario de componentes y así conocer todas sus partes y asegurar que está completo.

La totalidad de los componentes específicos para cada formato se encuentran localizados en el conjunto del sistema de expulsión del molde, esto significa que las piezas están dobladas ya que el molde consta de dos cavidades donde hacer la inyección y posteriormente la expulsión.

Al examinar todas las piezas que conforman el molde, se observa que falta un cocu, mecanismo de unión y guía entre expulsor y placa fina de expulsión. Es un componente del mecanismo de expulsión y necesario para realizar las inyecciones.



Dibujo 14: Cocu "Sanko"

Incluso inyectando solo una cavidad del molde de inyección, por limitaciones de máquina y ahorro, es necesario tener todo el molde de inyección montado en condiciones básicas, sino, los esfuerzos en los expulsores se pueden ver alterados.

En el anexo 2.2. se encuentra el inventario realizado en taller, donde se pueden observar fotos de las diferentes piezas (tacos, postizos internos y externos) y medidas.

Observar que los postizos, tanto los internos como los externos van marcados para saber cuál es su ubicación dentro del ensamblaje y no dar lugar a confusiones que pueden influir en el correcto funcionamiento del molde.

1.3.3. Puesta a punto del molde

Una vez se han identificado todas las partes que conforman el molde de inyección de plásticos y se ha verificado que están todas, entonces se procede al ensamblaje de piezas o montaje del molde en el taller.

En este proyecto se ha trabajado siempre con la configuración de cero grados, con lo cual, las piezas específicas que no sean para este montaje no se utilizan.

En el anexo 2.3 se describe el procedimiento a seguir para el correcto montaje y desmontaje del molde paso a paso.

También en este apartado se mencionan acciones realizadas con el fin de poner a punto el molde para su funcionamiento correcto y eficaz.

En el inventario del molde, en el apartado de piezas generales del molde para todos los formatos, ya se resaltó que las medidas de las reglas no coincidían con las teóricas y después de varias comprobaciones se recortaron las reglas, ya que con los disponibles (estándares) el molde no trabajaba correctamente.

Las medidas de las reglas pasaron a ser de 346 x 96 x 43 mm a 346 x 88 x 43

También en el inventario, se observó que solo existía un cocu y que para hacer las inyecciones y conseguir valores fiables era necesario disponer de los 2 sistemas de expulsión en funcionamiento.

Se contacta con la empresa SANKO S.L. que gestiona este tipo de carro de guía para el expulsor inclinado y se procede a la compra de una unidad. (Ver catálogo de la ficha técnica en adjunto 2.10)



Foto 2: Cocu para el sistema de expulsión

Al trabajar en inyecciones de una sola cavidad, se dispuso un sistema en la canal de alimentación de material plástico fundido con el fin de evitar el llenado de una de las dos cavidades.

1.3.4. BATERÍA DE PRUEBAS

En este apartado se muestra en forma de tabla la totalidad de ensayos que se realizan en el proyecto con los valores concretos de los parámetros con que se trabaja.

Tal y como se puede observar, el ángulo de inclinación y la temperatura de refrigeración permanecen constantes para todos los casos, en cambio, temperatura de inyección, presión de compactación, tiempo de compactación y tiempo de enfriamiento tienen valores no fijos.

		Batería de pruebas																		
		Ángulo inclinación (º)					Temperatura inyección (ºC)			Presión compactación (Bares)			Tiempo de compactación (s)			Tiempo de enfriamiento (s)		Temperatura de refrigeración (ºC)		
		Plano	Poca inclinación			Mucha inclinación				Baja		Alta	Bajo		Alto	Bajo	Alto	Tª ambiente		
		0	10	20	40	45	210	230	250	0	20	40	0	3	10	12	20	27º		
PP	1	X					X			X			X			X		X		
PP	2	X					X			X			X				X	X		
PP	3	X					X				X			X		X		X		
PP	4	X					X				X			X			X	X		
PP	5	X					X				X				X	X		X		
PP	6	X					X				X				X		X	X		
PP	7	X					X					X		X		X		X		
PP	8	X					X					X		X			X	X		
PP	9	X					X					X			X	X		X		
PP	10	X					X					X			X		X	X		
PP	11	X						X		X			X			X		X		
PP	12	X						X		X			X				X	X		
PP	13	X						X			X			X		X		X		
PP	14	X						X			X			X			X	X		
PP	15	X						X			X				X	X		X		
PP	16	X						X			X				X		X	X		
PP	17	X						X				X		X		X		X		
PP	18	X						X				X		X			X	X		
PP	19	X						X				X			X	X		X		
PP	20	X						X				X			X		X	X		
PP	21	X							X	X			X			X		X		
PP	22	X							X	X			X				X	X		
PP	23	X							X		X			X		X		X		
PP	24	X							X		X			X			X	X		
PP	25	X							X		X				X	X		X		
PP	26	X							X		X				X		X	X		
PP	27	X							X			X		X		X		X		
PP	28	X							X			X		X			X	X		
PP	29	X							X			X			X	X		X		
PP	30	X							X			X			X		X	X		

Tabla 1: Listado de ensayos realizados

1.3.5. MEDICIÓN DE LAS DEFORMACIONES EN EL EXPULSOR

En este proyecto se quieren conocer los esfuerzos existentes en los expulsores, para ello, se instalan medidores de tensión que se colocan en el eje del expulsor.

1.3.5.1. Tipo y disposición de medidores

Para la medición de los esfuerzos que están en la parte superior e inferior del eje del expulsor, se instalan los medidores en ambos lados. Se disponen simétricamente con el fin de tener una mejor precisión en las mediciones, ya que así es posible comparar los valores medidos.

El diámetro del eje se reduce en las zonas donde los medidores están pegados, así se obtiene un mejor grado de sensibilidad, esto se explica por la ecuación para el cálculo de la deformación donde el espesor de la película aparece en el denominador y con una potencia de 2.

Para cada eje eyector se colocan cuatro galgas extensiométricas, dos simétricas en cada lado del eje. En el caso de inyectar las dos cavidades y querer recoger datos de los dos sistemas de expulsión serían finalmente 8 galgas.

El medidor utilizado es lineal, es decir que la medición a lo largo de un solo eje tiene una resistencia de $119,8 \pm 0,2\Omega$. Este indicador se utiliza para medir la deformación del acero.

Las medidas de la galga son:

Tamaño galga (sin conexiones) = $9,4 \times 2,8$ mm

Longitud de la conexión = 25 mm

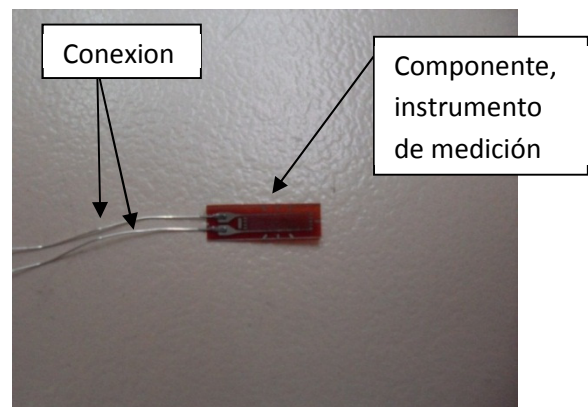


Foto 3: Detalle de la galga utilizada

1.3.5.2. Colocación de las galgas

Los medidores se deben colocar perfectamente rectos en la dirección longitudinal del eje para medir la tensión en dicho único eje, para ello, se limpia bien la zona y se marca. A continuación, los medidores se pegan en las marcas con pegamento en las áreas de medición dispuestas en el eje.

A las conexiones de la galga se les suelda un hilo de cobre que mediante regletas se conectan en el exterior del molde con los cables de la unidad del dispositivo de medición DBK43A o canales.

Finalmente, los medidores y las conexiones deben estar protegidos con una capa de resina epoxi.

Observar en la foto el detalle de la ranura del eje para la inserción de los dos cables de cobre y que estos no influyan negativamente con el ajuste fino del eje con el postizo.



Fotos 4,5, y 6: Eje del expulsor con las galgas y las conexiones protegidas con la resina

1.3.5.3. Configuración del equipo de medida (módulo DBK43A)

El módulo se configura en cuarto de puente por razones técnicas. Es necesaria esta configuración para poder determinar los esfuerzos tanto en compresión-tracción como en flexión. No es factible configurar en medio-puente porque no hay cambio aparente de temperatura.

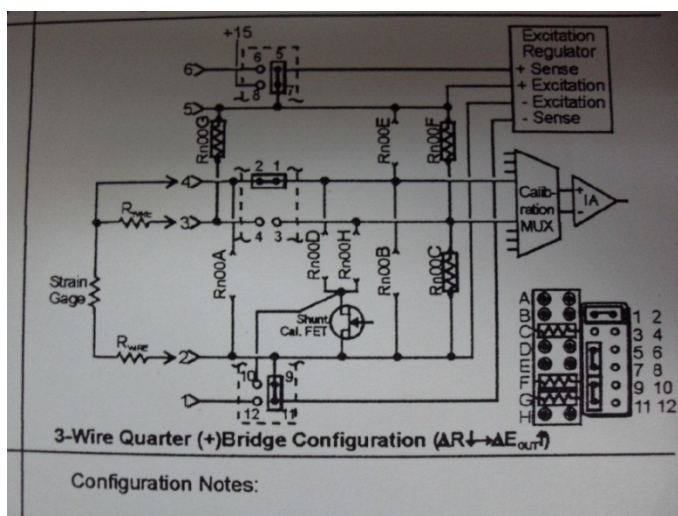


Figura 1: Esquema de la configuración en cuarto de puente

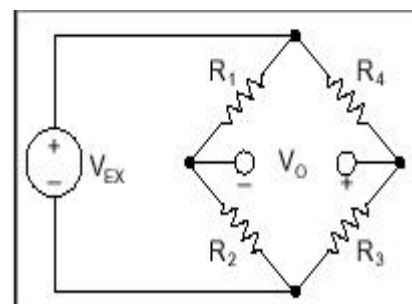


Figura 2: Esquema de configuración de las resistencias

Lo que permite este tipo de configuración es poner las resistencias del puente de Wheatstone de forma contraria, es decir, las fuerzas se restan y esto permite que se puedan medir ya que son de signo contrario.

Si se ponen las resistencias adyacentes, estas se suman, se compensan y no se pueden medir.

En el adjunto 2.5 se encuentra más información acerca del equipo de medida, calibración y funcionamiento.

1.3.5.4. Calibración de las galgas extensiométricas

La calibración se realiza con el objetivo de encontrar la ecuación por la cual se rige cada galga en la superficie en la que se encuentra para poder determinar la relación existente voltios (V) vs Fuerza (kg).

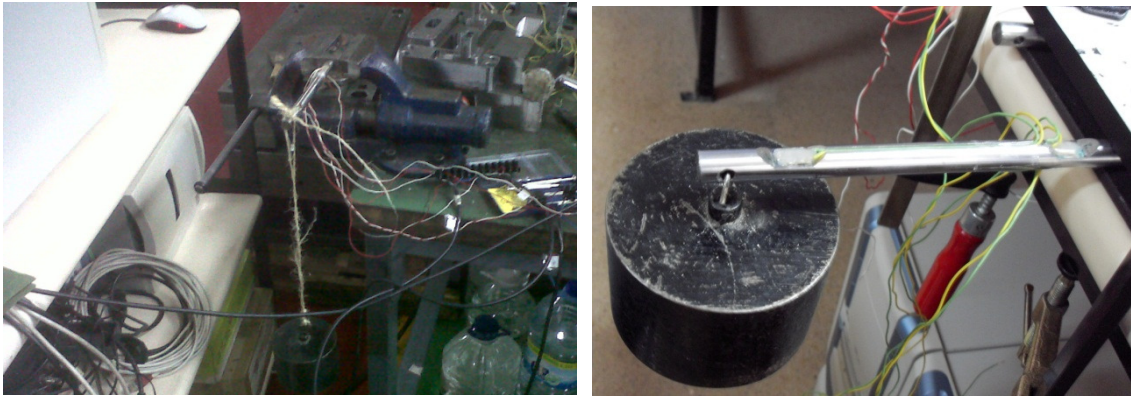


Foto 7: Calibración de las galgas en voladizo



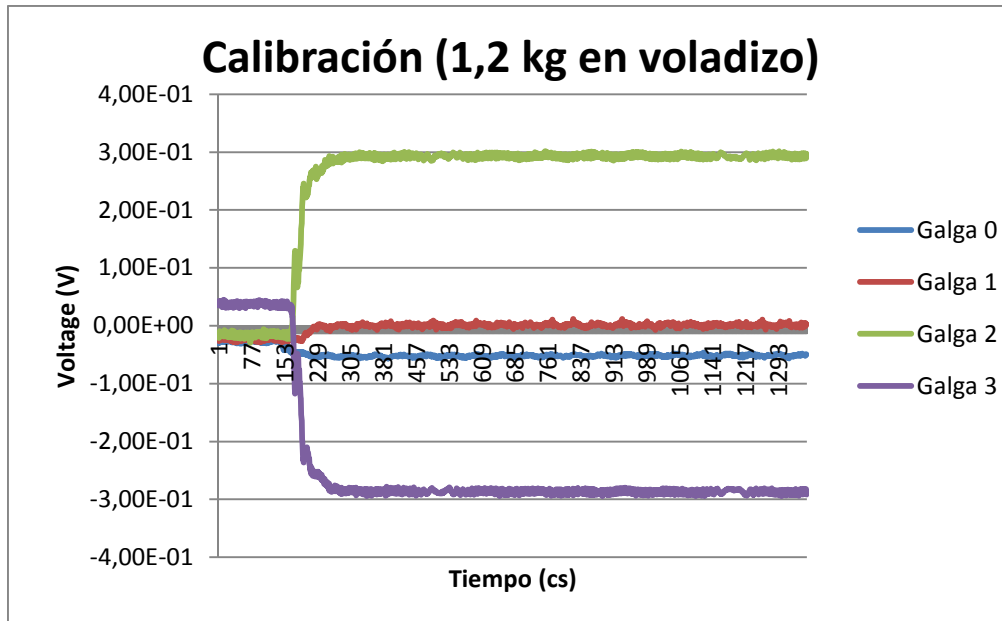
Como en el expulsor se quieren determinar tanto los esfuerzos a tracción-compresión como las deformaciones a flexión, es necesario generar dos ecuaciones, uno para cada tipo de esfuerzo y eso se hace calibrando las galgas del expulsor en horizontal (voladizo) y en vertical.

Como se observa en las fotos, en el momento de hacer la calibración para sacar las ecuaciones de las galgas, estas están conectadas con el módulo DBK 43A, que mediante el software va recogiendo datos.

Foto 8: Calibración de las galgas en vertical

Una vez se obtiene el archivo de texto que genera el Daq.View software (100 capturas/segundo) se pasa a Excel y entonces se realiza la gráfica.

Como se puede observar en la gráfica que hay a continuación, la metodología para generar y conocer los puntos de la recta es empezar a capturar datos sin el peso (en vacío). Entonces en un momento determinado se suelta el peso y la gráfica genera un pico del cual ya no se recupera si no quitas el peso. En este momento, ya se tiene un punto de la recta.



Gráfica 1: Calibración con 1,02 kg de las galgas con eje en voladizo.

Repetir el proceso mediante pesos 1,02 kg - 2,2 kg - 3,2 kg – 4,75 kg y en vacío.

Una vez se ha realizado con el expulsor en posición de voladizo, para encontrar los esfuerzos a flexión, se realizan los mismos pasos pero con la diferencia de poner el expulsor en vertical, fijado también por la punta que va al cocu y en la otra el peso. De esta manera se va a determinar la recta de los esfuerzos a tracción/compresión a que está expuesto el expulsor.

Una vez definidos los 5 puntos de la recta voltios-fuerza, se genera la ecuación de cada galga extensiométrica, en sus dos componentes, compresión-tracción y flexión. En el adjunto 2.6 se encuentran tablas, ecuaciones y rectas de la calibración.

1.3.5.5. Realización de las pruebas de inyección y adquisición de datos.

Cuando se conoce el molde, el montaje, las piezas a montar para la configuración de 0 grados, las galgas están colocadas en el expulsor, se realiza la calibración de estas, se conocen la ecuación de calibración de cada galga en la posición en que se encuentra y está el equipo de medida configurado correctamente y calibrado, es el momento de montar el molde con los expulsores dotados de las galgas e introducirlo en el interior de la máquina de inyección para empezar con la batería de ensayos.

Para la colocación del molde en el interior de la máquina y debido a las dimensiones de este, es necesario retirar las columnas de la máquina y dejarlas en el mínimo para poder abrir al máximo y entrar el molde.

Una vez está en el interior de máquina se coloca debidamente, se alinea la boquilla y se fija mediante las garras de la máquina de inyección.

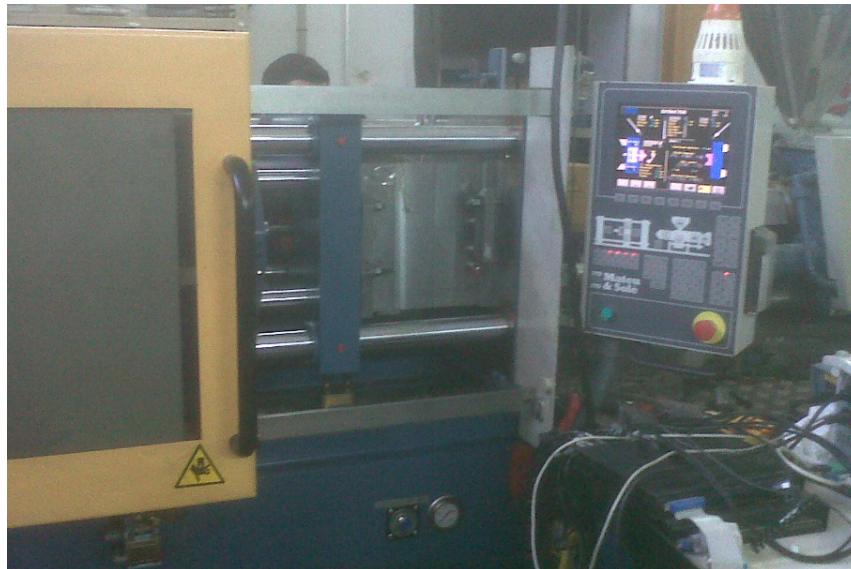


Foto 9: Colocación del molde en máquina

A continuación, se conectan los cables, bien etiquetados para evitar confusiones, mediante regletas con los cables del módulo DBK 43A que van conectados a cada canal y se empieza a realizar inyecciones con la pertinente adquisición de datos para ser tratados posteriormente.

La batería de ensayos a realizar esta descrita anteriormente en este apartado, para cada temperatura existen unos datos de máquina que es necesario conocer e indicar en máquina para el correcto funcionamiento de esta, el completo llenado de la pieza y su posterior desmoldeo.

DATOS DE MÁQUINA:

- Recorrido de expulsión: de 50 a 74 mm
- Velocidad: 10%
- Presión: 25 bar

EXPULSIÓN

DATOS REFERENTES AL MATERIAL (PP)

	210 °C	230 °C	250 °C
Dosis (dmm)	de 1350 a 185	De 1350 a 200	De 1350 a 200
Velocidad (%)	50	50	50
Tiempo inyección (s)	2,33	2,33	2,33
Presión inyección (bares)	95	80	75

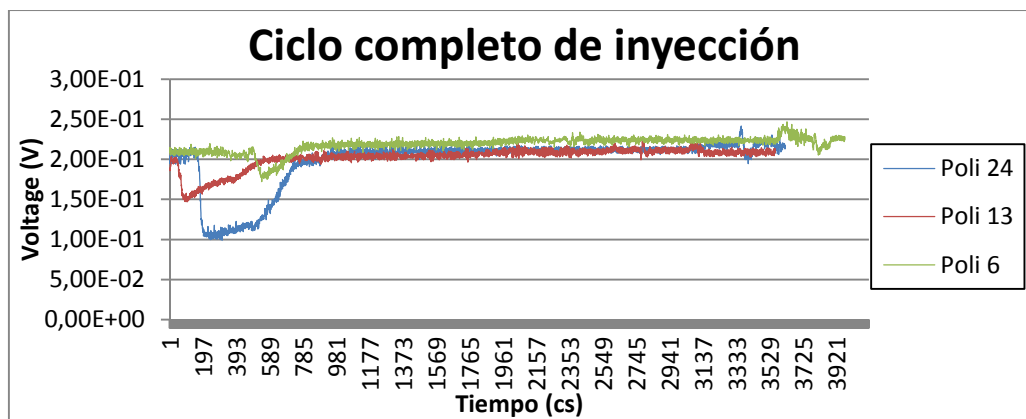
Tabla 2: Parámetros de máquina

1.4. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES

Después de realizar todo el proceso que engloba este proyecto, en este apartado se recoge en forma de gráficas y tablas los esfuerzos que sufre el expulsor en función de las diferentes variables analizadas y los conceptos que se han observado de este sistema económico y práctico de monitorizar un molde.

1.3.4.1. Medición del tiempo de todo el ciclo

En este punto se muestra como este sistema de sensorización del molde permite a bajo coste realizar el seguimiento de las presiones en el interior del molde durante todo el ciclo de inyección en las diferentes fases del proceso: fase inicial o punto muerto, inyección (I fase), compactación (II fase), refrigeración, expulsión y cierre.

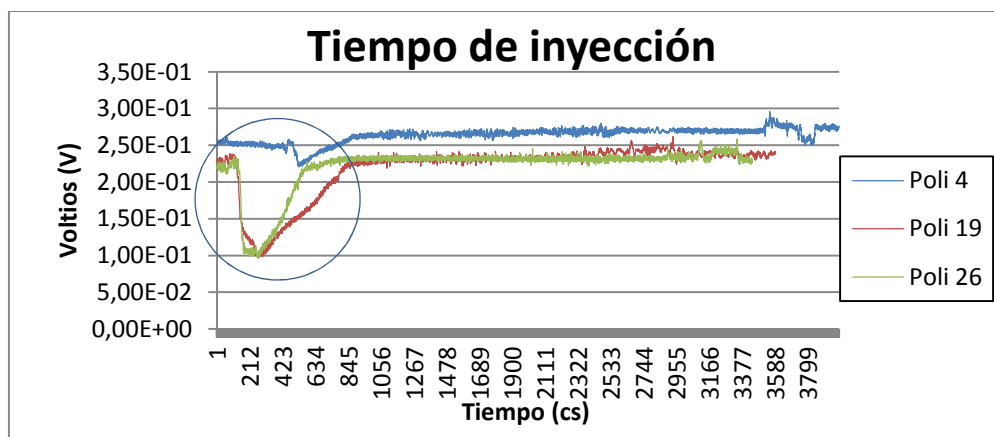


Gráfica 2: Ciclo completo del proceso a 210, 230 y 250°C

La gráfica muestra un ensayo a cada temperatura y se puede contemplar la presión en el interior del molde desde la inyección hasta el cierre del molde. El tiempo total de ciclo va de 30 a 40 segundos teniendo en cuenta los diferentes parámetros para cada caso.

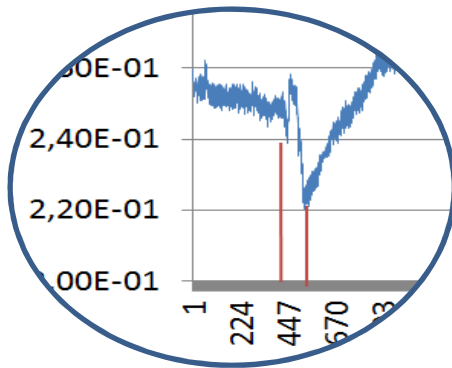
1.3.4.2. Medición del tiempo de 1ª Fase (inyección)

En este apartado se muestra que con el sistema de sensores instalados es posible la medición del tiempo de inyección durante el llenado del molde.



Gráfica 3: Ensayos a diferentes temperaturas (210, 230 y 250°C) y diferentes parámetros

A continuación se representa en modo de zoom la zona de la gráfica donde se puede apreciar la presión que recibe el expulsor en el momento de la inyección y el tiempo.



Ensayo 4

En este caso, se observa que el sistema de sensores empieza a detectar la presión de inyección a partir del momento 420 y hasta el momento 550, aproximadamente 130 centésimas de segundo que equivale a 1,3 segundos.

Figura 3: Zoom de gráfica ensayo 4

Ensayo 19

En el caso 19, se empieza a detectar la presión del plástico en el expulsor en la centésima 118 hasta el pico inferior, en la centésima 260, esto es un total de 1,4 segundos.

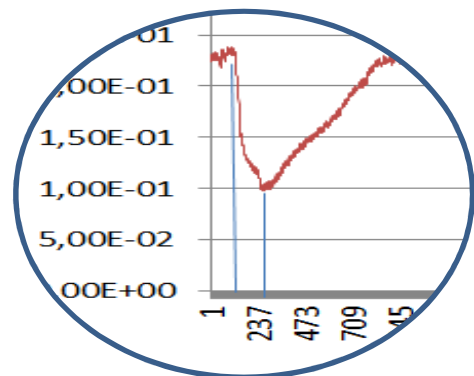
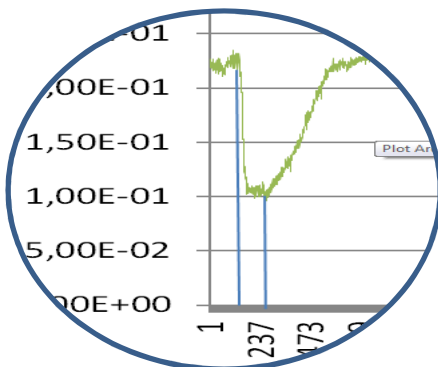


Figura 4: Zoom de gráfica ensayo 19

Ensayo 26



En el ensayo 26, como se puede observar se detecta la presión de inyección desde la centésima 90 y llega hasta el punto en que entra la presión de compactación establecido en la centésima 245, es decir el tiempo total detectando la presión de inyección es de 1,5 segundos.

Figura 5: Zoom de gráfica ensayo 26

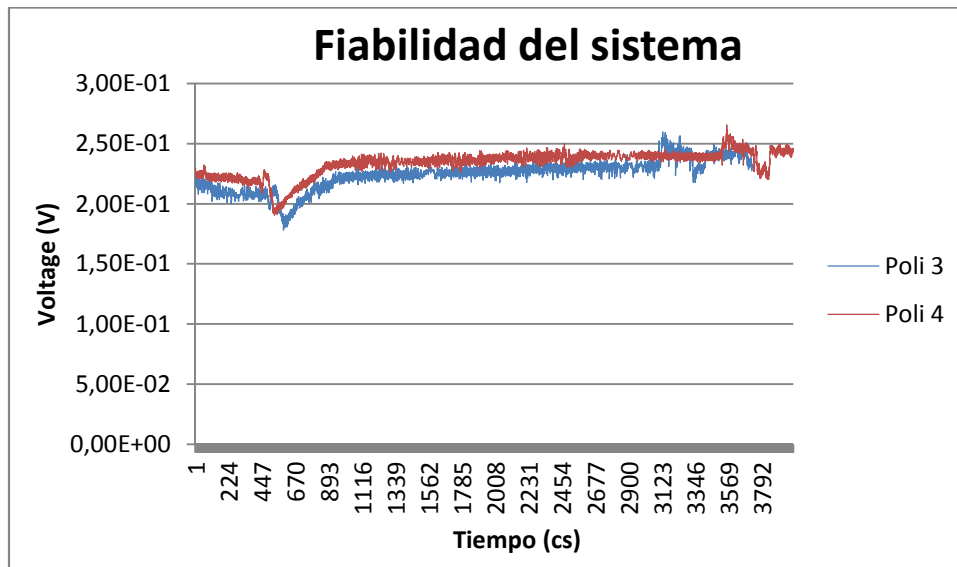
Después de analizar la totalidad de los ensayos realizados, se observa que independientemente de la temperatura de inyección, la medición del tiempo oscila entre 1,20 y 1,60 segundos, cuando en los parámetros de máquina el tiempo de inyección está fijado para todos los casos en 2,3 segundos.

Esta disminución del tiempo medido se debe a que el material realiza un recorrido de aproximadamente un segundo hasta que llega a contactar con el expulsor y a transmitir presión.

1.3.4.3 Fiabilidad del sistema

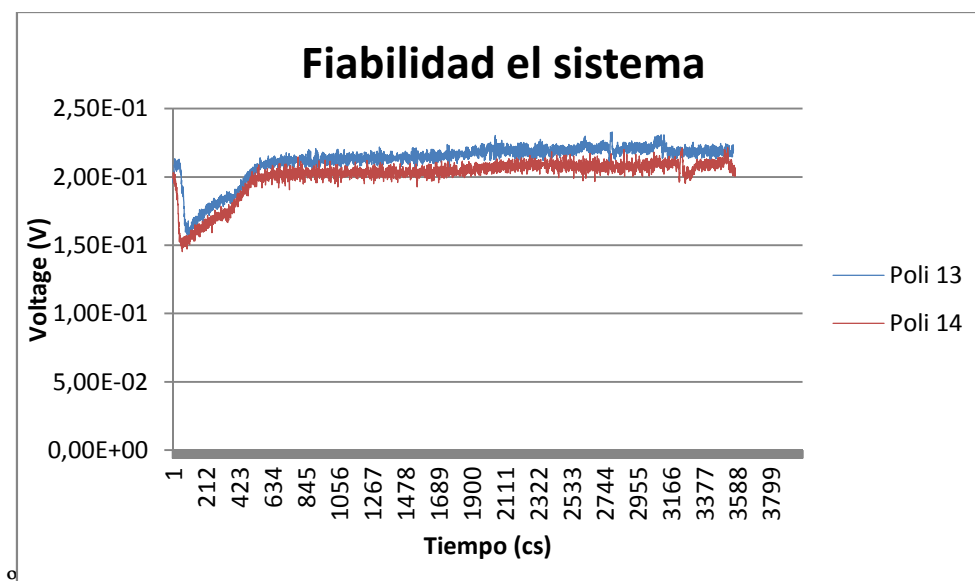
Seguidamente se quiere mostrar que el sistema de medida es fiable, esto se va a demostrar mediante la comparación de dos ensayos para cada temperatura en los cuales solo se haya cambiado el parámetro de tiempo de refrigeración.

- Ensayos 3 y 4, para temperatura de inyección 210°C



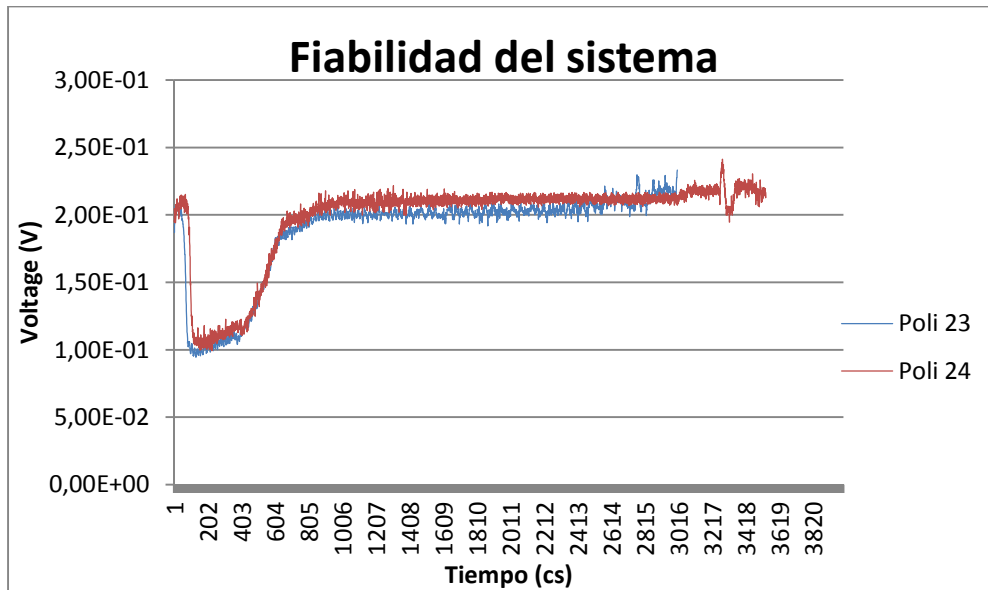
Gráfica 4: Casos 3 y 4

- Ensayos 13 y 14, para temperatura de inyección de 230°C



Gráfica 5: Casos 13 y 14

- Ensayos 23 y 24, para temperatura de inyección 250°C



Gráfica 6: Casos 23 y 24

De este punto del apartado de resultados se puede extraer que el sistema es fiable, ya que las gráficas no cambian cuando hacemos una repetición con los mismos parámetros y en consecuencia se podrá deducir que el tiempo de refrigeración o enfriamiento no afecta a la medición de las presiones más adelante presentadas.

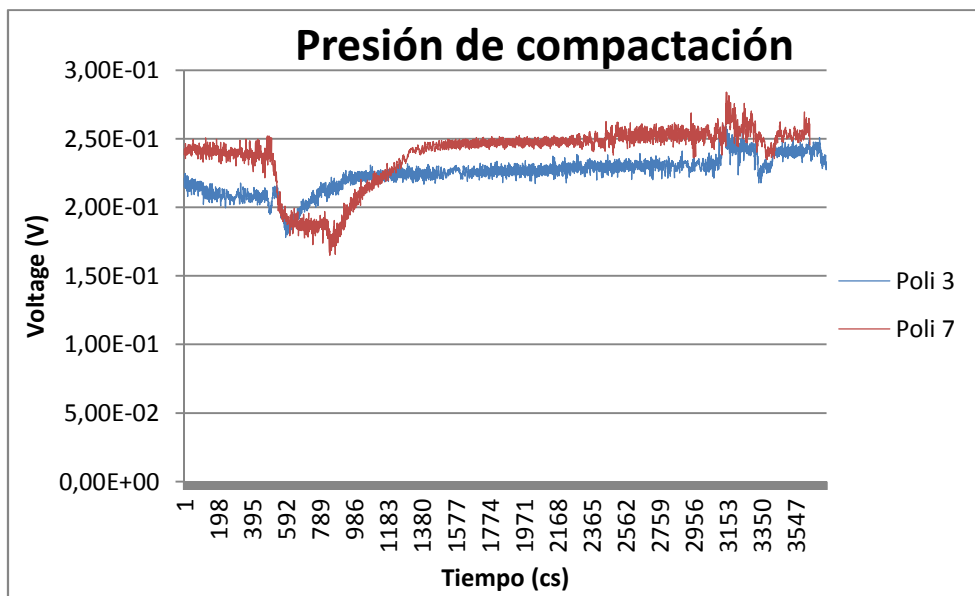
En lo único que afecta el tiempo de enfriamiento es que para casos con tiempos de enfriamiento altos (20s), el cierre de molde aparece después que en los casos con tiempos de enfriamiento cortos (12s) lo cual tiene toda la lógica.

1.3.4.4 Concepto de nivel de presión de compactación

La función de la fase de compactación es que la presión en el interior del molde disminuya mientras el material va enfriándose hasta llegar a estabilizarse. En este apartado se quiere mostrar el comportamiento de la presión en el interior del molde dependiendo de esta presión de compactación.

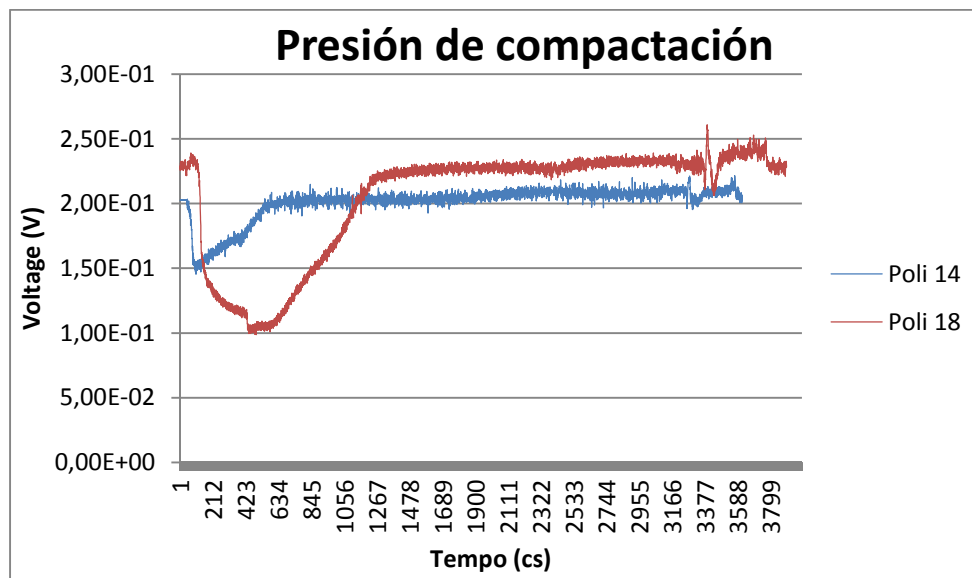
Igual que en el punto anterior, se van a analizar dos casos para cada temperatura en los cuales solo se varía el parámetro de presión de compactación para así poder entender el concepto.

- Ensayos 3 y 7, para temperatura de inyección 210°C



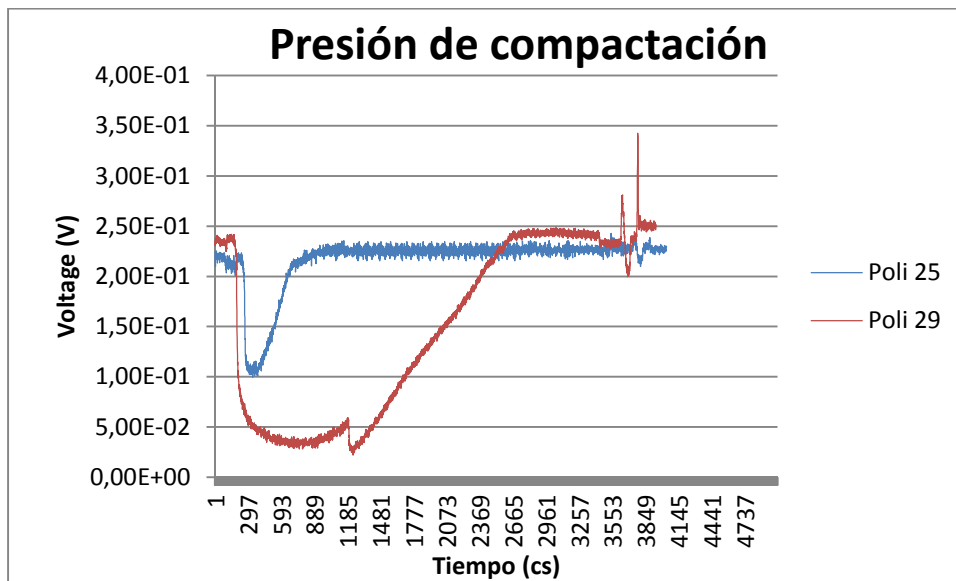
Gráfica 7: Casos 3 y 7

- Ensayos 14 y 18, para temperatura de inyección 230°C



Gráfica 8: Casos 14 y 18

- Ensayos 25 y 29, para temperatura de inyección 250°C



Gráfica 9: Casos 25 y 29

Como se puede observar con las gráficas anteriores, la presión de compactación afecta y de manera determinante en el desarrollo de la presión en el interior del molde.

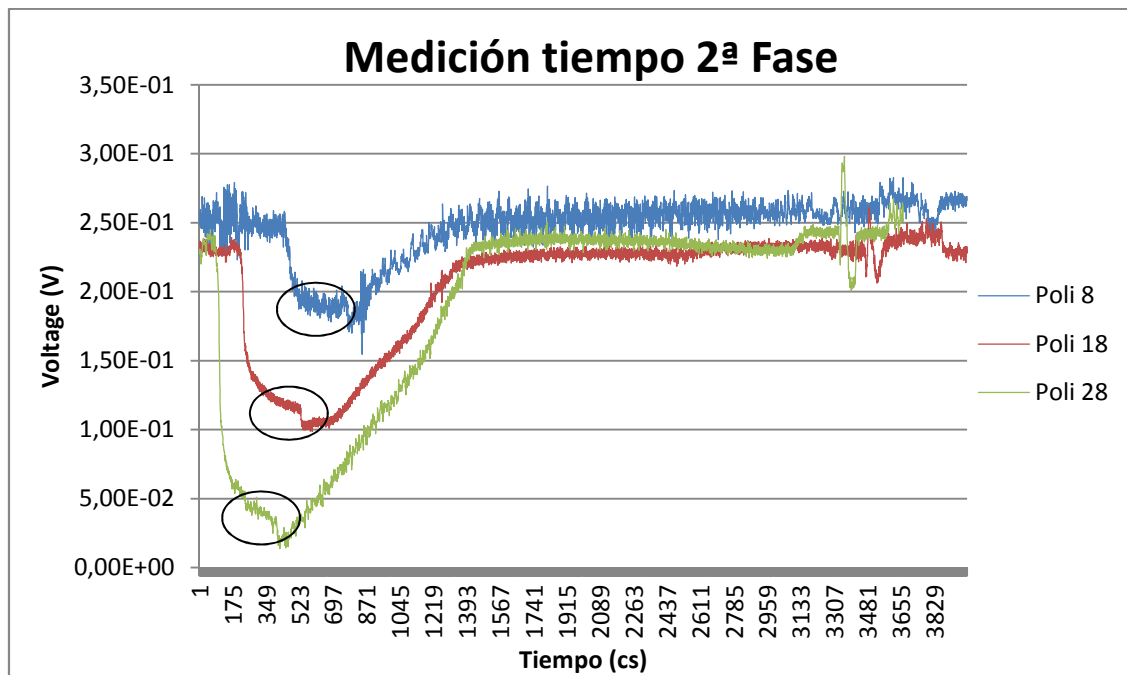
De esta manera y a partir de los ensayos realizados y analizados, se puede observar que con presiones altas, 40 bares (gráficas en rojo) el comportamiento de la presión en el interior del molde no es el más apropiado ya que en el momento de finalizar la inyección y entrar la segunda fase, fase de compactación, la presión no empieza una disminución controlada, sino que permanece constante en algunos casos hasta que entra el tiempo de refrigeración o incluso disminuye.

En cambio, trabajando con presiones bajas, 20 bares (gráficas en azul) la presión en el interior del molde sigue un perfil óptimo empezando su disminución controlada en el momento en que entra la segunda fase.

Con lo expuesto en este punto, se muestra que con este sistema de medida práctica, económica y de fácil instalación, es capaz de mostrar si el nivel de presión utilizado en futuros casos es el idóneo o no, como también de buscar la presión ideal de trabajo.

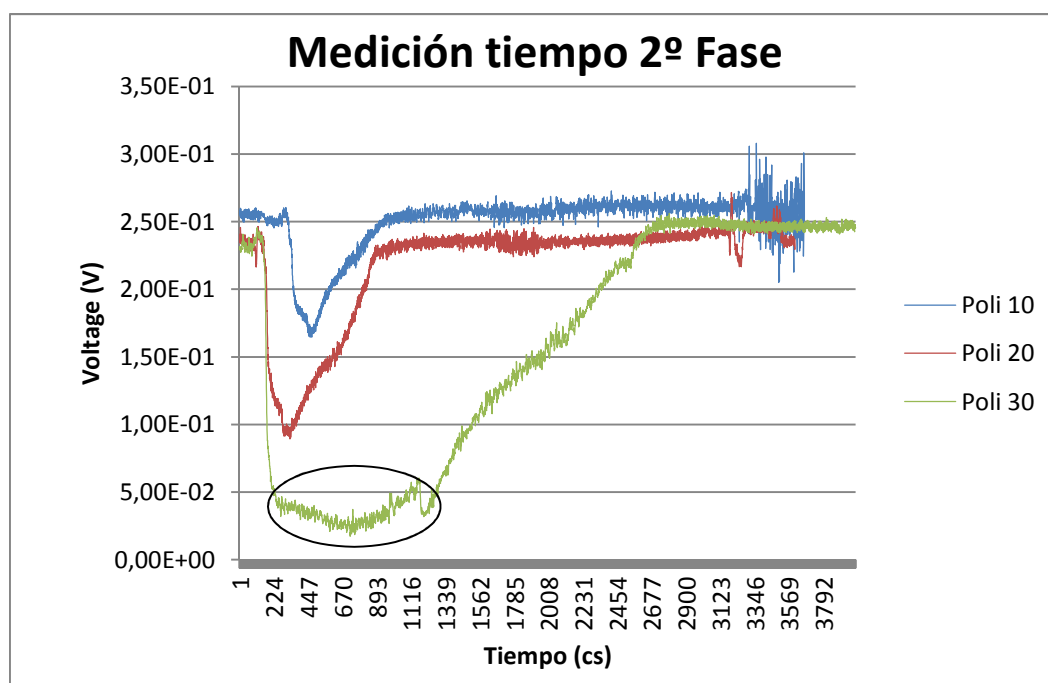
1.3.4.5. Medición del tiempo de segunda fase (compactación)

En estos ensayos a alta presión de compactación (40 bares), también se observa lo comentado anteriormente, que la presión de compactación es demasiado alta, ya que una vez entrada la segunda fase, esta no disminuye progresivamente. Pero en este punto lo que se quiere mostrar es como con el sistema de medición propuesto, es posible medir el tiempo de compactación que en este caso es de 3s.



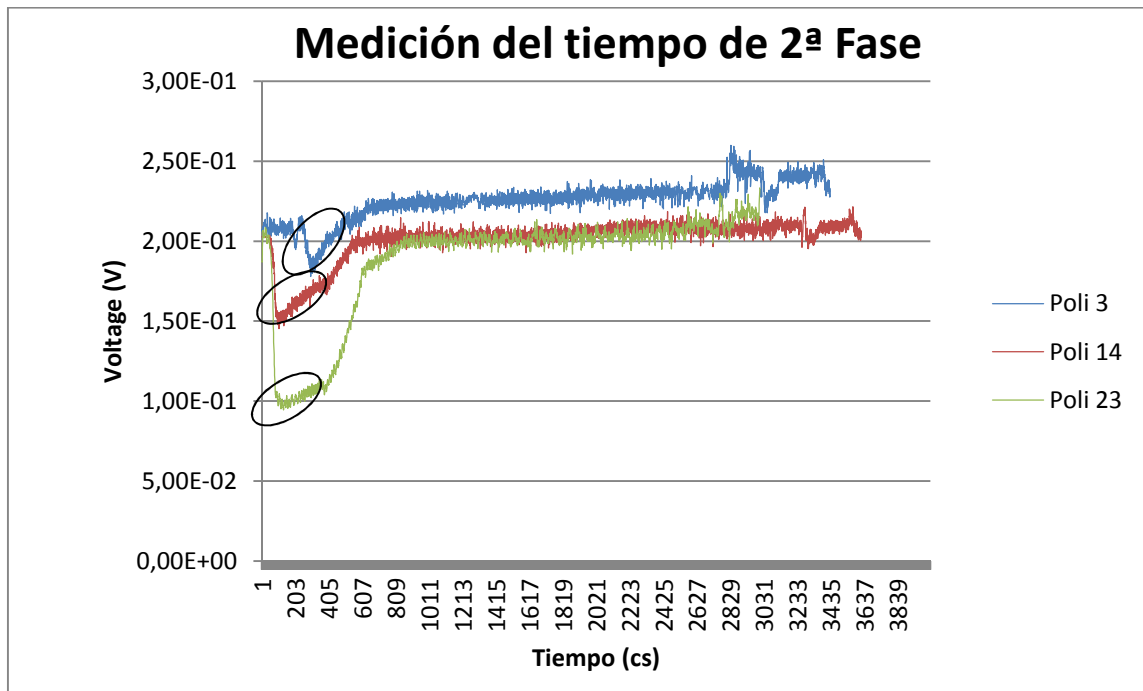
Gráfica 10: Ensayos 8,18,28

En los casos posteriores, también realizados a alta presión (40 bares), se muestra como el tiempo de compactación que es de 10s solo se mide totalmente en condiciones de alta temperatura, 250°C (gráfica verde). En los casos de 210°C (gráfica azul) y 230°C (gráfica roja) no se llega a medir la totalidad del tiempo de compactación.



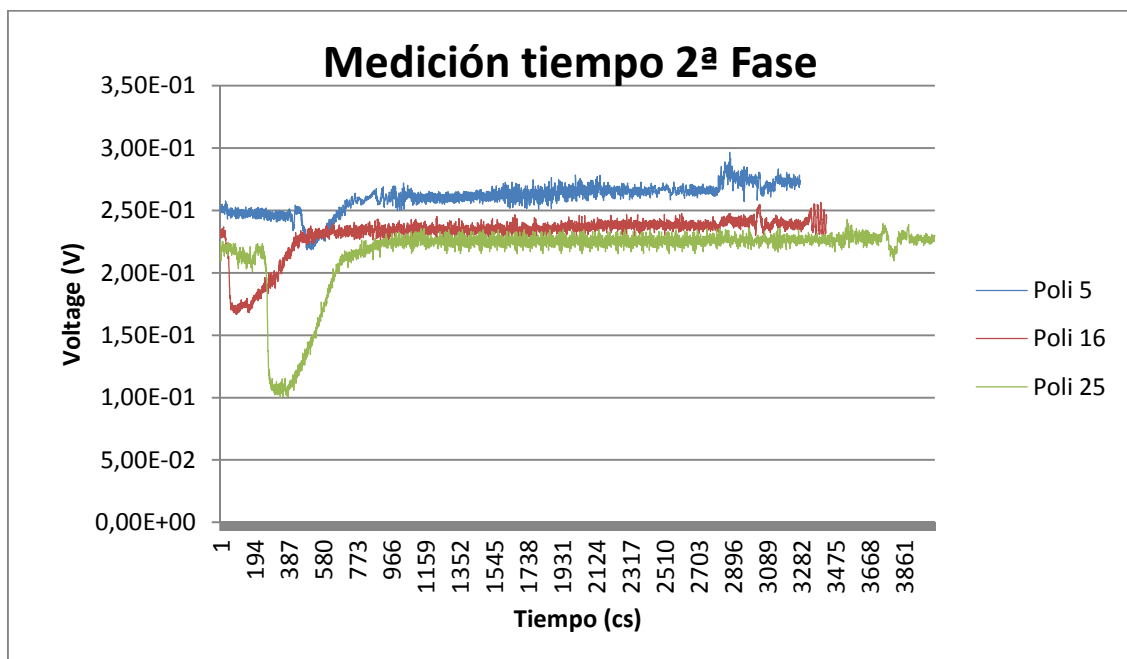
Gráfica 11: Ensayos 10,20,30

En los ensayos que se presentan en esta gráfica realizados a baja presión de compactación (20 bares) se quiere analizar cómo se lee el tiempo de compactación en función de la temperatura y la durada de este.



Gráfica 12: Casos 3, 14 y 23

Como se puede observar en la gráfica anterior indistintamente de la temperatura y con niveles de presión bajos (20 bares), es posible medir el tiempo de compactación con el equipo de medición utilizado, que es de 3 segundos, ya que se muestra mediante un salto el cambio de compresión a refrigeración.



Gráfica 13: Casos 5, 16 y 25

En la gráfica presentada se analizan los casos 5, 16 y 25 realizados con baja presión de compactación (20 bares) y tiempo de compactación de 10 segundos.

Como se muestra, en estos ensayos no es medible el tiempo de compactación en ningún caso ya que no existe ningún salto de presión entre la fase de compactación y la refrigeración.

Una vez analizadas las gráficas, los datos, los parámetros y los resultados, se puede asegurar que la medición del tiempo de segunda fase es función de la presión de compactación y de la temperatura. Es decir, para cada temperatura existe una capacidad de lectura de presión que expresado de otra manera, a mayor temperatura del material, mejor transmite la presión y eso genera el salto entre compactación y refrigeración que permite su identificación.

Otro punto a tener en cuenta es que con este sistema de medición utilizado, es posible medir tiempos pequeños de compactación a cualquier temperatura y presión.

1.3.4.6. Fuerza que recibe el expulsor en el momento de la inyección

A continuación se presenta la tabla resumen donde se pueden encontrar para cada ensayo las fuerzas que recibe el expulsor en el interior del molde en el momento de la inyección.

Se dan en diferentes unidades de medida para su fácil interpretación. Los kilogramos son el resultado de la sustitución del valor de voltios obtenidos por el equipo de medida en la recta de calibración de la galga, estos se pasan a newton para obtener la fuerza que recibe el expulsor en unidades del sistema internacional de fuerza y para terminar, como la cabeza del expulsor tiene una superficie determinada, se expresa la fuerza en Kg/cm^2 .

Ensayo	Grados (°)	Tª INY(°C)	P. COMP. (bar)	t. COMP. (s)	t. REF. (s)	F (Kg)	F (N)	F (kg/cm^2)
1	0	210	NO	NO	12	5,91	57,99	2,12
2	0	210	NO	NO	20	3,95	38,76	0,14
3	0	210	20	3	12	7,87	77,22	0,29
4	0	210	20	3	20	7,87	77,22	0,29
5	0	210	20	10	12	6,40	62,80	0,23
6	0	210	20	10	20	9,34	91,64	0,34
7	0	210	40	3	12	18,41	180,57	0,67
8	0	210	40	3	20	23,31	228,65	0,85
9	0	210	40	10	12	16,94	166,15	0,62
10	0	210	40	10	20	21,10	207,01	0,77

Tabla 3: Fuerzas recibidas por el expulsor en la inyección

Ensayo	Grados (°)	Tª INY(°C)	P. COMP. (bar)	t. COMP. (s)	t. REF. (s)	F (Kg)	F (N)	F (kg/cm ²)
11	0	230	NO	NO	12	0,00	0,00	0,00
12	0	230	NO	NO	20	0,00	0,00	0,00
13	0	230	20	3	12	13,02	127,70	0,48
14	0	230	20	3	20	14,24	139,71	0,52
15	0	230	20	10	12	0,00	0,00	0,00
16	0	230	20	10	20	16,45	161,35	0,60
17	0	230	40	3	12	0,00	0,00	0,00
18	0	230	40	3	20	33,35	327,19	1,22
19	0	230	40	10	12	32,37	317,58	1,18
20	0	230	40	10	20	36,29	356,04	1,33
21	0	250	NO	NO	12	0,00	0,00	0,00
22	0	250	NO	NO	20	16,69	163,75	0,61
23	0	250	20	3	12	25,90	254,12	0,95
24	0	250	20	3	20	26,49	259,89	0,97
25	0	250	20	10	12	27,86	273,35	1,02
26	0	250	20	10	20	31,15	305,56	1,14
27	0	250	40	3	12	0,00	0,00	0,00
28	0	250	40	3	20	54,25	532,22	1,98
29	0	250	40	10	12	51,24	502,66	1,87
30	0	250	40	10	20	54,67	536,31	2,00

Tabla 4: Fuerzas recibidas por el expulsor en la inyección

De esta serie de resultados para cada ensayo realizado en el laboratorio, se puede llegar a una serie de observaciones:

Claramente la detección de la presión a través de un expulsor monitorizado depende mucho de la capacidad que tiene el polímero en transmitir la energía de presión que se genera desde el punto de entrada, por ello cuanto más fluido es el material más facilidad se tiene para detectarlo. Por ello :

- La fuerza que recibe el expulsor durante la inyección depende de la temperatura de inyección, a mayor temperatura, mejor fluye el material por la cavidad y por ello más fácil se transmite la presión al expulsor.
- La fuerza que recibe el expulsor durante la inyección es función de la presión de compactación, a mayor presión de compactación, mejor transmisión de fuerza al material y mayor fuerza hacia este.
- El rango de la fuerza se encuentra entre: 38 y 537 newton o 3,95 y 55 kg o 0,14 y 2 kg/cm².

1.3.5. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

Las conclusiones a las que se llega después de la realización del proyecto son las que se presentan a continuación:

- Mediante este sistema de sensorización de los expulsores, se conocen los esfuerzos a que está sometido el expulsor en el interior del molde y con diferentes parámetros de proceso.
- Con la monitorización de los expulsores, se logra la identificación/medición de los tiempos de cada fase.(inyección, compactación)
- A bajo coste, se logra dotar a un molde con sensores con funcionamiento e instalación sencilla capaces de trabajar dando resultados fiables y verídicos.

Futuras líneas de investigación:

- La ranura de paso de los cables de los sensores en el expulsor, debería mecanizarse con el fin de obtenerla más profunda y más ancha para el correcto posicionamiento de los cables y evitar así su interferencia en el ajuste del expulsor y el postizo eliminando así el cizallamiento de los mismos.
- El modelo del cocu utilizado funciona perfectamente para la configuración de 0°, en el caso de otras inclinaciones con ángulos distintos de 0, su funcionamiento no está garantizado al 100%.
- La continuación de este proyecto, debería ir encaminada a la realización de pruebas de inyección con las configuraciones de 10, 20, 40 y 45° para así conocer los esfuerzos a que está sometido el expulsor inclinado y engrandecer la bibliografía de este tipo particular de expulsores.
- En el mismo marco que el punto anterior, se deberían realizar inyecciones con otros materiales, por ejemplo policarbonato, así obtener más información acerca de los esfuerzos recibidos por el expulsor a lo largo del ciclo de inyección de plásticos.

1.3.6. BIBLIOGRAFÍA

- Vishay-Micromasures Teoría de medición con galgas.
- HBM entreprise, catálogo Strain Gages and Accessories
- MENGES G, Moldes para INYECCION DE PLASTICOS
- Sebastien Colomb ETALONNAGE DE JAUGES EXTENSOMETRIQUES SUR DES EJECTEURS INCLINES (proyecto final de carrera)
- VAP SA, Catálogo de componentes del molde.
- Sanky Oilless Iberia SL, catálogo cocu.

Webs :

- Fabricantes de Moldes de Inyección de Plástico, www.moldblade.com
- Moldes para inyeccion de plastico, www.informoldes.com
- Análisis del comportamiento mecánico de expulsores inclinados. www.dmg-lib.org/dmglib/handler?docum=13576009