



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

UNIDAD ACADÉMICA PROFESIONAL TIANGUISTENCO

“Puesta a punto de una máquina de inyección de plásticos para procesar probetas de tensión”

TESIS

PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO EN PLÁSTICOS

P R E S E N T A

IVÁN NAVARRETE VILLALVA

DIRECTOR: M. EN I. RAYMUNDO MEDINA NEGRETE

TIANGUISTENCO, MÉX.

OCTUBRE 2015



UAEM | Universidad Autónoma
del Estado de México

UAP TIANGUISTENCO
Unidad Académica Profesional Tlanguistenco

El comité revisor designado por la Subdirección Académica de la Unidad Académica Profesional Tlanguistenco de la Universidad Autónoma del Estado de México, aprobó la tesis: **Puesta a punto de una máquina de inyección de plásticos para procesar probetas de tensión** y autorizó la impresión de la misma del C. Iván Navarrete Villalva el día **27 de junio de 2016**.

ATENTAMENTE
PATRIA, CIENCIA Y TRABAJO

"2016, Año del 60 Aniversario de la Universidad Autónoma del Estado de México"

Revisor
Mtro. Emilio F. Munguía Ponce

Revisor
Mtro. Manuel Álvaro Salazar Vázquez

Asesor
M. En I. Raymundo Medina
Negrete

M. en Ing. Gloria Ortega Santillán
Subdirectora Académica de
la UAP Tlanguistenco
Vo.Bo.



www.uaemex.mx

Paraje el tejocote S/N, San Pedro Tlaltizapan, Tlanguistenco Edo. de México
Tel. y fax: (01 722) 481 08 00 | E-mail: uapsantiago@uaemex.mx

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco a la Universidad Autónoma del Estado de México, a la Unidad Académica Profesional Tianguistenco y al Laboratorio de Manufactura de Plásticos, por el apoyo brindado para el desarrollo de este proyecto. Gracias por el apoyo a los maestros, encargados de laboratorio y compañeros de este centro de estudios, hoy mi casa.

Agradezco profundamente al Maestro Raymundo Medina, quien con su enseñanza y ejemplo ha creado en mí, la ideología de que un ingeniero está hecho para ayudar a la sociedad.

A mi familia y amigos, fuente de apoyo constante e incondicional, en especial a mi madre, quien es la muestra viva de que el trabajo duro y la perseverancia logran grandes cosas.

Y finalmente a cada una de las personas que directa o indirectamente estuvieron presentes en el desarrollo de este proyecto, solo queda decirles: GRACIAS.

ÍNDICE.

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	iv
PRÓLOGO.....	v
INTRODUCCIÓN.....	vi
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	vii
JUSTIFICACIÓN.....	viii
HIPOTESIS.....	ix
OBJETIVOS.....	x
OBJETIVO GENERAL.....	x
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	x
METODOLOGÍA.....	xi
ANTECEDENTES.....	xiii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Historia de la inyección.....	3
1.2. Partes de una máquina de inyección.....	5
1.2.1. Unidad de Inyección.....	7
1.2.2. Unidad de cierre.....	9
1.2.3. Unidad de control.....	11
1.3. Equipos periféricos utilizados para procesar probetas de tensión... 13	
1.3.1. Acondicionadores de material.....	14
1.3.2. Control de Temperatura.....	15
1.4. Descripción de los componentes del molde utilizado para inyectar probetas de tensión.....	16
1.5. Características de materiales a procesar.....	21
CAPÍTULO 2. PREPARACION DEL EQUIPO PARA EL PROCESO DE INYECCION DE UN PRODUCTO PLÁSTICO.....	24
2.1 Selección de la máquina de inyección a utilizar.....	26
2.2 Aspectos a controlar para el montaje del molde.....	29
2.3 Sistema de enfriamiento.....	35
2.4 Variables a controlar en la máquina de inyección.....	39
2.5 Definición del tiempo de ciclo.....	41

CAPÍTULO 3. ESTABLECIMIENTO DE LOS PARÁMETROS NECESARIOS PARA LA PUESTA A PUNTO.....	44
3.1 Rangos de temperatura para transformar el material.....	46
3.2 Presión de inyección.....	48
3.3 Fuerza de botado.....	50
3.4 Apertura y cierre de molde.....	52
3.5 Posición del grupo inyector.....	54
3.6 Contrapresión y tiempo de sostenimiento.....	56
3.7 Carga de material.....	58
3.8 Tiempo de enfriamiento.....	60
3.9 Obtención de las probetas bajo los parámetros establecidos.....	62
CAPÍTULO 4. REFLEXIÓN Y CONCLUSIONES.....	66
4.1 Método.....	68
4.2 Maquinaria y equipos.....	69
4.3 Instalaciones.....	70
4.4 Medio ambiente.....	71
4.5 Mano de obra.....	72
4.6 Conclusión de la hipótesis.....	73
ANEXOS.....	74
I. Ficha Técnica del P.E.T.....	74
II. Ficha Técnica del ABS.....	75
III. Ficha Técnica del Polipropileno.....	76
IV. Formato de control de inyección.....	77
V. Cálculos de los parámetros de transformación.....	79
VI. Plastics; Determination of tensile properties.....	82
VII. Capacidad de enfriamiento.....	93
REFERENCIAS.....	94

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.

Ilustración 1.1: Máquina de Inyección	5
Ilustración 1.2: Composición de las unidades de la máquina de inyección	6
Ilustración 1.3 Unidad de inyección	7
Ilustración 1.4 Unidad de cierre	9
Ilustración 1.5 Unidad de Control.	11
Ilustración 1.6: Clasificación de los equipos periféricos.	13
Ilustración 1.7: Dehumificador de plásticos.	14
Ilustración 1.8: Chiller.....	15
Ilustración 1.9: Molde de inyección de probetas.....	16
Ilustración 1.10 partes del molde utilizado	17
Ilustración 2.1: Posición del cáncamo.	30
Ilustración 2.2: Colocación de las bridas.	31
Ilustración 2.3: Anillo centrador	32
Ilustración 2.4: Montacargas	33
Ilustración 2.5: Montaje de un molde.....	34
Ilustración 2.6: Sistema de enfriamiento en el molde	35
Ilustración 2.7: Conexión del sistema de enfriamiento.	36
Ilustración 3.3: Parámetros de botado de las piezas.	50
Ilustración 3.4: Apertura y cierre de molde	52
Ilustración 3.5: Posición de la unidad de inyección.	54
Ilustración 3.6: Presiones de sostenimiento	56
Ilustración 3.7: Plastificación de resina a transformar.	58
Ilustración 3.8: Tiempo de ciclo y porcentaje de plastificación	60
Ilustración 3.9 Control de las unidades de la maquina	62
Ilustración 3.10 Molde cerrado, ciclo de inyección.	63
Ilustración 3.11 Cambio dimensional de las probetas tras ajustar el defecto de conmutación.....	64
Ilustración 3.12 Probetas de tensión de plástico	65

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1: Metodología PDCA.....	xi
Tabla 1.3: Componentes de la unidad de cierre.....	10
Tabla 1.4: Componentes de la unidad de control.....	12
Tabla 1.5: Componentes de las partes de un molde.....	17
Tabla 1.6: Características de transformación de los materiales utilizados.....	23
Tabla 2.1 Características de la máquina a utilizar.....	27
Tabla 2.2 Rango de temperaturas para los distintos materiales.....	37
Tabla 2.3 Características de presión.....	40
Tabla 2.4 Descripción del ciclo de inyección.....	42
Tabla 3.1 Rango de temperatura de los materiales a procesar.....	46
Tabla 3.2 Parámetros de presión de inyección.....	49
Tabla 3.3 Parámetros de entrada y salida de botadores.....	51

PRÓLOGO.

Un ingeniero en Plásticos es en esencia un solucionador de problemas, en esta tesis se desarrolla el proceso productivo de un producto inyectado. Por lo tanto si el Ingeniero es un solucionador de problemas, debe de contar con mucha disciplina técnica y administrativa, para poder ejecutar de manera óptima su tarea profesional.

Desarrollar la cadena de valor de un proceso productivo, requiere que un Ingeniero analice y ejecute las siguientes etapas, planeación, ejecución, verificación y retroalimentación y en base a los resultados obtenidos, tomar las acciones necesarias para ajustar o mejorar lo realizado de manera sistemática. Fundamental que el ingeniero aplique una metodología o procedimiento claro y preciso a las actividades que realiza, haciendo una adecuada selección de equipos y periféricos que se utilizarán, sin descuidar y contar con instalaciones adecuadas y acondicionadas para llevar a cabo la tarea planeada. Los materiales y procesos utilizados para fabricar un producto, deben ser perfectamente definidos y evaluados para cumplir con la función, calidad y costo definidos para un producto. En respuesta a lo anteriormente descrito, las capacidades y habilidades del Ingeniero en Plásticos, son parte fundamental para el logro de los objetivos determinados durante el desarrollo de un producto.

Conocer las máquinas y equipos involucrados en el proceso de inyección, preparar el molde, identificar las variables y parámetros importantes de control, para garantizar la calidad de los productos inyectados y obtener los tiempos y movimientos óptimos del ciclo productivo que genere los mejores beneficios para la empresas, minimizando los costos involucrados en la fase productiva, requiere toda la atención del Ingeniero y desarrollar a través de la capacitación, recursos humanos orientados cien por ciento a la solución de problemas.

Si lo anterior se desarrolla correctamente en un ambiente de mejora continua, cuando se presenten problemas, el Ingeniero, tendrá suficiente información para investigar las posibles causas y efectos que se presenten y poder establecer contramedidas de manera oportuna, en beneficio de los clientes.

INTRODUCCIÓN.

El proceso de puesta a punto de los equipos que intervienen en la transformación de un producto plástico es importante, ya que de esta puesta a punto depende la calidad y cumplimiento de las especificaciones del producto a procesar. A través de un proceso metodológico, se establecerán los pasos a seguir para el ajuste y modificación de las diferentes variables que se tienen que controlar en un proceso de inyección de plástico.

Por lo tanto, se pretende documentar los parámetros primordiales (temperatura, presión y velocidad) relacionados con una puesta a punto de un proceso de inyección haciendo de este uno de los objetivos de este trabajo.

Como producto de esta tesis se obtienen probetas de tensión de los materiales previamente establecidos, ya que las propiedades mecánicas del material influyen directamente con la aplicación final. La fabricación de las probetas está regida por la norma ISO 527-2, donde se toma el tipo 1-A con espesor establecido de 4mm, esta no es la única norma en la que se menciona la especificación de fabricación de las probetas, ya que aparece también en la norma ISO 20753 como tipo A1, y están limitadas en la norma ISO 3167, en la que se establecen varios tipos de probetas, su fabricación y medidas estándar para controlar las propiedades de las mismas (ISO-3167-2014, 2014).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Para la obtención de productos plásticos de calidad se necesita que el proceso por el que se realizan dichas piezas sea el adecuado y para esto se debe conocer los factores que intervienen en la transformación de la materia prima. Para este estudio, se procederá a llevar a cabo la fabricación de probetas de tensión con los materiales: Polipropileno, ABS y PET mediante el proceso de inyección, con la finalidad de determinar la influencia del material en el proceso.

A nivel industrial la instalación del molde y conexión de equipos periféricos son dos de los factores importantes para la producción de piezas de plástico. Para una adecuada manipulación de los moldes, se requiere de conocimientos y habilidades que apoyados en técnicas adecuadas nos llevara a realizar los cambios de manera óptima.

Los equipos periféricos son importantes para el control de los parámetros a establecer en el proceso, pues de estos va a depender la calidad de la de la pieza a procesar, algunos aspectos como la temperatura del molde y el control de humedad de los materiales a procesar, deben ser manejados por equipos periféricos específicos.

Una vez implementado el sistema para la puesta a punto de la máquina se documentarán los pasos a seguir para llevar a cabo el proceso de transformación de un material plástico.

JUSTIFICACIÓN.

El cálculo correcto de los parámetros de moldeo por inyección es de gran relevancia al momento de transformar un plástico, pues las velocidades y presiones dependerán de la complejidad de la pieza y el material utilizado. Existe una relación entre la longitud y forma de colada con la presión de inyección sin dejar de lado la temperatura tanto del molde como de la resina a procesar, ya que después del punto de inyección el flujo de material se acoplará dentro de la cavidad derivando en cambios de flujo debidos a caídas de presión y esfuerzos residuales generando la aparición de líneas de soldadura, afectando la calidad de la pieza. (PLENCO, 2009)

La razón primordial de realizar la puesta a punto de una máquina de inyección, es establecer los parámetros nominales de operación, los cuales afectan directamente al proceso. Estos parámetros nominales, son determinados por el material a inyectar, pues las características de proceso dependen de cada polímero, para este fin se pretende desarrollar una hoja técnica en donde se especifiquen los parámetros de presión, temperatura y velocidad que interviene en la obtención de piezas, así como algunas características específicas del molde en que se van a inyectar las piezas, tales como tipo de botado, tipo de colada, etc.

Las probetas de tensión a inyectar, deben cumplir con la norma ISO 527-1 o su homóloga, ASTM D638, en ellas se estipula la geometría con la que se realizan dichas probetas, así como también la forma de llenado y puntos de inyección, ya que cuando se fabrican por este método, presentan una orientación cada vez menor a medida que aumenta la distancia desde el punto de inyección, lo que genera un desarrollo no constante de la curva de propiedades mecánicas a lo largo de la probeta y a menudo, una rotura de la probeta por el lado opuesto de la inyección (Zwick / Roell , 2015). Para contrarrestar la fractura del material en un punto no deseado se debe acondicionar cada parámetro hasta obtener probetas correctas (Bornemann, 2015).

HIPOTESIS.

¿La calidad y tiempo de elaboración de un producto, dependen o están determinados por un correcto análisis y el establecimiento de los parámetros de operación de las principales variables (presión, temperatura, humedad, velocidad, tiempo, etc.) involucradas en la puesta a punto de un proceso de inyección?

OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL.

Definir el procedimiento óptimo, para la obtención de piezas a partir de un proceso de inyección de plásticos, adecuando los parámetros de transformación para diferentes materiales. Aplicando la metodología "PDCA" en el procedimiento de puesta a punto de un proceso, identificando y estableciendo los parámetros de control para producir productos con la calidad establecida.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- I.* Definir el proceso de puesta a punto de una máquina de inyección para la fabricación probetas de tensión.
- II.* Describir la función de cada uno de los equipos periféricos relacionados con el proceso de inyección de probetas de tensión.
- III.* Establecer los parámetros de control en una máquina de inyección y el efecto que tienen estos en el producto final.
- IV.* Confirmar la hipótesis.

METODOLOGÍA.

En este trabajo se busca analizar y documentar los parámetros que intervienen en el proceso de transformación y los efectos que cada cambio de parámetros tiene en la pieza final. Para obtener esto, se aplicará la metodología del “PDCA” y su ciclo de aplicación desde el planteamiento del problema hasta la obtención de los resultados, cumpliendo con los pasos de control que marca dicho método, en donde cada uno de los cuatro pasos generales tiene derivaciones y cubren un campo específico dentro de la resolución de problemas.

Metodología “PDCA”:

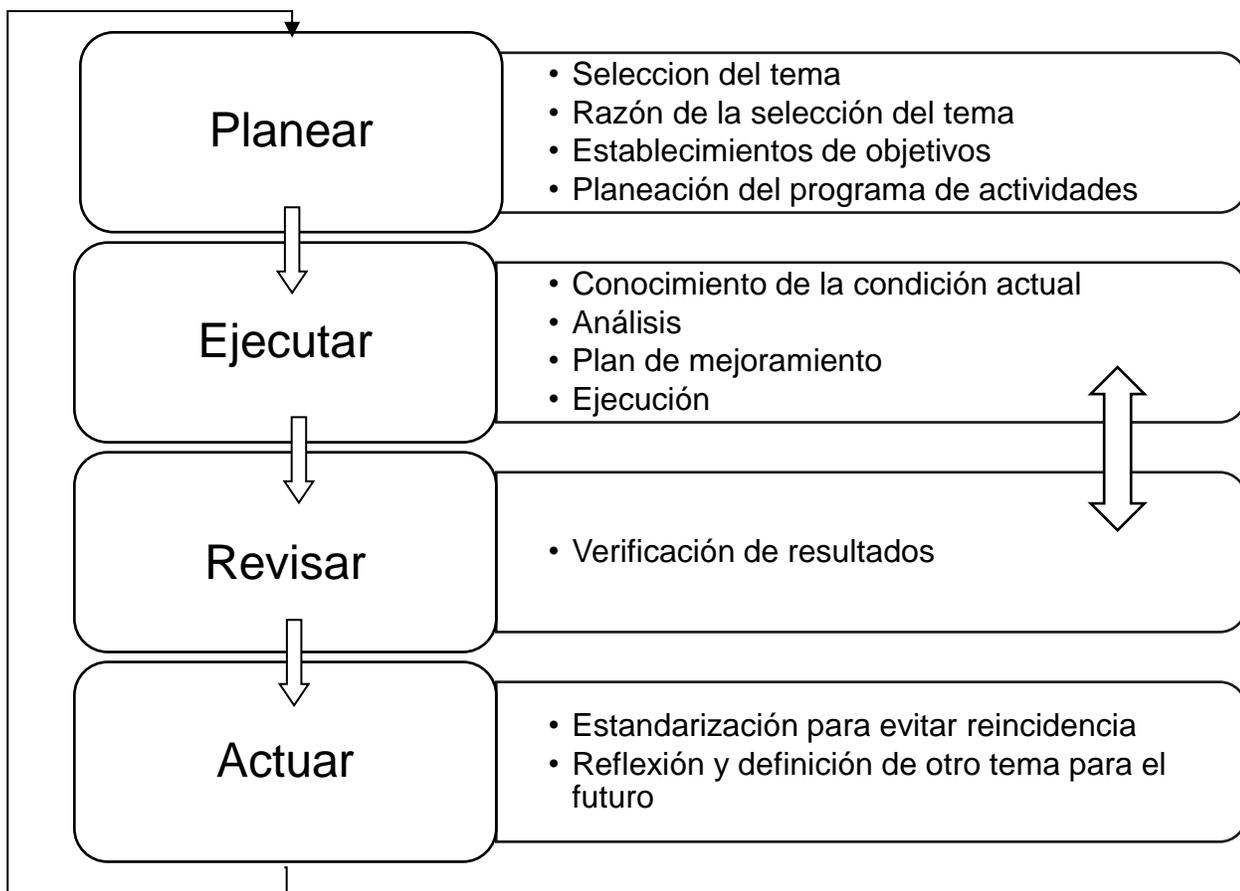


Tabla 1: Metodología PDCA

Pasos a seguir para la obtención de un producto plástico mediante el ciclo del PDCA:

1 Planear.

- Determinar el producto y material a procesar y el plan de acción a seguir para lograr los objetivos.
- Determinar los parámetros de proceso, tales como temperatura y presión, revisando cada uno de los sistemas eléctricos, térmicos y mecánicos de la máquina y periféricos utilizados para dicho propósito.

2 Hacer.

- Establecer los parámetros para la puesta a punto del proceso de inyección, tomando en cuenta la forma de llenado de la pieza y el material a utilizar.
- Aplicar los procedimientos establecidos para la obtención de piezas, tomando en cuenta cada cambio de parámetros y el efecto que tienen dentro del proceso.
- Realizar cambio de materiales ajustando los parámetros con respecto al material procesado.

3 Verificar.

- Verificar los resultados obtenidos bajo las condiciones antes establecidas y retroalimentar lo que sea necesario para la producción de piezas.
- Retroalimentar las actividades realizadas y generar un historial con los cambios realizados y su efecto en el producto final, con la finalidad de conocer el comportamiento del material con respecto a las condiciones de arranque establecidas.
- Analizar los resultados con diferentes materiales para comprobar que los parámetros para cada tipo de material procesado sean los adecuados.

4 Actuar.

- Documentar toda la información obtenida del proceso de arranque y puesta a punto de la máquina para la obtención de piezas, manejando gráficos e imágenes para hacer más ilustrativo el procedimiento.
- Documentar una ficha técnica en donde se especifiquen los parámetros utilizados para cada material.
- Realizar un procedimiento, corroborando cada uno de los parámetros utilizados, para describir el proceso.
- Emitir conclusiones finales y experiencias obtenidas de este trabajo.

ANTECEDENTES.

La puesta a punto de un proceso es uno de los aspectos fundamentales a nivel industrial, pues ahí empieza el proceso de producción. Al realizar este proceso se analiza cada uno de los componentes del molde para corroborar que no cuente con algún defecto de fabricación con el cual pueda sufrir alteraciones el producto final. (Guillermo Cuamea-Cruz, 2013)

Al no contar con un procedimiento técnico establecido para inyectar probetas de tensión, se pretende realizar un procedimiento, en el cual se coloquen cada uno de los parámetros relacionados con la puesta en marcha de un ciclo de inyección. En nuestro caso se utilizará un molde de inyección de probetas que está diseñado bajo la norma ISO 527-1, el cual es un molde de insertos intercambiables, siendo este el objeto de estudio ya que no se han producido piezas en él y en consecuencia se deben establecer los parámetros de control necesarios para su debida operación.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.

Contenido del capítulo:

En este capítulo, se describirá brevemente el origen del proceso de inyección de plásticos, así como los equipos necesarios para la fabricación de probetas de tensión. Se tomarán en cuenta las especificaciones y características de los materiales a utilizar, así como una breve descripción de la composición de una máquina de inyección con la finalidad de profundizar el conocimiento relacionado con el proceso de inyección.

1.1. Historia de la inyección.

En la actualidad la inyección de plásticos es un sistema de producción de piezas semi continuo generado a partir de un ciclo controlado de pasos, debido a las características obtenidas en el producto final y la versatilidad del tamaño de las piezas ha logrado abarcar el 60% del mercado de la transformación de plásticos, debido a la gran demanda de productos el proceso ha sido innovado, desde la invención de los primeros productos de plástico que eran fabricados a base de baquelita, nitrato de celulosa entre otros materiales, los cuales fueron desarrollados para cubrir ciertas necesidades de sustitución de materiales como el marfil, el cual era utilizado principalmente para la producción de bolas de billar, debido a la gran demanda de este material se buscó un material que lo sustituyera en su totalidad, aunque los resultados fueron poco fructuosos, uno de los materiales más destacados fue el nitrato de celulosa, que fue desarrollado por Wesley Hyatt.

El nitrato de celulosa fue utilizado para la fabricación de múltiples objetos utilizados en esa época, a pesar que sus propiedades eran muy bajas era un material muy demandado en la industria, de ahí surge la idea de aumentar la producción de piezas de este material, en el año de 1872 se desarrolla y patenta la primer máquina de inyección de nitrato de celulosa, la cual es totalmente mecánica, pero su producción a gran escala fue infructuosa debido a que esta resina era muy inflamable y quebradiza, debido a la gran peligrosidad del proceso de este polímero el proceso de inyección desarrollado fue infructuoso (Chibuque, s.f.).

Entre los años de 1920 y 1927 en Alemania, se desarrollaron máquinas que cumplían con las características necesarias para procesar plásticos, las cuales pasaron de ser manuales a accionadas por pistones neumáticos, pero a pesar de sus grandes avances aun no lograban cumplir con un requisito indispensable para la producción de piezas: la presión, pues la que estas máquinas generaban no era suficiente para la producción de piezas de calidad.

No fue hasta el año de 1930 cuando en Inglaterra se produjo en masa el primer producto fabricado por inyección la cual fue la pluma fuente, la cual se produjo en una máquina de origen alemán la cual funcionaba con un pistón neumático que utilizaba alrededor de 31kg/cm^2 de aire para su accionamiento, esta máquina carecía de sistemas de seguridad para el operador, además que la apertura de molde, y extracción de las piezas era completamente manual.

A partir de la patente alemana de las máquinas de inyección, muchos países europeos comenzaron a desarrollar sus propias versiones de dicha máquina, cambiando algunas partes de la versión original, dos años después en 1932, Eckert & Ziegler quien fuera la encargada de desarrollar la patente de la máquina de inyección desarrollo la primera máquina operada por sistemas electrónicos.

La industria de la inyección del plástico creció exponencialmente entre las décadas de 1930 y 1940 durante el desarrollo de la segunda guerra mundial, pues debido a la escases de materias primas orillo a todos los países involucrados a buscar alternativas para aumentar sus suministros, lanzando programas de desarrollo e intensificación de materiales a base de plásticos, logrando desarrollar nylon, poliésteres y una gran variedad de caucho sintético utilizando estos materiales en el conflicto bélico. La creciente industria noto que el proceso de inyección era adecuado para la obtención de productos, pues permitía la fabricación rápida y económica de los productos que se requerían.

A pesar de los avances en la forma de operación de la máquina de inyección, la operatividad aun no era funcional, hasta que al final del conflicto mundial se utilizaron los primeros equipos accionados hidráulicamente, a pesar de que no utilizaban complicados sistemas hidráulicos eran muy funcionales y se podían montar en pequeños locales, con el paso de los años se fue mejorando dicho proceso, hasta que en el año de 1951 en Estados Unidos se desarrolla una nueva forma de procesar el plástico dentro de la máquina aplicando un tornillo recíprocante (husillo) para transformar el polímero de una forma más homogénea y sin dejar grumos o material sin fundir en el pistón, siendo este desarrollo un gran avance tecnológico y de procesamiento para la industria de la transformación de plásticos, pues no solo se usaría en inyección, también en otros procesos como la extrusión, y la extrusión sople por mencionar algunos.

Al notar que muchos materiales podían ser sustituidos por algún tipo de plástico, se comenzaron a fabricar muchos productos que antes se hacían de algún tipo de metal, como los cascos de seguridad, algunos componentes para maquinaria logrando descubrir que el costo y peso se reducían considerablemente llevando a una gran demanda de nuevos productos abriendo las puertas a nuevos desarrollos tecnológicos y de materiales, destacando la obtención del galardonado premio Nobel de Química de 1963 a los científicos Karl Ziegler y Giulio Natta por sus grandes aportaciones a la industria del plástico.

Actualmente la industria de la inyección del plástico está experimentando un crecimiento constante y sostenido, ya que, al ser un proceso de producción completamente automatizado, ha logrado incursionar con gran éxito en la sustitución de materiales como el vidrio, metales y en la construcción, pues muchos productos de necesidad básica son de algún tipo de plástico.

En la actualidad el enfoque tecnológico está basado en la mejora de los tiempos de proceso, automatización de la producción y mejora de la calidad de las piezas aunado a la minimización de materia prima, tanto en el producto como en scrap y merma, los tiempos muertos también son un enfoque que se buscan minimizar actualmente utilizando equipos que ayudan a este fin tal es el caso de los periféricos, de los cuales hablaremos en los siguientes temas.

1.2. Partes de una máquina de inyección.

La máquina de inyección a utilizar en el proyecto de puesta a punto está considerada como ecológica, pues su funcionamiento y todos sus movimientos están regidos por servomotores, disminuyendo considerablemente el uso de corriente eléctrica, emisión de sonidos y uso de materiales como lubricantes y aceites de transmisión. A continuación se demuestran los componentes de dicho equipo, enfatizando en la división de los grupos que rigen el funcionamiento general de este tipo de equipos.

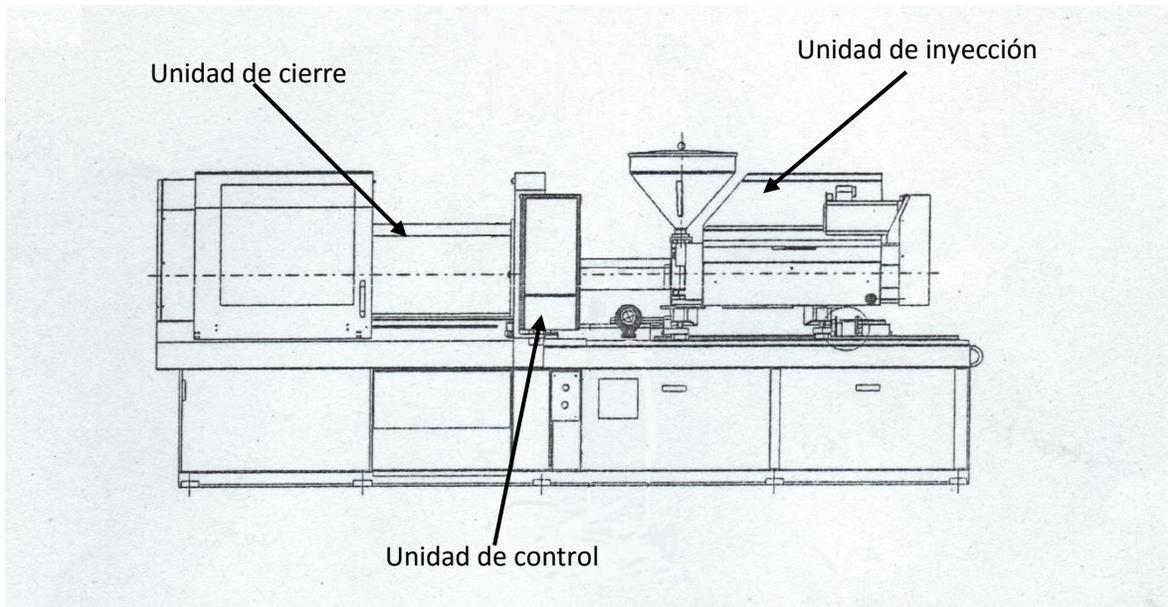


Ilustración 1.26: Máquina de Inyección

El proceso de inyección es semi continuo, debido a esto necesita tiempos de ciclo para producir piezas, estos tiempos están determinados por los parámetros que intervienen en el proceso los cuales son: temperatura, presión, velocidad enfriamiento de molde, volumen de material a inyectar, distancia de apertura y cierre, entre otros. El ciclo de producción empieza con la dosificación de material en la tolva, a continuación el material pasa por el husillo, el cual se encarga de transformar el material de estado sólido a un estado plastificado, esto con ayuda de unas camisas de temperatura o resistencias, las cuales se regulan desde un tablero o unidad de control, posteriormente se inyecta el material fundido en el molde, el cual tiene múltiples partes, las cuales se describirán en los subtemas siguientes, para posteriormente enfriarse y ser expulsadas del mismo, ya sea de forma mecánica o con ayuda de un brazo robótico.

Las máquinas de inyección se dividen en 3 grandes sistemas, los cuales delimitan ciertas funciones dentro del proceso. A continuación, se hace mención de dichos sistemas y sus características más relevantes.

	<p>Unidad de inyección</p> <ul style="list-style-type: none">•Esta encargada de plastificar e inyectar el plástico a transformar.•Sus partes son:<ul style="list-style-type: none">•Tolva, husillo, barril, resistencias, válvula check, punta/nariz
	<p>Unidad de cierre</p> <ul style="list-style-type: none">•Se encarga de mantener los movimientos de apertura, cierre, expulsión y sostenimiento del molde.•Esta constituida por:<ul style="list-style-type: none">•Platinas fija y móvil, Barras guía, Rodilleras, Guías lineales, tornillo de ajuste de molde, Bastidor, Servomotor, Barras de ajuste de altura de molde.
	<p>Unidad de control</p> <ul style="list-style-type: none">•En esta unidad se controlan todos los parámetros del proceso, tales como temperatura, presión, velocidad y tiempo, además de mostrar todos los gráficos del proceso y en algunas máquinas se pueden obtener datos estadísticos de producción.•Los componentes son:<ul style="list-style-type: none">•Pantalla, teclado, botón de paro de emergencia, sensores, control del sistema de enfriamiento, tablero de componentes eléctricos y electrónicos.

Ilustración 1.27: Composición de las unidades de la máquina de inyección

1.2.1. Unidad de Inyección.

Su principal función es plastificar y mantener el material a una temperatura adecuada para ser inyectado en el molde, su funcionamiento depende de un motor que controla el movimiento del husillo, el cual tiene dos funciones generales, el motor puede ser accionado por una bomba hidráulica o en su defecto ser un motor electrónico (servomotor). A continuación, describimos cada una de las partes que componen el grupo inyector.



Ilustración 1.28 Unidad de inyección

Componente	Descripción
Tolva	Es la pieza en forma cónica que se encuentra en la parte superior de la máquina, en ella se vierten los distintos polímeros en forma sólida, generalmente pellets, los cuales son dosificados de forma gravimétrica al husillo para su transformación
Husillo	Es la parte integral de esta unidad, ya que sus principales movimientos son los encargados de transformar e inyectar el material a procesar, esto se debe a que está dividido en 3 zonas generales, las cuales se encargan del transporte, la compactación y la dosificación (inyección) al molde.
Barril	Es básicamente un cilindro en el que rota el husillo en el interior, y en el exterior tiene una camisa de resistencias que le transfieren temperatura para transformar el material.
Resistencias	Son las encargadas de llevar al barril y el husillo a una temperatura adecuada para el procesamiento del material, estas están controladas por termopares los cuales activan y desactivan el funcionamiento de las resistencias para regular la temperatura introducida en la unidad de control.
Válvula Anti retorno	Estas válvulas están diseñadas para el libre paso de material de la unidad de inyección a el molde, pero no a la inversa, pues en ocasiones la presión de vacío en el molde es superior a la que ejerce la máquina para inyectar el material, generando los defectos más comunes en el proceso, a partir de esta diferencia de presiones se utiliza esta válvula para evitar que el material regrese por el orificio del bebedero y dañe algún componente.
Punta nariz(Boquilla)	Este componente es el que se encuentra en contacto con el molde de inyección, a través del bebedero el cual sirve como canal para que el material llene las cavidades del molde. Es de gran importancia conocer el tipo de punta que tiene la unidad de inyección para determinar el tipo de bebedero que tendrá el molde.

Tabla 1.2 Componentes de la unidad de inyección.

1.2.2. Unidad de cierre.

Es la parte mecánica de la máquina en la que se realiza el movimiento de apertura, cierre y botado de piezas y del molde, para el funcionamiento de esta unidad es necesario un sistema de apertura y cierre capaz de generar una presión de cierre amplia para poder soportar la presión generada por el llenado de las cavidades del molde y no crear piezas con exceso de material, para este fin la unidad de cierre tiene ciertos componentes que generan las presiones requeridas.

El accionamiento de la unidad de cierre es eléctrico, ya que cuenta con servomotores que ejecutan los movimientos de apertura y cierre de la platina móvil sobre las barras paralelas, para generar la presión de sostenimiento la unidad de cierre está dotada de rodilleras en forma cruzada que crean dicha presión, y para evitar la variación en el desplazamiento de la platina se tienen rodamientos lineales.



Ilustración 1.29 Unidad de cierre..

A continuación, se hace mención de los componentes que constituyen la unidad de cierre y sus aplicaciones, así como una breve descripción de la función de cada uno de ellos.

<i>Componente</i>	<i>Descripción</i>
<i>Platinas</i>	Son dos placas paralelas rectificadas y barrenadas que sujetan el molde mediante bridas que se ajustan a la altura de las placas de sostenimiento del molde con tornillos para ejercer presión sobre las mismas evitando su desplazamiento.
<i>Barras guía</i>	Son cuatro barras colocadas en las esquinas de las platinas, en las cuales se desplaza la platina móvil para la apertura y cierre del molde, se deben mantener bien lubricadas para evitar oxidación y problemas de cerrado, la distancia entre cada una de ellas va a limitar las dimensiones del molde
<i>Rodilleras</i>	Es el sistema mecánico principal de la unidad de cierre en el cual se efectúa la apertura y cierre del molde, generalmente se clasifican por los puntos de contacto que tienen con la platina móvil, siendo las más comerciales las de 5 puntos de contacto ya que dotan de una mejor estabilidad al momento de abrir y cerrar la unidad.
<i>Guías lineales</i>	Estas guías sirven como referencia para calcular la altura del molde, y convertirlos a distancia medible, con las cuales se ve la posición de la platina móvil para evitar problemas de cerrado de molde, botado de piezas o aplicación de fuerzas superiores a las calculadas.
<i>Tornillo de ajuste del molde</i>	Es un dispositivo que se encarga de controlar los movimientos de las rodilleras a través de un juego de baleros recíprocos, los cuales se accionan mediante la rotación del tornillo en el que se desplazan dichos baleros.
<i>Bastidor</i>	En este componente se monta todo el sistema de cierre de la máquina, está diseñado para evitar vibraciones y variaciones en la posición del molde.
<i>Servomotor</i>	Es un dispositivo electrónico de corriente continua, parecido a un motor encargado de controlar los movimientos de la máquina mediante pulsaciones eléctricas, se colocan con la finalidad de colocar de manera precisa cada uno de los componentes rotativos o mecánicos del proceso.

Tabla 1.2: Componentes de la unidad de cierre.

1.2.3. Unidad de control.

Es la unidad encargada de controlar y programar todos los parámetros y movimientos de la máquina, también es el encargado de encontrar posibles fallas en el proceso, informándolas como alarmas en una pantalla, esta unidad cuenta con múltiples opciones de pantalla en cada una de ellas se muestran los parámetros a modificar, el histórico de eventos, alarmas, tiempos de ciclo y en algunas máquinas se obtienen gráficas y estadísticas de producción. Cabe mencionar que cada máquina tiene un sistema operativo diferente, aunque los parámetros modificables son los mismos, la interfaz con el usuario dependerá de la antigüedad de la máquina siendo las más antiguas dotadas de una interfaz poco amigable con el operador, haciendo que su operatividad sea complicada. A diferencia de las máquinas actuales, las cuales son completamente autónomas y solo hay que controlar algunos pocos parámetros para la buena producción de piezas.



Ilustración 1.30 Unidad de Control.

<i>Componente</i>	<i>Descripción.</i>
<i>Pantalla de mando</i>	En la pantalla se observan y modifican todos los parámetros de transformación que intervienen en el proceso de producción. En la parte inferior de esta se tienen 3 puertos USB para salvaguardar información e imágenes de las pantallas.
<i>Botonera</i>	En esta parte se modifican manualmente la posición de las partes de la máquina en general.
<i>Paro de emergencia</i>	Es un botón que se encarga de detener por completo el funcionamiento de la máquina, esto con la finalidad de evitar daños al equipo.
<i>Posicionamiento de la unidad de inyección</i>	Es un botón que se ilumina al colocar la máquina en modo “movimientos lentos” y retroceder la unidad de inyección. Para volver a colocar la unidad en una posición de movimientos se debe pulsar el botón de movimiento de la unidad y el botón iluminado.

Tabla 1.3: Componentes de la unidad de control.

1.3. Equipos periféricos utilizados para procesar probetas de tensión.

Los equipos periféricos son de gran relevancia para el proceso de inyección de plásticos, ya que con estos equipos se controlan ciertos parámetros que son fundamentales en la calidad del producto procesado. Estos equipos son necesarios para la transformación de la materia prima en producto terminado, desde la extracción de humedad del material hasta el control de la temperatura de la máquina como del molde. A continuación se presenta una tabla con los equipos que se utilizarán en este trabajo y una descripción breve de las características de cada uno.

Acondicionadores de material	<ul style="list-style-type: none"> • Deshumificadores
Control de temperatura	<ul style="list-style-type: none"> • Termo reguladores • Chillers
Alimentación y Dosificación	<ul style="list-style-type: none"> • Dosificadores • Mezcladores • Molinos y bandas

Ilustración 1.31: Clasificación de los equipos periféricos.

1.3.1. Acondicionadores de material.

Son equipos que se encargan de mantener los pellets dentro de los parámetros idóneos de transformación, pues la mayoría de polímeros son higroscópicos, absorben humedad del ambiente. Generalmente estos acondicionadores funcionan mediante la recirculación de aire caliente, con el cual se extraen todas las partículas de humedad del plástico a procesar, existen 2 tipos de acondicionadores de material, los secadores y los dehumificadores, los cuales deben colocarse en la tolva de la máquina si el proceso de transformación lo requiere. A continuación, se hace mención de ellos y sus propiedades.

- **Deshumificadores:**

Son equipos que operan por recirculación de aire seco y caliente, pasan a través de los pellets, extrayendo la humedad absorbida por el material y al enfriarse el aire vuelve a entrar al proceso, ya que son un sistema cerrado y genera vacío para la extracción de la humedad.



Datos técnicos del equipo.

Modelo	SHD-50
Alimentación eléctrica	230V-3hilos
Capacidad	41 kg
Dimensiones (cm).	84*47*104

Ilustración 1.32: Dehumificador de plásticos.

1.3.2. Control de Temperatura.

La temperatura en el proceso de inyección es otro de los parámetros a controlar, tanto en el procesamiento de la resina como en la máquina, ya que de ello depende la calidad del producto final, el cuidado de los componentes de la máquina y el flujo del material en el proceso. Uno de los equipos indispensables para el enfriamiento del proceso es el chiller el cual es de bajo consumo energético y grandes aplicaciones en el proceso ya que no solo regula la temperatura del molde, sino que también está relacionado con la temperatura general de la máquina y la boquilla de la tolva. Existen otros periféricos relacionados con el control de la temperatura, como son el termostato, torres de enfriamiento, etc. Generalmente se utiliza una mezcla de refrigerante con agua en proporciones de 50%. La principal función de los periféricos de control de temperatura es la extracción de energía térmica del proceso de producción, principalmente del molde. A continuación, se hace mención de las principales propiedades de cada uno de los sistemas de enfriamiento utilizados en el proceso.

- **Chiller.:** Son equipos que pueden desplazarse de un lugar a otro debido a su independencia y tamaño, cuentan con un tanque en el que almacenan el líquido utilizado en el proceso, cuentan con varios sistemas de enfriamiento, en los que destaca el de aire, por su versatilidad y autonomía, pues su accionamiento es automático, ya que cuenta con termopares en el tanque que miden la temperatura de entrada y salida del proceso, existen otros tipos como el enfriado por agua, el cual está conectado directamente al sistema de agua, su principal desventaja es la dependencia del sistema de agua, pues no puede ser desplazado a otras zonas y tienen que hacerse tendidos de tubería para el sistema de enfriamiento. Ambos tipos están dotados de compresores y bombas para la correcta distribución y enfriamiento del líquido refrigerante.



Ilustración 1.33: Chiller

Datos técnicos del equipo

<i>Modelo</i>	SIC-5A-P
<i>Alimentación eléctrica</i>	230V 3hilos
<i>peso</i>	312 kg.
<i>Dimensiones (cm).</i>	130*74*140

1.4. Descripción de los componentes del molde utilizado para inyectar probetas de tensión.

El molde generalmente se divide en 2 partes, la parte fija y la parte móvil, las cuales se distinguen por el número de placas que tienen, y las barras botadoras, las cuales deben ir de lado de la platina móvil, mientras que la parte fija por lo regular tiene 3 placas, la de sujeción, la de enfriamiento y la porta cavidades.

Ya sea en inyección, extrusión, soplo e incluso roto moldeo, el molde es la parte fundamental de los procesos de transformación de plásticos, ya que en este se da la forma, las dimensiones y acabados deseados para el producto a procesar. Su fabricación depende de la producción a realizar, ya que se tienen moldes prototipos, moldes para producción piloto y moldes para altas producciones.

La fabricación de los moldes está restringida por el tipo de pieza que se pretende fabricar, la autorización de fabricación y el costo que este proceso conlleva, pues por la calidad de los acabados, complejidad de la pieza y tipo de material utilizado el costo tiende a incrementarse sustancialmente.

Las dimensiones de cada molde varían dependiendo del número de cavidades que en él se contengan, el tamaño de la pieza, el sistema de enfriamiento, longitud de los botadores y tipo de colada, además del tamaño de las placas de sostenimiento, que son las de mayor longitud, por ello se requiere saber la separación de paralelas y apertura total de platinas para determinar si el molde puede montarse o no en una máquina en específico. El molde utilizado tiene dimensiones de 24*18.5*25 cm, mientras que la distancia entre barras de la maquina es de 45 cm.

El molde a utilizar es un molde de probetas, el cual tiene insertos intercambiables, el cual no ha sido montado para producción en una máquina, por consecuente se deben determinar cada uno de los parámetros necesarios para la obtención de piezas.



Ilustración 1.34: Molde de inyección de probetas

Las placas que componen al molde se describen a continuación, de lo general a lo particular, teniendo las partes fija y móvil:

Parte Móvil	Parte Fija
<ul style="list-style-type: none"> • Placa de sostenimiento • Placas Paralelas • Placa de golpeo • Placa porta botadores • Botadores • Pernos de retroceso • Placa de Enfriamiento • Placa porta insertos • Insertos • Pernos guía 	<ul style="list-style-type: none"> • Placa porta cavidades • Placa de enfriamiento • Placa de sostenimiento • Anillo centrador • Bebedero • Bujes

Tabla 1.4: Componentes de las partes de un molde

Descripción de las partes:

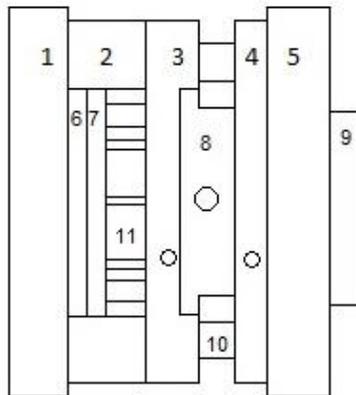


Ilustración 1.35 partes del molde utilizado

Componentes del molde a utilizar.

- 1 y 5 placa de sostenimiento
- 2 placas paralelas
- 3 placa porta insertos
- 4 placa porta cavidades
- 6 y 7 placa de golpeo y porta botadores
- 8 inserto del molde
- 9 anillo centrador
- 10 bujes y pernos guía
- 11 botadores, y pernos de retroceso

- Placa de sostenimiento: Tiene dimensiones mayores a lo ancho generando pestañas de ambos lados en donde se montan bridas para sujetar a la platina móvil de la máquina aplicando presión con un tornillo, al centro tiene un barreno por el cual pasa el perno de botado, su grosor dependerá del tamaño total del molde y de la pieza a inyectar evitando esfuerzos y posibles deformaciones o fracturas en la placa. Se encuentra en ambas partes del molde, aunque la de la parte fija contiene algunos aditamentos montados como el sprug, el bebedero y el anillo centrador.
- Placas Paralelas: Estas placas sirven como protecciones para los botadores y placas de botado, mantienen al molde unido ya que tienen barrenos pasados por los cuales entran tornillos que unen las placas de la parte móvil, por lo general tienen un acanalamiento en el cual entra parte de la brida de sujeción.
- Placa de golpeo: También conocida como cama de botado, es la placa que se encuentra en la parte interior de la cavidad que generan las placas paralelas, la cual sostiene a los botadores, esta placa sirve para desplazar los botadores para expulsión de las piezas inyectadas.
- Placa porta botadores: Esta placa sirve para mantener en una posición idónea e invariante a los botadores, con la finalidad de que los botadores no generen problemas al llenar el molde, en algunas placas se tiene sistema de retorno por resortes, los cuales se montan en los pernos de retroceso para regresar el sistema de botado.
- Botadores: Son generalmente cilindros metálicos con punta modificada de acuerdo a la forma del inserto en el que se moldea el material, su función es la extracción de las piezas plásticas mediante el contacto directo del botador con la pieza, estos botadores son accionados por el golpeo de un pistón o servomotor con un buje.
- Pernos de retroceso: Estos pernos son más largos que los botadores, de forma cilíndrica y su principal característica es que no están en contacto con la pieza inyectada, su función es regresar el sistema de botado del molde, algunos se accionan por contacto con la parte fija, aunque existen otros tipos, el accionado por resortes, los cuales se ponen en la parte de las placas de botado y el ultimo tipo el cual solo son guías para la colocación de la cama de botado, pues el retroceso es generado por el sistema de expulsión de pieza de la máquina ya que en la placa de golpeo se tiene un barreno con cuerda para atornillar el buje de golpeo.

- **Placa de Enfriamiento:** En esta placa se encuentra un sistema de canales por los que circula líquido refrigerante, el cual es una mezcla de agua y aceite soluble, el cual regula y disipa la temperatura del molde en procesos continuos, esta placa se encuentra en ambas partes del molde, cada una detrás de las placas de contacto (porta insertos y porta cavidades), para facilitar el control de la temperatura, por lo general cuando se trabaja con materiales de ingeniería, en la parte fija se utiliza un termorregulador para mantener una temperatura superior y facilitar el flujo del material evitando así posibles defectos de llenado en la pieza.
- **Placa porta insertos:** Esta placa es la de contacto con la parte fija del molde, específicamente con la placa porta cavidades, en ellas se genera el proceso de moldeo de piezas, ya que quedan espacios vacíos al momento de cerrar el molde, es importante que exista un ajuste fino entre ambas partes del molde para evitar que al momento de inyectar material haya fugas o generen excesos de material (rebabas) perjudicando la calidad de las piezas, para evitar este defecto, se hace un ajuste al molde, utilizando azul de Prusia para marcar las áreas de contacto de ambas caras, el cual nos sirve para identificar las zonas en las que las placas tienen o no contacto.
- **Insertos:** Son las partes que generan la pieza deseada, generalmente son de aceros especiales, se utilizan cuando el molde tiene cajas de insertos, disminuyendo el costo de fabricación de un molde nuevo, estas piezas se introducen a las placas porta insertos por altas presiones, se sujetan por tornillos y cuando se desean extraer únicamente se extrae el tornillo sujetador y se aplica un poco de fuerza. Cabe mencionar que en algunos casos se colocan por medio de expansión térmica, ya que la placa se somete a temperatura para que se dilate y el inserto entre fácilmente, y del mismo modo se extrae.
- **Pernos guía:** Estos pernos se utilizan como referencia al momento de ensamblar (armar) un molde, o en la apertura y cierre del mismo durante el ciclo de expulsión de la pieza, evitan que el molde por cualquier motivo este descentrado y genere problemas al proceso, suelen ser cuatro los pernos utilizados pues ayudan al acoplamiento fino del ciclo arrojando un alto nivel de ajuste evitando también el desplazamiento de las partes hacia algún sentido debido a la presión de inyección a la que es sometido el molde.
- **Bujes:** son orificios en los cuales corren los pernos guía, los cuales se encuentran de lado de la parte fija del molde, cuentan con un ajuste preciso para evitar el juego entre estos y los pernos, ya que son piezas de ajuste y en ellos radica el correcto acoplamiento de ambas partes del molde. Se

colocan por lo general en las esquinas de las placas para un mejor acoplamiento de las partes.

- Placa porta cavidades: a diferencia de la placa porta insertos, esta placa tiene alojamientos para la pieza, en donde embonan los insertos para realizar la pieza, hay una holgura entre la pared de la cavidad y el inserto en donde el material inyectado toma la forma hacia ambos lados, siendo el espesor de pared del producto inyectado la distancia que existe entre ambas partes. Cabe mencionar que en ambas caras del molde se tienen maquinados muy finos por los cuales sale el aire que se encuentra atrapado al momento de cerrar el molde, estos canales se denominan venteos, son de muy poca profundidad y por lo general al contacto del material quedan sellados con el mismo evitando que se produzcan rebabas en la pieza, se colocan con el fin de evitar problemas de llenado o efecto diésel en la pieza.
- Anillo centrador: Como su nombre lo indica sirve para evitar variaciones de posición del molde, centrando el bebedero con la boquilla de la unidad de inyección, generalmente sobresale de la placa de sujeción para acoplarse a la platina fija de la máquina, regularmente este anillo se maquina con respecto al diámetro del orificio para evitar variaciones y que se tenga coincidencia entre el bebedero y la boquilla.
- Bebedero: Con las líneas de alimentación y los puntos de inyección, crean un sistema de canales de flujo de material dentro del molde en los que se distribuye a las cavidades el plástico semi fundido para crear la pieza, al enfriarse crean piezas denominadas coladas, las cuales son desperdicio del proceso, se extraen de la misma forma que la pieza y pueden reintegrarse al proceso como material reciclado después de molerse. Esta pieza es la que se encuentra en contacto con la unidad de inyección, usualmente el diámetro del bebedero es mayor al del barreno de salida de la boquilla, esto con la finalidad de evitar el fenómeno de conmutación que se da al aplicar presión en el llenado del molde.

En algunos moldes el sistema de canales es sustituido por conductos en los que se controla la temperatura para erradicar el uso de canales de alimentación de material, evitando así la solidificación del mismo y aumentando la velocidad del proceso, a este sistema de flujo de material se le denomina colada caliente, ya que la temperatura a la que se encuentra el material es constante. (Garijo, 2007).

1.5. Características de materiales a procesar.

Los materiales a utilizar en este trabajo son 3, cada uno con características diferentes, esto con la finalidad de diferenciar los cambios de parámetros procesamiento en cada uno de estos materiales y como afecta en el proceso, cada uno de estos materiales necesita condiciones específicas tanto de producción como de manipulación, estos materiales son: PET, ABS y PP.

A continuación se describen cada uno de ellos, sus rangos de temperatura y necesidades específicas como desecado y tiempos de ciclo.

- **PET:**

El PET es el plástico más utilizado a nivel mundial, debido a sus características como la resistencia al impacto, baja permeabilidad y transparencia (por mencionar algunas), fue creado en 1941 para la sustitución de fibras de algodón, su uso textil a un es frecuente, para 1952 se comenzó a usar para empaque de alimentos, pero el auge del PET en alimentos comenzó en 1976 al utilizarse en envases rígidos ya que sus propiedades lo hicieron el material ideal para sustituir al vidrio.

Este plástico se ha diversificado suficiente logrando sustituir materiales más costosos planteando nuevas alternativas para la industria en general, lo cual origina que sea el material más producido a nivel mundial, dando altas prestaciones al reciclaje del mismo.

El PET tiene una temperatura de transición vítrea baja (temperatura a la cual un polímero amorfo se ablanda) de 70 a 80 °C. Esto ocasiona que los productos fabricados con dicho material no puedan calentarse por encima de dicha temperatura. Sus propiedades y capacidad para cumplir diversas especificaciones técnicas han sido las razones por las que el material ha alcanzado un desarrollo relevante en la producción de fibras textiles y en la producción de una gran diversidad de envases, especialmente en la producción de botellas, bandejas, flejes y láminas.

Un factor a tener en cuenta durante el procesamiento es su carácter higroscópico y que en su estado fundido presenta una alta sensibilidad a la degradación, de ahí que se recomienda realizar ciclos previos de secado a temperaturas entre 140-160°C por períodos de hasta 6 horas antes de cualquier etapa de procesamiento.

Para el proceso en inyección, se recomienda usar temperaturas de entre 250-280°C (temperaturas de fusión) y presión de inyección alta con la finalidad de llenar el molde. Para la obtención de piezas transparentes fabricadas en PET, el molde debe estar a una temperatura máxima de 50°C de lado de la platina fija controlada con un termorregulador.

- **ABS:**

Es el nombre común que se le da a una familia del copolímero plástico Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno, la cual se caracteriza por tener gran resistencia a los golpes y pertenecen en general a los plásticos de ingeniería. Por su propiedad óptica (brillo) se aplica en piezas de acabado final, partes automotrices, artículos de impacto, juguetes, electrónica y oficina.

Las piezas fabricadas con ABS cuentan con importantes propiedades mecánicas como la resistencia al impacto, dependiendo del porcentaje que tenga el polímero de cada uno de sus monómeros base estos le otorgan mayores o menores propiedades físicas, químicas y de procesamiento.

Las propiedades de transformación del ABS son independientes del grado que tengan, pues existen en el mercado una variedad muy amplia de este material, los cuales se clasifican en general en: Alto, medio y bajo impacto, además de un ABS modificado para resistir al calor. Este material también es higroscópico con un porcentaje de absorción de humedad de 0.7% en 24hrs. Por ello debe secarse a una temperatura de 80°C en un rango de 2 a 4 horas. Su rango de temperaturas de transformación es de 220-260°C, y debido a que es un material en el que el flujo depende del porcentaje de Butadieno que contiene debe tenerse una temperatura en el molde superior a los 45°C, pero inferior a los 80°C, es altamente recomendable no dejar solidificar completamente la pieza fabricada en ABS pues tiende a contraerse generando problemas de desmoldeo.

- Polipropileno:

El polipropileno es el polímero de mayor versatilidad en el mercado, ya que sus propiedades mecánicas y de temperatura se mantienen estables. Existen tres tipos de polipropileno, el atáctico, el isotáctico y el sindiotáctico, los cuales se distinguen por su estructura química ya que el grupo metilo varía en cada uno de los tipos. Debido a esto, las propiedades físicas varían de uno a otro, dando la capacidad de resistir a las constantes dobles (efecto bisagra) o a agentes químicos dependiendo del tipo de polipropileno.

El polipropileno ha sido uno de los plásticos con mayor demanda en los últimos años, sus aplicaciones industriales han ido en aumento debido a su nobleza en el proceso y compatibilidad con otros materiales.

Su bajo coeficiente de absorción de humedad hace que el proceso de secado no sea indispensable como en los plásticos de ingeniería, su alta resistencia a la temperatura, resistencia química, y otras propiedades le ayudan a ser utilizado en aplicaciones médicas, automotrices y alimentarias, es apreciado por su fácil proceso y por sus excelentes propiedades finales, que incluyen baja densidad, alto brillo y rigidez, resistencia térmica y química, entre otras. El rango de temperaturas ideal para el procesamiento del polipropileno oscila de 180 a 220°C, para una buena solidificación dentro del molde la temperatura ideal de este debe ser de entre 10 y 35 °C y el desmoldeo de entre 20 y 30°C, ya que este material cuenta con un rango de contracción de 1.5% a 24 horas dependiendo del espesor de la pared y forma de la pieza.

A continuación se presenta una tabla que contiene los valores establecidos por los fabricantes de los distintos plásticos a fabricar, es de importancia recalcar que estos valores se pueden modificar a conveniencia en el proceso para facilitar su transformación.

<i>materiales/ características</i>	<i>Polipropileno</i>	<i>ABS</i>	<i>PET</i>
<i>Temperatura de transformación</i>	180-220°C	220-260°C	250-280°C
<i>Temperatura del molde</i>	10-35°C	45-80°C	50°C
<i>temperatura de desmoldeo</i>	20-30°C	80-100°C	70°C
<i>temperatura de secado</i>	N/A	80°C	140-160°C
<i>tiempo de secado</i>	N/A	4-6 Horas	6 Horas
<i>Tg</i>	25 °C	80-125 °C	70 °C

Tabla 1.5: Características de transformación de los materiales utilizados.

CAPÍTULO 2. PREPARACION DEL EQUIPO PARA EL PROCESO DE INYECCION DE UN PRODUCTO PLÁSTICO.

Contenido del capítulo:

Con un mayor enfoque a la parte documental de la práctica, este capítulo se destina a describir los requerimientos técnicos para la correcta operación de la máquina, los equipos periféricos y dar a conocer la parte teórica de las variables que intervienen en el proceso de inyección, así como también el tiempo de ciclo que se requiere para la obtención de una probeta de plásticos y los pasos a seguir para un correcto montaje de molde.

2.1 Selección de la máquina de inyección a utilizar.

Para seleccionar una máquina de inyección es necesario conocer las dimensiones y necesidades del molde. Para este fin se realizan múltiples cálculos y mediciones con la finalidad de seleccionar una máquina que cumpla con dichas especificaciones.

La máquina a utilizar es eléctrica de la marca Billion, del modelo H260-100T, se seleccionó a partir de los cálculos obtenidos para la operación del molde (ver anexos, apartado “V. Cálculos de los parámetros de transformación”). Debido a las dimensiones del molde es más seguro montarlo en una maquina con una separación de barras mayor y tener una mayor holgura en la fuerza de cierre y en la presión de inyección ya que los valores necesitados llegan a las 48 toneladas y 200 bar de presión.

Para la correcta funcionalidad de un equipo de inyección de plásticos se recomienda conocer las condiciones de operación emitidas por el fabricante para establecer un procedimiento adecuado. Estas condiciones están descritas en el manual de operaciones de la máquina en donde se describe también la operatividad, sus condiciones de entorno y las características técnicas del equipo. De acuerdo a las especificaciones del manual de la máquina *Billion H260-100T SELECT* las condiciones de operación están comprobadas en el siguiente listado.

a) Entorno:

La máquina está colocada en una zona donde el suelo absorbe fácilmente las vibraciones, las cargas que resiste el suelo están por debajo de las 1.5T/m², también cuenta con un tratamiento para evitar el polvo y la variación es inferior a los 1.5mm/m², estos datos se analizaron con la finalidad de obtener un proceso estable a largo plazo.

b) Instalaciones eléctricas:

La corriente eléctrica de alimentación es de 230V con una frecuencia de 60Hz y conexión a neutro necesarios para la eliminación de corrientes parasitas y descargas de corriente. Tomando en cuenta que la maquina opera a una corriente de 440V y frecuencia de 50Hz, la maquina está equipada con un transformador. El sistema eléctrico dentro de la máquina regula la rotación del husillo, el sistema de expulsión, la apertura y cierre del molde, así como el grupo inyector y el sistema lógico del equipo.

c) Aspectos técnicos de la máquina:

La máquina de inyección BILLION 100T cuenta con características específicas de operatividad de la unidad de cierre las cuales colocamos a continuación.

Característica	Unidades
Fuerza de cierre máxima	1000kN
Longitud mínima del molde	150mm
Longitud máxima del molde	450mm
Carrera máxima de apertura	380mm
Dimensiones de la platina	630mm*630mm
Separación entre barras paralelas	445mm
Separación máxima entre platinas	830mm
Velocidades de apertura y cierre	800mm/s
Fuerza máxima de apertura a 2 mm	150kN
Fuerza de sostenimiento y retroceso máximas	20kN
Velocidades máximas de eyección	300 mm/s

Tabla 2.16 Características de la máquina a utilizar.

d) Husillo:

El husillo de la máquina es de un diámetro de 35 mm. Con una cámara bimetálica la cual da una relación L/D de 22.8 para altas producciones, pero no es apto para plásticos que generen gases o sean oxidantes ya que no cuenta con recubrimientos especiales para esos materiales. Las características esenciales utilizadas son: volumen máximo teórico de desplazamiento del husillo: 139cm³, presión máxima de inyección: 1835 Bar, Caudal máx.: 193cm³/s, carrera máxima del husillo: 144mm, velocidad máx. De avance del husillo: 200mm/s, fuerza de sostenimiento: 40kN. Estos datos son imprescindibles para la inyección de una pieza, pues de aquí determinamos si la máquina cumple con las características de inyección.

Este husillo es para la transformación de termoplásticos estándar, es decir, su diseño esta generado para transformar materiales no corrosivos, siendo capaz de transformar cualquier resina sin problema alguno con excepción del PVC, es recomendable utilizar solamente el 70% de la capacidad de inyección para cumplir con la calidad requerida y no degradar el material.

e) Sistema de enfriamiento de la máquina:

El sistema de enfriamiento de la máquina se regula desde el chiller, es necesario un caudal de entrada de $150\text{dm}^3/\text{h}$ a una temperatura de entre 10 y 20°C y una presión de $4\text{-}7\text{bar}$, para la conexión a la máquina se cuenta con 2 entradas para la distribución del líquido en el proceso y la máquina a través de una electroválvula de flujo automática, la cual suministra el flujo hacia el sistema electrónico de la máquina, y la zona de alimentación de material (debajo de la tolva).

Es necesario que la alimentación del líquido refrigerante a la máquina se realice mediante tubos flexibles para evitar que agentes metálicos migren al líquido y generen sarro o algún otro sólido capaz de tapar los canales de enfriamiento, el líquido debe estar libre de químicos corrosivos con un pH de entre 7.5 y 11 , una dureza inferior a $7\text{meq}/\text{dm}^3$ ($140\text{mg}/\text{dm}^3$ de calcio o $84.7\text{mg}/\text{dm}^3$ magnesio).

2.2 Aspectos a controlar para el montaje del molde.

Las características dimensionales del molde intervienen en la selección del equipo a utilizar pues existen ciertas limitantes para el montaje las cuales se denominan como características básicas para el montaje de un molde de inyección, dichas características son:

- 1.- Tamaño del molde.
- 2.- Dimensiones de las platinas.
- 3.- Distancia entre barras.
- 4.- Apertura máxima y mínima de las platinas.
- 5.- Fuerza de cierre requerida por el molde.

Secuencia de montaje del molde:

Al montar el molde se comprueba que las características tanto de la maquina como del molde sean cumplidas para evitar problemas posteriores en el proceso, existe una secuencia de comprobación de cumplimiento de parámetros, la cual se menciona a continuación.

- La distancia máxima entre el molde y las barras paralelas debe ser 4 centímetros, con la finalidad de que no choque al momento de introducir el molde a las platinas, además debe haber una separación considerable entre platinas para evitar posibles rallones tanto en las placas como en el molde.
- Se debe tener a la mano todas las herramientas, el cáncamo colocado en el orificio correspondiente y el anillo centrador colocado en la posición correcta.
- Al momento de colocar el molde en su posición correcta procedemos a nivelarlo, al concluir la nivelación procedemos a montar las bridas y apretar los tornillos con un torque considerado, evitando marcar el molde.
- Se coloca la máquina en modo “manual lento” acercamos la platina móvil a una posición cercana al molde evitando aplastarlo, para esto pasamos a la página de dimensiones del molde y colocamos los valores del mismo para que llegue solo a rosarlo.
- Montamos y apretamos las bridas del lado móvil, debemos considerar el ángulo de colocación, lo recomendable es que estén completamente perpendiculares al molde y deben tener la mayor área de presión posible para evitar algún incidente.
- Cambiamos a modo montaje de molde en la máquina, automáticamente la pantalla cambia y en ella aparece un recuadro que al pulsarlo inicia la calibración del molde concluyendo así el montaje del molde.

Nota: El valor mínimo requerido para la fuerza de cierre del molde de probetas es de 48 Ton. (Ver anexo V. *Cálculos de los parámetros de transformación.*) El equipo utilizado tiene una fuerza máxima de 100 Ton. Las presiones de inyección son variantes dependiendo del material a procesar.

Equipos y herramientas auxiliares para el montaje del molde.

Después de comprobar que nuestro molde está dentro de las características de la máquina, procedemos al montaje del mismo, para esto utilizaremos los siguientes equipos y herramientas:

a) Polipastos:

Con este equipo podemos elevar objetos pesados sin dificultad, es utilizado en el procedimiento para levantar y colocar en posición el molde, su funcionamiento es a través de accionamiento eléctrico de un motor que genera la rotación de un engrane el cual recorre una cadena para elevar o bajar el objeto sujetado en el gancho que se encuentra al final de la cadena.

b) Cáncamo:

Es un tornillo con argolla al final de la rosca que sirve para sujetar el molde y desplazarlo sin problema con el polipasto, por lo general el molde tiene un barreno roscado posicionado a lado de la línea de partición para introducir el cáncamo, esta herramienta se selecciona dependiendo el tamaño del molde y su peso, teniendo dimensiones de ¼" hasta 1" de tamaño, para evitar que el molde se abra se colocan protecciones que también van atornilladas en el molde.

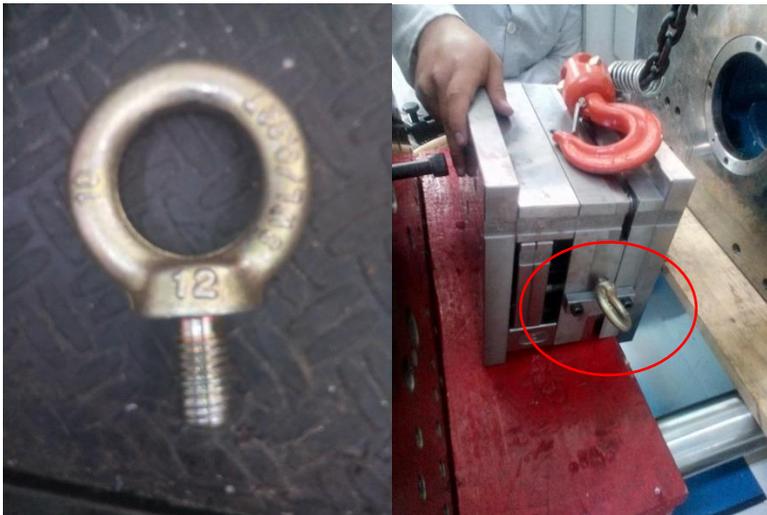


Ilustración 36: Posición del cáncamo.

c) Bridas:

Son sujetadores metálicos que sostienen el molde en las platinas, con la finalidad de evitar movimientos del mismo, en un lado cuentan con un tornillo de fijación fabricado en acero bonificado para resistir cargas de entre 80 y 90 kg/mm² y del otro lado tienen una ranura para la entrada de un tornillo estándar en la cual este se desplaza para ajustar la distancia entre el molde y la brida, lo más recomendable es colocar el tornillo de ajuste a una distancia cercana del molde para que el torque de apriete en el molde sea el adecuado para evitar su caída.

Para el ajuste correcto de la altura de la brida con el molde se necesita colocar rondanas del espesor correcto en el tornillo estándar y colocar en ángulo recto la brida girando el tornillo de ajuste hasta que, de la altura deseada, es altamente recomendable que las pestañas de la brida entren completamente en las ranuras de sujeción del molde para aumentar el área de soporte y disminuir la probabilidad de falla en el apriete o caída de alguna brida.

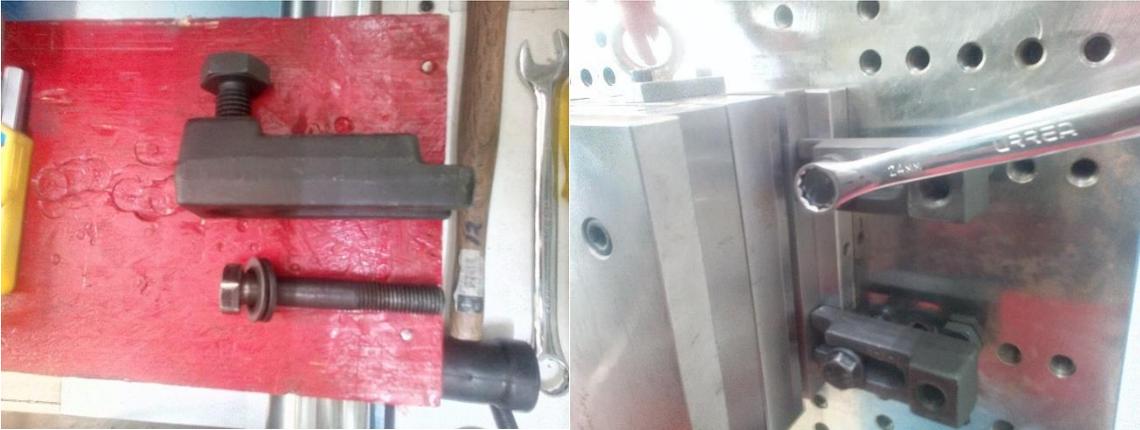


Ilustración 37: Colocación de las bridas.

d) Tornillos:

En el montaje del molde se requiere tornillería de múltiples dimensiones y cuerdas, los principales tornillos son los de apriete de las bridas, los cuales con M8 con cabeza hexagonal o en su defecto con caja Allen, debido a que este tipo de tornillos son comerciales y de fácil manipulación, otro tipo de tornillos utilizados son los que se aplican en la placa de unión del molde, por lo general solo es uno ya que se utiliza el cáncamo en el otro extremo y los tornillos específicos del molde.

e) Anillo centrador:

Cada máquina tiene un diámetro diferente en la ranura de la platina fija para el montaje del molde, por consecuente para centrar la boquilla con el bebedero del molde es necesario la aplicación de un anillo centrador, el cual se fabrica bajo las especificaciones de la máquina y del molde, en donde este tiene el diámetro exterior igual al diámetro del barreno de la platina fija y el diámetro interior se fabrica a partir de múltiples variables, por ejemplo el diámetro de la boquilla, el diámetro del bebedero y la profundidad del cono de la boquilla, pues si el anillo centrador se hace muy grueso es probable que la boquilla no entre en cambio si se hace muy delgado no tendrá la fuerza suficiente para centrar adecuadamente al molde.



Ilustración 38: Anillo centrador

El anillo centrador se acopla al molde mediante tornillos, térmicamente o en su defecto se fabrica en la placa fija del molde haciéndolo del mismo material, en el primer caso se hacen dos barrenos para colocar los tornillos que ayudaran a colocar el anillo en el molde, es de gran importancia que sean concéntricas ambas partes pues si no lo son, generaran problemas de fuga de material por mencionar uno. Si el anillo centrador es montado por contracción térmica, el diámetro interno del anillo es de la medida del bebedero del molde, posteriormente se somete a temperatura para expandirlo, se coloca en posición y posteriormente se enfría a gran velocidad para que se ajuste al bebedero, de esta forma es difícil extraerlo, en algunas ocasiones en lugar de aplicar temperatura se aplica presión para meter el anillo centrador.

Cuando se fabrica el anillo centrador en la placa fija del molde se tiene mayor precisión en el montaje, pues no hay mucha variación con la concentricidad de las partes ya que el anillo centrador y el bebedero del molde son una sola pieza dejando solo la alineación de la boquilla con la placa.

f) Montacargas:

Para la manipulación y transporte del molde es necesario utilizar este tipo de equipos debido al peso que tiene. El equipo requerido es un montacargas manual ya que las dimensiones del molde a utilizar son pequeñas a comparación de otros moldes, para la ejecución del montaje se coloca el montacargas con el molde a un costado de la máquina a la altura de las placas de sujeción para facilitar el montaje del equipo.



Ilustración 39: Montacargas

La altura de colocación es sobre las barras paralelas, pero sin tocarlas pues pueden llegar a dañarse y generar problemas de centrado al momento de realizar la calibración del molde con la máquina. Para este fin primero se debe montar el molde en la máquina cerrar y abrir el molde y posteriormente ejecutar la opción de montaje de molde en la cual la máquina automáticamente realiza el cálculo de la distancia, fuerza de cierre, velocidad de apertura y cierre, estos últimos parámetros son modificables si se requiere.

g) Herramienta de mano:

Colocado el molde a la altura del barreno de centrado de la platina fija se procede a nivelar el molde, al término de la nivelación continuamos con el montaje de las bridas para sujetar el molde a las placas y continuar con el procedimiento de puesta a punto, es importante colocar la máquina en modo montaje de molde para controlar la velocidad de cierre y determinar la altura del molde y evitar que cierre bruscamente y llegue a dañar tanto el equipo como el molde.

A continuación, se ilustra el procedimiento de montaje del molde.

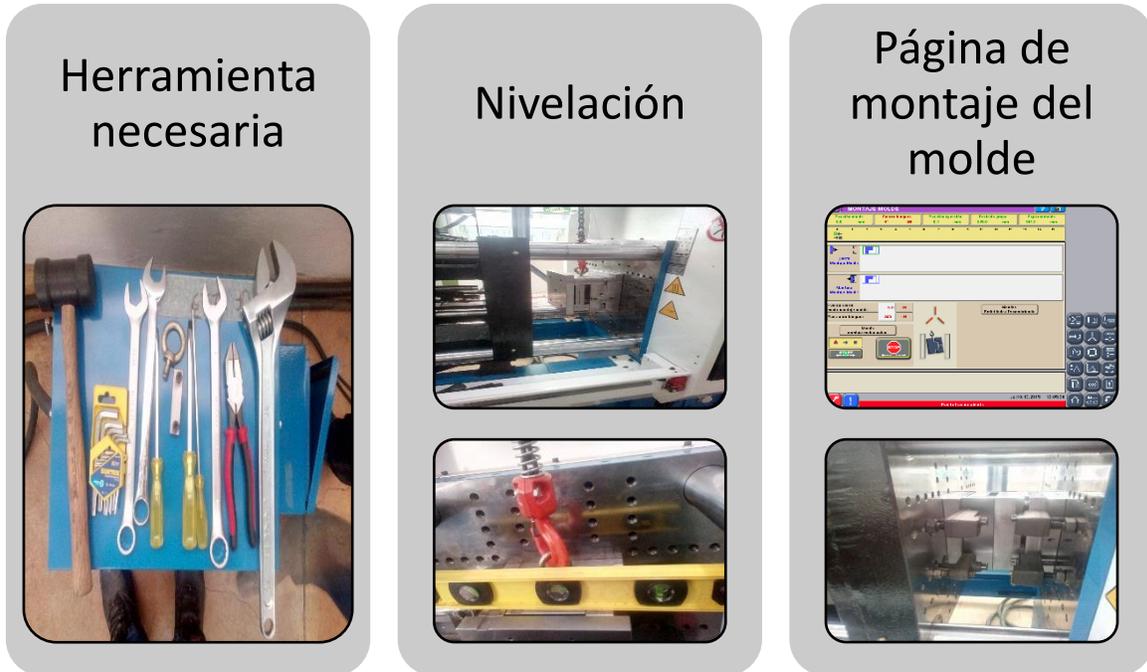


Ilustración 40: Montaje de un molde.

2.3 Sistema de enfriamiento.

El enfriamiento representa entre el 50 y 90% del total del ciclo de producción ya que la carga térmica manejada en el proceso influye directamente de la transformación del material, principalmente del moldeo. Por lo tanto, dependiendo del material a transformar, la geometría de la pieza y los parámetros de producción cada proceso, se deben optimizar los parámetros para controlar el sistema de enfriamiento, que son independientes de otros procesos que se quieran montar.

La demanda de enfriamiento del proceso se calcula a partir de la producción a realizar, el tipo de material que se utiliza y las conexiones que tiene el molde para este fin, consecuentemente el chiller debe ser capaz de emitir esta demanda además de llegar a la temperatura requerida por el proceso, la pérdida de temperatura por movimiento en las tuberías también es pieza importante al momento de realizar las operaciones pues del punto en el que se tienen los periféricos de enfriamiento a distancia hace que el tendido de tubería sea extenso y la temperatura de llegada al proceso sea distinta a la que sale de la máquina.



Ilustración 41: Sistema de enfriamiento en el molde

Para tener una noción de lo que es cada uno de los componentes del sistema de enfriamiento a continuación se hace mención de cada uno de ellos y su funcionamiento dentro del proceso.

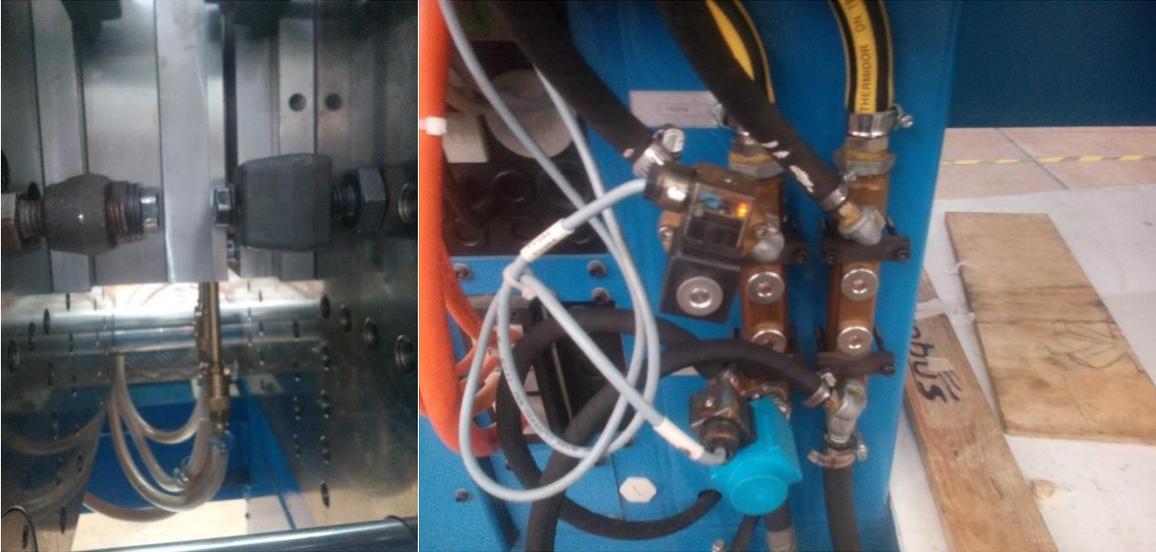


Ilustración 42: Conexión del sistema de enfriamiento.

a) Chiller:

Como se vio con anterioridad, un chiller es un sistema completo de refrigeración que incluye un compresor, un condensador, evaporador, válvula de expansión (evaporación), refrigerante y tuberías, además de bomba de impulsión de agua a/desde el proceso, sistema electrónico de control del sistema, depósito de agua, gabinete, etc. Distintos procesos requieren alimentarse con distintos caudales, presiones y temperaturas de agua (Ver anexo VII. *Capacidad de enfriamiento*).



Ilustración 2.8: Chiller y control de temperatura.

Los pasos a seguir para el correcto funcionamiento del equipo son los siguientes:

1. Inspección del depósito de líquido refrigerante.
2. Conexión a la corriente eléctrica (220V)
3. Comprobar la apertura de las válvulas.
4. Encendido del equipo.
5. Manipulación de los parámetros de temperatura.
 - a. Estos parámetros dependen del material a procesar, la geometría de la pieza y el tiempo de ciclo establecido, a mayor tiempo de ciclo mayor temperatura.

Material	Rango de temperaturas del Chiller
Polipropileno (PP)	7-13°C
ABS	8-20 °C
PET	17-25°C

Tabla 2.27 Rango de temperaturas para los distintos materiales

b) Control de flujo de agua de proceso:

Es un sistema de control (también llamado caudalímetro) con un rango de 0-10 l/min, con conexiones al sistema de 3/8 para mangueras, están conectados al sistema general de enfriamiento, su función es controlar el flujo de agua hacia el molde, ya que tienen perillas de control. Dependiendo del número de conexiones en el molde se utilizarán los caudalímetros, regularmente se usan 2, pero existen procesos que requieren hasta 10 caudalímetros y una mayor demanda de flujo de agua. En el caso a estudiar, el sistema solo requiere 2 el que se coloca en la placa fija y el que va en la parte móvil.

La secuencia de puesta en marcha es la siguiente:

1. Conectar las mangueras de los caudalímetros al molde, en este caso se realiza mediante conexiones rápidas.
2. Comprobar la conexión de las mangueras del sistema general a la máquina.

Corroborar que la dirección de las mangueras sea correcta (del proceso y al proceso) de lo contrario hacer el cambio ya que el flujo al ser inverso tapa los conductos del caudalímetro.



Ilustración 2.9: Caudalímetro

c) Mangueras:

Las mangueras utilizadas en el proceso son de 1/2" y deben ser lo suficientemente largas para conectar a ambas partes del molde, se pueden utilizar para cerrar el circuito en el molde y hacer que el flujo sea menor dentro del mismo, el sistema debe conectarse de abajo hacia arriba, colocando las mangueras de entrada en la parte de abajo del molde y las de salida en la parte superior para que la velocidad de flujo sea más controlada y la transmisión de temperatura sea idónea para mantener el molde en altas producciones.



Ilustración 2.10: Mangueras con conexiones rápidas

2.4 Variables a controlar en la máquina de inyección.

Dentro del proceso de inyección, las variables más importantes a tomar en cuenta son las que intervienen directamente con el producto final, estas son: la presión (de inyección y de sostenimiento), la velocidad (de inyección), el material a inyectar y la temperatura en todos sus aspectos (de transformación de materia prima y de enfriamiento en el molde).

A continuación se hace mención de estas variables, mostrando un gráfico en el que se ve la función de cada una de las variables dentro del ciclo de producción.



Ilustración 2.11: Panel de instrumentos de la máquina.

a) Velocidad de inyección.

La velocidad de inyección determina la orientación molecular dentro de la cavidad, una variación de la misma, produce cambios en la orientación molecular y en los esfuerzos de corte entre las cadenas, tanto la orientación, como los esfuerzos de corte, con una alta velocidad de inyección se producen altos esfuerzos de corte y una marcada orientación molecular. Si observamos lo que ocurre al ingresar el material plástico en la cavidad del molde, al estar las paredes mucho más frías que la masa del mismo, una capa se solidifica, formando una cubierta aislante del resto del material que sigue su curso por el centro de la cavidad todo esto hace que existan zonas de distinta temperatura a través de las piezas inyectadas, inclusive se produce un segundo fenómeno de enfriamiento que es la necesidad de aumentar

la presión de inyección, ya que el material se va solidificando a medida que inyecta y ofrece mayor resistencia al flujo de material. Este aumento de presión muchas veces produce tensiones, rebabas o brillos en la zona cercana al punto de inyección, así como problemas de conmutación y falta de material en las piezas.

Aumentando la velocidad de inyección obtendremos una velocidad de llenado mayor lo cual contribuirá a reducir al mínimo las diferencias de temperatura y una contracción más uniforme y menor distorsión.

b) Presión

La presión en el proceso de inyección se utiliza de forma directa en cuatro operaciones importantes para el moldeo de la pieza. Estas operaciones son las siguientes:

Presión	Características
Presión de inyección.	Es la presión que se requiere para llenar el molde en un rango de 90 a 95% total de la pieza, para después llenar por completo con velocidad de inyección y la presión de sostenimiento.
Presión de sostenimiento	La presión de sostenimiento o empaquetamiento tiene como finalidad mantener constante la cantidad de materia dentro del molde, evitando la contracción de la pieza.
Contrapresión	Esta presión está encargada de evitar el retorno del material al momento en que el husillo retrocede para cargar material, mejorando la homogenización del plástico y evitando problemas de llenado.
Descompresión.	Al término de la carga de material el husillo regresa a una posición en la que deja de aplicar la contrapresión a este paso se le llama descompresión, si no se efectuara habría fuga de material en el molde.

Tabla 2.38 Características de presión

c) Temperatura

La temperatura de los plásticos dependerá del tipo de resina que estamos procesando, esta temperatura de proceso estará definida entre la temperatura de ablandamiento y la temperatura de fusión. Entre estos dos límites no se corre el riesgo de degradar el material y se cuenta con un rango de temperaturas modificables dependiendo el flujo de llenado. Si la temperatura es muy baja, puede ocasionar una falta de homogeneidad, esto traerá como resultado una orientación desapareja de las cadenas moleculares generando una mayor posibilidad de

distorsiones. También puede darse este problema cuando usamos más de un 75% de la capacidad de plastificación de la inyectora.

2.5 Definición del tiempo de ciclo.

El ciclo de inyección para que pueda ser definido de forma sencilla se divide en etapas cronológicas, pues no podemos pasar a la siguiente etapa sin haber concluido la anterior, por esto se denomina a la inyección como un proceso cíclico. Cada una de estas etapas a su vez controla ciertos parámetros con la finalidad de mantener un proceso cíclico estable. En el siguiente grafico se muestra a detalle cada uno de los pasos del ciclo de inyección, así como su descripción y subdivisión.

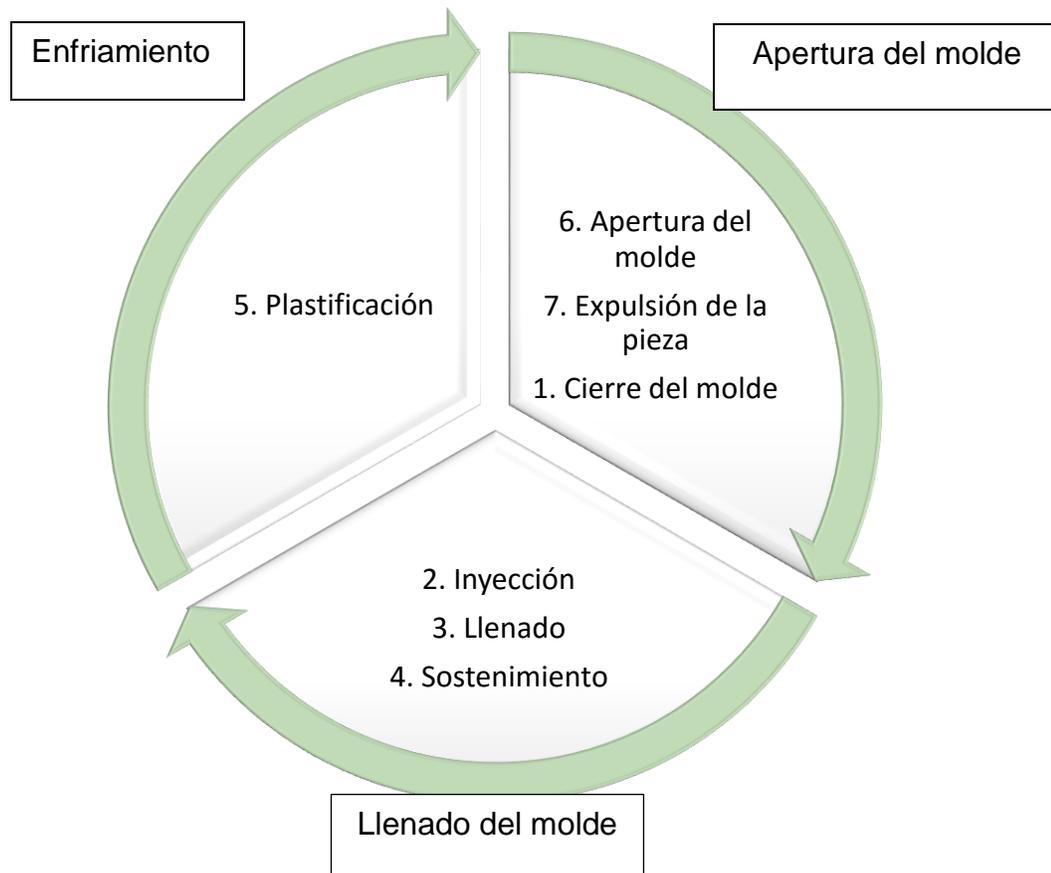


Ilustración 2.12: Ciclo de producción de inyección de plásticos.

Apertura del molde	6.Apertura del molde	Marca el final del ciclo de inyección, cuando la pieza cumple con el tiempo de enfriamiento en el molde, tomando completamente la forma requerida
	7.Expulsión de la pieza	Es el paso en el que se extrae la pieza del molde con ayuda de los pernos de botado, se debe cuidar la fuerza de botado ya que si es excesiva corremos el riesgo de marcar y/o dañar la pieza.
	1. Cierre del molde	Marca el inicio de un nuevo ciclo de inyección, la velocidad de cierre es menor a la de apertura y al contacto de ambas partes del molde se coloca una fuerza de cierre para evitar que la presión de inyección abra el molde.
Llenado del molde	2. Inyección	Se introduce el material plástico fundido a cierta velocidad y presión con la finalidad de llenar lo más rápido posible el molde.
	3. Llenado	En este paso se densifica el material inyectado, también se conoce como empaquetamiento y compensa la contracción de la pieza al enfriamiento.
	4.Sostenimiento	Previene el retroceso del material, ya que al momento de realizar la plastificación el material tiende a moverse con el husillo, para realizar este procedimiento, las maquinas cuentan con una válvula anti retorno, la cual evita este retroceso y genera la presión de sostenimiento en el molde.
Enfriamiento	5.Plastificación	Mientras el material toma la forma del molde y se enfría dentro del mismo, en la unidad de inyección se genera la plastificación que es la carga del material en el husillo, dependiendo de la cantidad de material es el tiempo de plastificación, en contraparte el tiempo de enfriamiento es distinto al de plastificación ya que este depende del tipo de material a procesar.

Tabla 9 Descripción del ciclo de inyección

Porcentaje y tiempo de ciclo real de producción de una pieza.

La máquina utilizada cuenta con un apartado en el que se demuestra el tiempo de ciclo de inyección y los valores son arrojados mediante porcentajes, a continuación, se coloca la imagen del proceso.



Ilustración 2.13: Porcentaje y tiempo de ciclo del proceso de inyección

Los parámetros modificables en este apartado de la máquina son los tiempos de proceso, como la duración de la solidificación, la rotación del husillo, el retroceso de la unidad de inyección, el tiempo entre ciclos y el tiempo máximo de duración de ciclos, si los tiempos superan cada uno de estos parámetros la máquina se alarma con la finalidad de proteger tanto al usuario como a sí misma.

A pesar de que se presentan con otros nombres alguno de los parámetros se deduce cuales son ya que su duración y su posición es correspondiente a los descritos con anterioridad, ya que la misma posición describe el ciclo de proceso, en donde la solidificación es la parte central ya que de ella depende la mayor parte del ciclo como tal.

CAPÍTULO 3. ESTABLECIMIENTO DE LOS PARÁMETROS NECESARIOS PARA LA PUESTA A PUNTO.

Contenido del capítulo:

Al ser identificados cada uno de los parámetros que interviene en el proceso de inyección de las probetas de plástico, se realiza la documentación de cada uno de estos, describiendo cada uno de ellos, modificándolos a conveniencia del proceso para estabilizarlo y mantener un proceso continuo, obteniendo al final los parámetros correctos para emitir un documento que contenga esta información para optimizar en un futuro los cambios de molde en la máquina.

3.1 Rangos de temperatura para transformar el material.

La unidad de inyección está compuesta regularmente de 3 a 5 zonas de control de temperatura. El rango de temperaturas utilizado varía de acuerdo a múltiples factores como el tipo de material, relación l/d del husillo y la cantidad de material a inyectar, por mencionar algunas. La forma idónea de controlar las temperaturas de las resistencias en el husillo es de forma ascendente, pues como mencionamos anteriormente nos apoyan en la procesabilidad del material, colocando la temperatura más baja en la zona donde hace contacto la tolva con la unidad de inyección y la más alta en la punta nariz.

La plastificación del material se produce debido al calor provocado por la fricción que produce el movimiento de giro del husillo en la unidad de inyección, este fenómeno se produce en la zona central del husillo. Las resistencias se utilizan principalmente para mantener el plástico a la temperatura requerida. Debido a la fricción, antes explicada; la temperatura real del plástico es normalmente, superior a la temperatura de control de las resistencias. El grado de contracción final dependerá del equilibrio entre estos dos factores. Un punto importante a tomar en cuenta es el tiempo de residencia del material en la unidad de inyección, ya que un tiempo corto representa altas presiones para la inyección, mientras que un largo tiempo de residencia representa una mayor degradación del material.

Esperamos de 10 a 25 minutos para que las resistencias lleguen a esa temperatura, ya que, si se opera con temperaturas inferiores corremos el riesgo de dañar el husillo llegando a fracturarlo, además que el material no ha plastificado lo suficiente para fluir correctamente. En la página de entrada de valores de temperatura se puede modificar el valor de las temperaturas, el rango de aceptación de temperaturas ($\pm 10^{\circ}\text{C}$), además podemos controlar la actividad de cada resistencia y el control de su temperatura mediante la modificación de los parámetros de “Marcha” y “Vigilancia”.

Las temperaturas utilizadas en el proceso de inyección están relacionadas con el tipo de material que se va a transformar. Estos rangos de temperaturas ya se encuentran definidos con anterioridad, la siguiente tabla muestra el rango de temperaturas especificado para los materiales a transformar en nuestro proyecto.

MATERIALES/ CARACTERISTICAS	Polipropileno	ABS	PET
TEMPERATURA DE TRANSFORMACIÓN	180-220°C	220-260°C	250-280°C

Tabla 10 Rango de temperatura de los materiales a procesar.

A continuación, mostramos la tabla de temperaturas para proceso de los materiales utilizados, así como la pantalla de la máquina en donde se controlan las temperaturas.

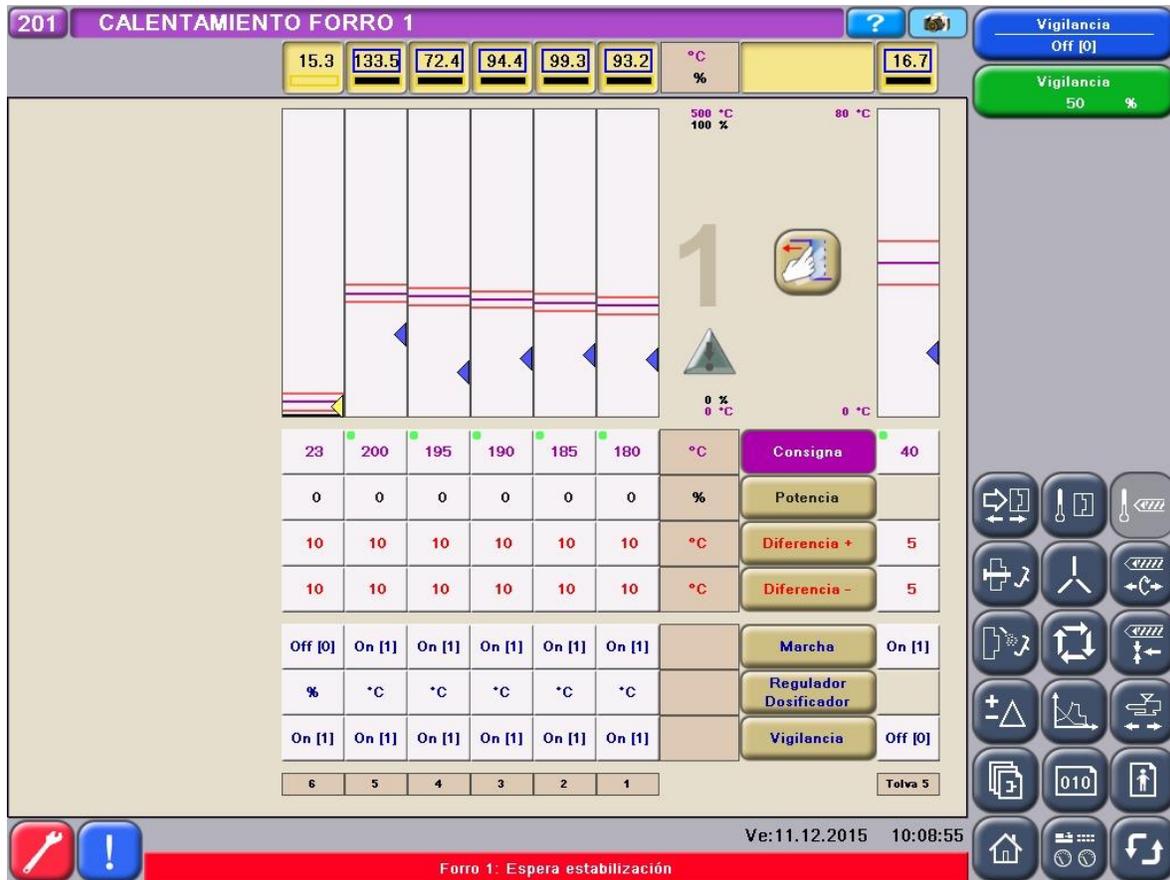


Ilustración 3.1: Temperaturas de transformación de las resinas

3.2 Presión de inyección.

Esta presión es la necesaria para contrarrestar la resistencia generada al introducir el material al molde, siendo determinada por la geometría de la pieza y los canales por donde fluye para el llenado, esta presión corresponde a la fase de llenado del molde y se llena de 90 o 95%, para después terminar de llenar la pieza con la presión de mantenimiento y velocidad de inyección.

Cabe destacar que se necesita hacer un cálculo para determinar la presión de inyección ya que esta depende tanto de la geometría de la pieza, como de la viscosidad del material utilizado para producir la pieza. De igual manera se puede hacer el llenado del molde a prueba y error para determinar la presión ideal para el proceso, pero esto conlleva desperdicios de material, tiempo máquina y operaciones desgastantes, para nuestro estudio se realizaron con anticipación dichos cálculos (ver anexos apartado V. *Cálculos de los parámetros de transformación.*) y se prosiguió a colocar los datos obtenidos.

A continuación, se muestra la página en la que se colocan los parámetros para la inyección y sostenimiento.

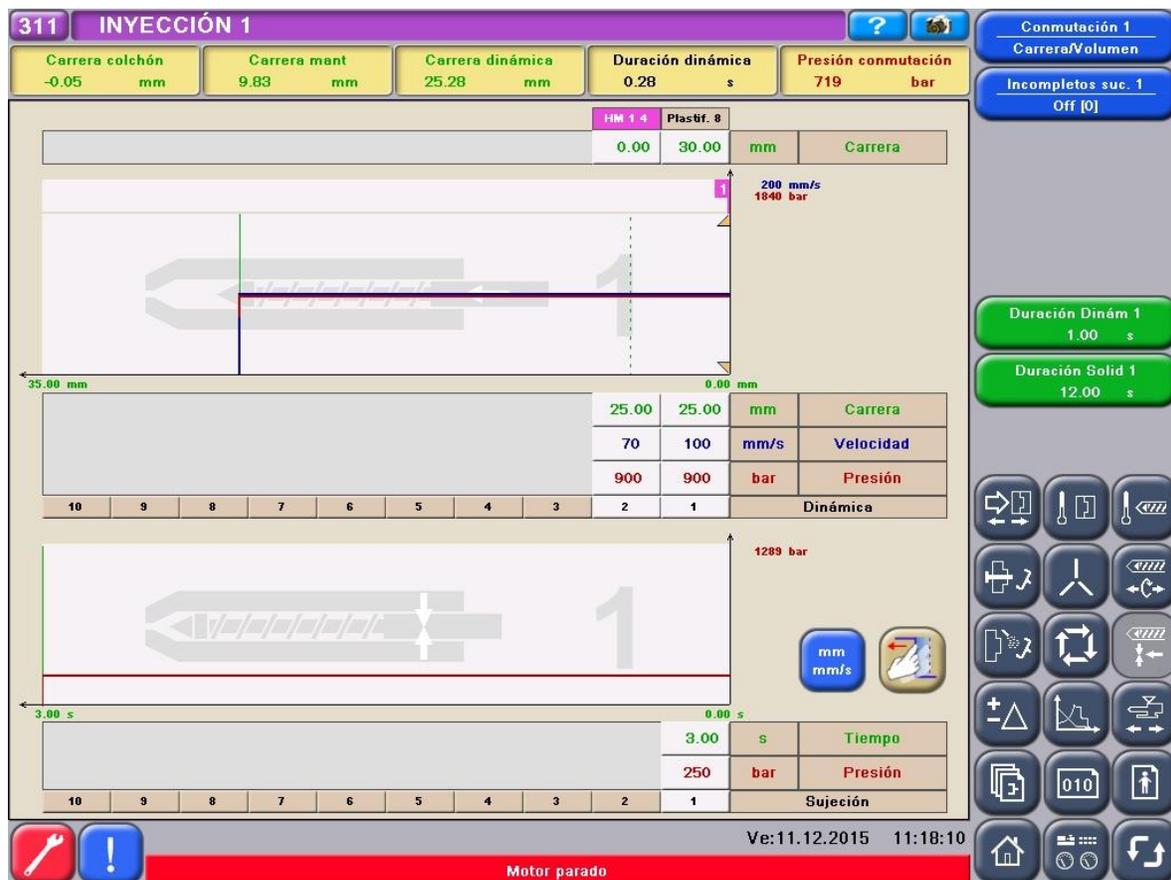


Ilustración 3.2: Pagina de modificación de parámetros de inyección.

En la parte superior se muestran las características de velocidad, cantidad de material (carrera) y presión para efectuar la inyección del material, mientras que en la parte inferior se muestran las de mantención que son la presión y el tiempo de sostenimiento, a lado derecho tenemos los tiempos de enfriamiento, estos parámetros son modificables.

Los parámetros utilizados para cada material utilizado son distintos debido a su viscosidad, aumentando o disminuyendo en algunos casos, a continuación, mostramos los parámetros utilizados para cada uno de ellos.

<i>Parámetro/Material</i>	<i>Polipropileno</i>	<i>ABS</i>	<i>PET</i>
<i>Carrera</i>	25mm	25 mm	20 mm
<i>Velocidad</i>	100mm/s	130mm/s	70-100 mm/s
<i>Presión</i>	800 Bar	800 Bar	900 Bar
<i>Tiempo (sostenimiento)</i>	3 s	3 s	3 s
<i>Presión (sostenimiento)</i>	250 Bar	300 Bar	350 Bar

Tabla 11 Parámetros de presión de inyección.

Los parámetros mostrados en la tabla tienen una variación debido al material procesado, como caso práctico-comparativo utilizamos SAN para corroborar que los cambios que presentan los parámetros establecidos eran correctos, determinando que efectivamente cambian ya que al utilizar un material con características similares entre el ABS y el PET mostrábamos que los parámetros cambiaban con respecto a ambos pues, la cantidad de material y la velocidad se comparaban con los del ABS pero la presión y las características de sostenimiento correspondían a las del PET.

Para efectuar el correcto llenado del molde en los casos de los materiales establecidos para esta investigación se colocaron los parámetros iniciales de acuerdo a los cálculos efectuados para cada uno de ellos, teniendo una mínima variación en ellos, ya que se debe considerar un 20% de margen de error en la máquina, ya que estos cálculos no toman en cuenta la precisión de la misma.

3.3 Fuerza de botado.

Este parámetro es de suma importancia para la extracción de las piezas dentro del molde, ya que, si no se utilizan botadores, las piezas quedan compactadas en las cavidades del molde dificultando la extracción y aumentando el tiempo de proceso del material, para esto el molde está dotado de un sistema de botadores que apoyan en la extracción segura y sin daños de las piezas, para esto se requiere calcular la fuerza de botado necesaria para activar dichos botadores.

Esta extracción es realizada después de terminada la apertura total del molde, la distancia de los botadores es determinada por el grosor de la pieza y la distancia colocada entre ambas partes del molde, también depende de la distancia total de los botadores. Estas variantes son poco relevantes a diferencia de la fuerza de botado, de la cual hablaremos posteriormente.

A continuación, se muestra un gráfico que arroja la máquina para la manipulación de los distintos parámetros del sistema de expulsión de la pieza.

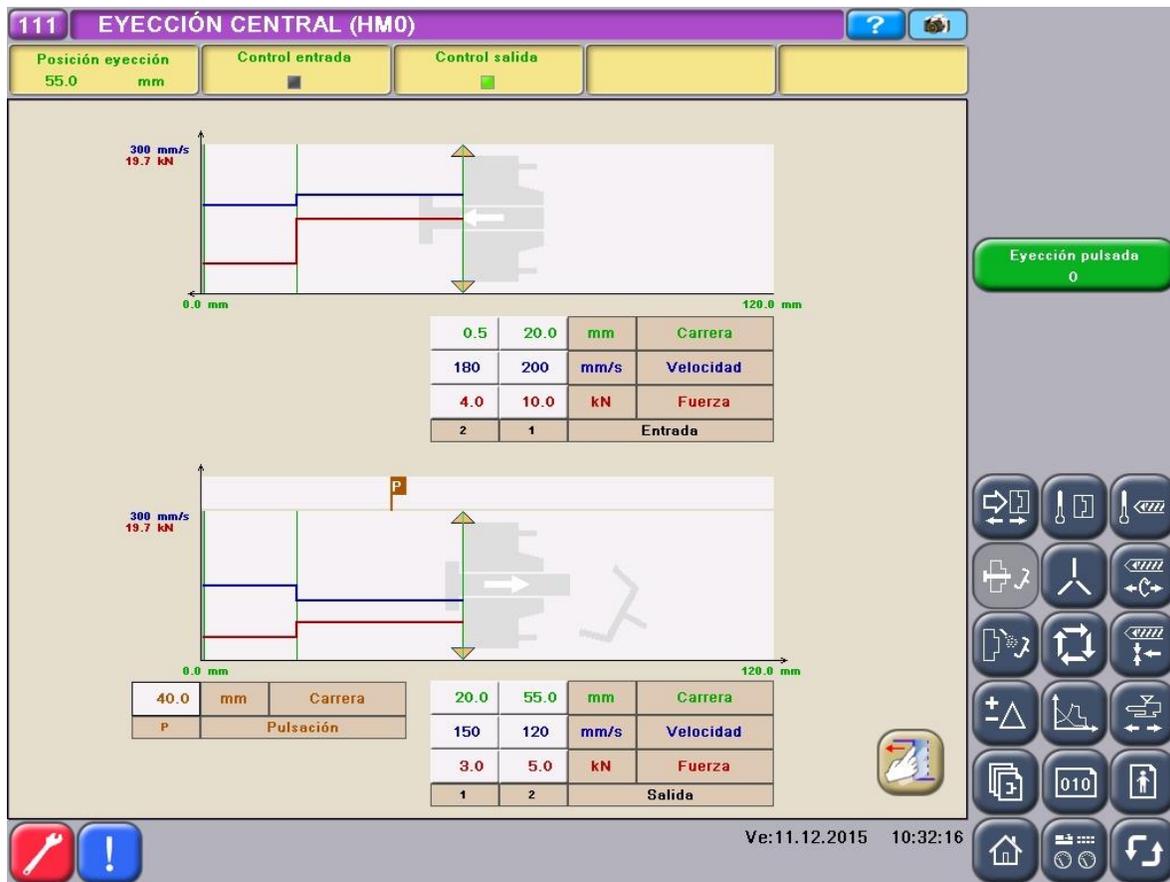


Ilustración 43: Parámetros de botado de las piezas.

Existe un parámetro denominado carrera de pulsación (en los gráficos se denomina con una letra “P”), el cual determina la distancia en la cual la placa de botado hace contacto con el perno de botado esto con la finalidad de determinar la posición del mismo y saber en qué momento la maquina puede introducir los parámetros establecidos al proceso con la finalidad de poder expulsar satisfactoriamente las piezas producidas.

En el caso de estudio llevado a cabo se utiliza un molde con sistema de expulsión mecánico ya que es el más sencillo de manipular. A continuación, se muestra una tabla con los parámetros utilizados para la expulsión de las piezas de acuerdo a los materiales utilizados.

Parámetros de entrada y salida de botadores:

PARÁMETRO/MATERIAL	POLIPROPILENO	ABS	PET
CARRERA (RETROCESO DEL BOTADOR)	20-0.5 mm	20-0.5 mm	20-0.5 mm
VELOCIDAD	180-200 mm/s	180-200 mm/s	180-200 mm/s
FUERZA	10-4 kN	10-4 kN	10-4 kN

PARÁMETRO/MATERIAL	POLIPROPILENO	ABS	PET
CARRERA (SALIDA DE BOTADORES)	20-55 mm	20-55 mm	20-55 mm
VELOCIDAD	150-120 mm/s	50-80 mm/s	150-170 mm/s
FUERZA	3-5 kN	8-10 kN	3-5kN

Tabla 12 Parámetros de entrada y salida de botadores.

No existen cálculos para determinar la fuerza de botado, esta parte se hace a prueba y error, aunque se tiene una noción de los parámetros debido a la resistencia del material y la geometría de la pieza, ya que mientras más compleja sea la pieza requerirá de mayor fuerza de botado y menor velocidad. Otro factor importante que nos ayuda a determinar la fuerza de botado es saber si en el diseño existen ángulos de 90°, ya que estos ángulos hacen que las piezas se atoren en el molde y dificultan la extracción, es recomendable evitar piezas completamente rectas o sin ángulos de salida para evitar que constantemente se estén atorando tanto cavidades como canales de alimentación.

3.4 Apertura y cierre de molde.

Los movimientos de apertura y cierre del molde marcan el final e inicio del proceso de inyección, por lo general se regula la velocidad y la fuerza de cierre, así como la distancia y la velocidad para la apertura, ya que en ambos casos el tiempo de operación influye en el tiempo total del ciclo de producción. La distancia de apertura debe ser lo suficientemente amplia para poder expulsar la pieza sin necesidad de introducir algún objeto para separarla, en algunos casos se utilizan brazos robóticos que extraen las piezas y las acomodan, aunque en casos más austeros se debe esperar a que las piezas caigan del molde.

En caso de que la pieza quede atorada en el molde, el proceso tiene un tiempo modificable de cierre de algunos segundos con la finalidad de observar si la pieza fue expulsada correctamente, de lo contrario se procede a extraer manualmente la pieza.

A continuación, se muestra la pantalla de control del sistema de control del molde.

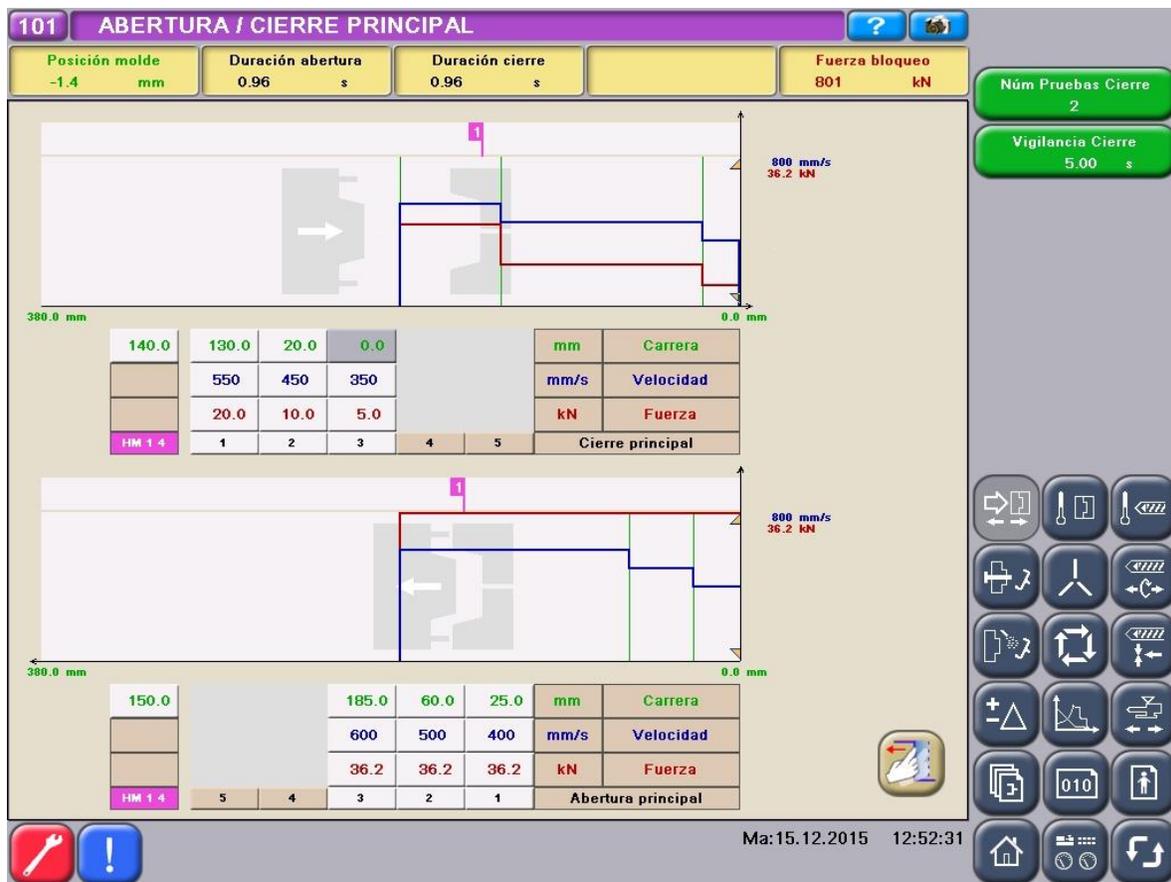


Ilustración 44: Apertura y cierre de molde

Como mencionábamos con anterioridad, la apertura y cierre del molde marcan el tiempo de ciclo de proceso de inyección, como podemos ver en el gráfico está regido por 3 movimientos tanto en apertura como en cierre, esto se debe a que marcan la posición final e inicial de operación. El parámetro HM 1 4 marca la posición última de operación del molde, o sea, la distancia máxima de apertura y cierre del molde, en el caso de nuestro molde tiene 150 mm de apertura máxima, esto es, la distancia que se separan las platinas fija y móvil.

Aunque en la tabla de valores se coloquen parámetros superiores, la distancia máxima que ha de separar el molde a las platinas será solo la que marca el parámetro "HM 1 4", en el caso de la tabla se pueden colocar hasta 5 columnas de control de parámetros, pero esto solo añadiría más tiempo en el proceso, se recomienda colocar 3 columnas para mantener estabilidad en la carrera de apertura y cierre. Para la manipulación de nuestro proceso en particular, estos valores son invariantes para los 3 tipos de resina utilizados, ya que la diferencia de material inyectado no interfiere en estos parámetros ya que la geometría adquirida es la misma.

Hay que destacar que la lectura de las gráficas va de izquierda a derecha en la parte superior y de derecha a izquierda en la parte inferior debido a que la superior es para cierre del molde y la inferior es para apertura del mismo. En algunos casos la apertura del molde debe realizarse en forma creciente ya que si se cuenta con insertos en el molde se debe tener precaución de extraerlos adecuadamente y evitando que se dañen o dañen el molde. El cierre siempre será de forma decreciente ya que se debe cuidar que no tenga materiales que generen un posible daño al mismo, y al final se contactó de las placas entra la fuerza de sostenimiento del molde que sabemos se encarga de contrarrestar la presión de inyección.

3.5 Posición del grupo inyector.

El grupo inyector o también conocido como unidad de inyección es la parte que se encarga de transportar, transformar e inyectar el material al molde, su posición es un factor importante para el proceso, de este va a depender el flujo del material con respecto al molde, cuando no se tiene buen contacto con el molde, específicamente con el bebedero, se producen fugas de material que a largo plazo modifican significativamente los parámetros de inyección ya que la variación de flujo dependerá de cuanto material este fugándose por las zonas donde no se tiene contacto entre ambas partes.

La forma de calcular la posición ideal dependerá de la distancia que haya entre el punto cero de la unidad de inyección y la distancia a la que se encuentra el bebedero del molde. Esto se puede determinar a partir de la medición anticipada de la unidad de inyección con respecto a la platina fija de la máquina, en este caso de 25 mm. Al momento de colocar el anillo centrador se aumenta la distancia del bebedero, haciendo que la colocación de la unidad dependa de un estudio a prueba y error, esto se realiza antes de iniciar el ciclo de producción (durante la etapa de puesta a punto para evitar problemas en el proceso).

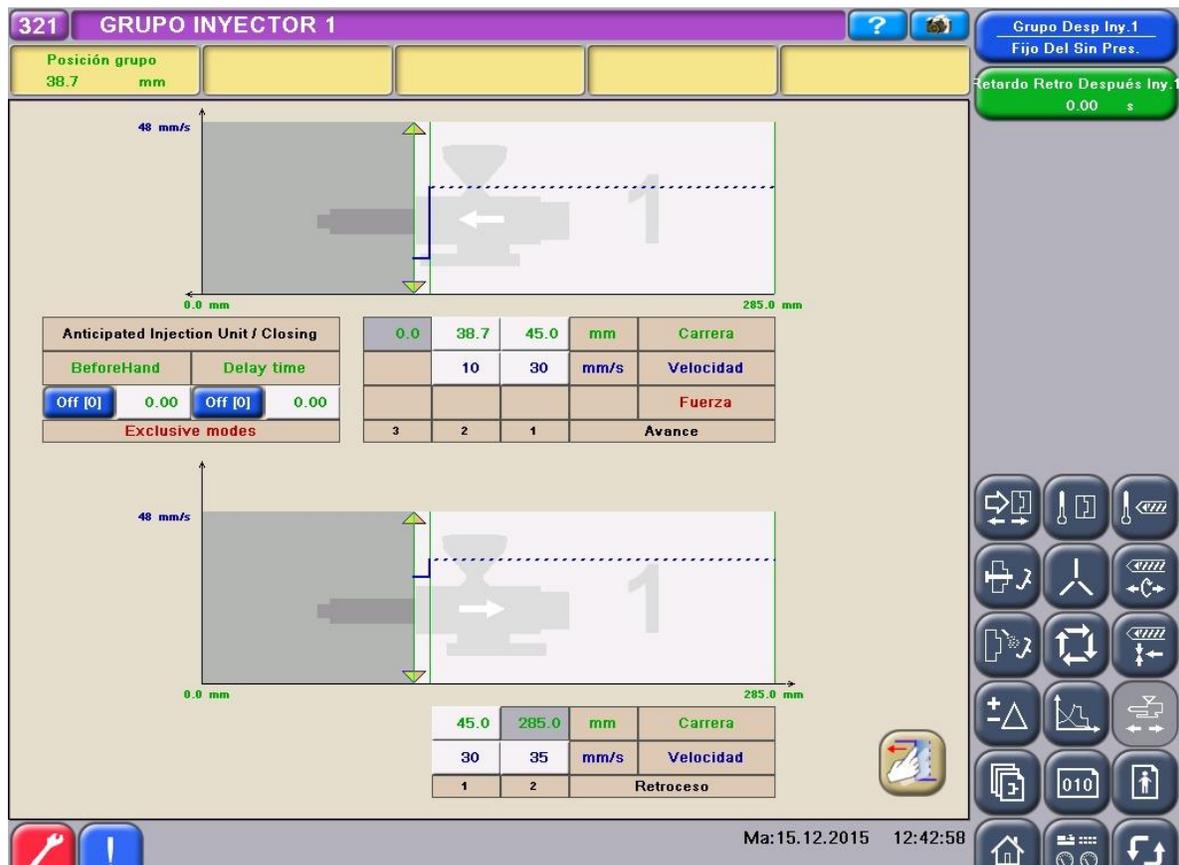


Ilustración 45: Posición de la unidad de inyección.

En la imagen se observa que la posición de la unidad de inyección no es 0, ya que como lo mencionábamos con anterioridad, la distancia entre el punto 0 de la unidad y la platina fija es de 25 mm, consecuentemente este valor es sumado a la posición de la unidad, el valor arrojado por la maquina es de 38.7 mm, esto se debe a que el molde tiene un anillo centrador de aproximadamente 13.7 mm.

Al hacer pruebas de posición se debe tener cuidado de tener en todo momento el molde cerrado ya que, por la fuerza con la que se acerca la unidad de inyección se corre el riesgo de aflojar las bridas y que la placa fija se caiga o tenga variación de posición con respecto a la parte móvil, llegando a dañar el mismo molde al momento de cerrarlo. También es importante controlar la velocidad con la que se acerca la unidad al molde por eso en la tabla de la gráfica se observa que la velocidad disminuye cuando entra, no es necesario aplicar fuerza de entrada ya que no se requiere, en cambio se requiere fuerza de sostenimiento cuando se inyecta, pero esta la genera el husillo durante el proceso, la unidad solamente se mantiene fija en la zona especificada.

Al contrario de la entrada, la velocidad de salida es mucho mayor debido a que al terminar la producción o hacer cambio de material se debe separar para purgar el material residual de la corrida, debiendo hacerlo a una distancia considerable con respecto al bebedero del molde, en este caso la posición colocada es de 285 mm para evitar que llegara a taparse el bebedero.

La unidad de inyección también nos sirve como referencia para comprobar si el molde está completamente centrado, ya que para una buena producción tanto el orificio de la boquilla como el bebedero del molde deben ser concéntricos para evitar fugas de material. Se debe corroborar que el diámetro del bebedero sea ligeramente mayor al de la boquilla con la finalidad de no crear problemas de conmutación en la maquina ya que este problema demanda mayor presión de inyección para contrarrestar el deficiente flujo de material.

Para comprobar que en realidad estén concéntricos ambos orificios existen algunas técnicas de posicionamiento tales como la medición de la posición con respecto a la platina fija, en donde se hace una cuadratura para observar la posición de ambas partes y se ajusta la unidad de inyección para que estén en la misma área ambas. Otra forma es colocar un poco de tinta azul en la punta de la boquilla para observar los puntos en donde toca la unidad al molde y así poder alinear correctamente ambas partes. Este último método es completamente artesanal ya que se hace a prueba y error sin tener resultados completamente verídicos en pocos intentos.

3.6 Contrapresión y tiempo de sostenimiento.

Esta presión es ejercida en el momento en que el material es inyectado al molde, es de gran ayuda en el proceso pues sirve para la compactación del material dentro del molde ya que introduce cerca del 10% de material total en la pieza, además de que apoya en el proceso evitando que el material retorne por efecto de la plastificación de nuevo material para la inyección del siguiente ciclo, esto la hace apoyado de la válvula anti retorno.

El material se mueve hacia delante durante la carga de material mientras que el husillo gira hacia atrás, la contrapresión es aplicada en el husillo y tiene como función evitar el regreso del material, mejorando la acción de la mezcla del material. Dicho en otras palabras, esto ayuda a que se logre una buena homogenización del plástico.

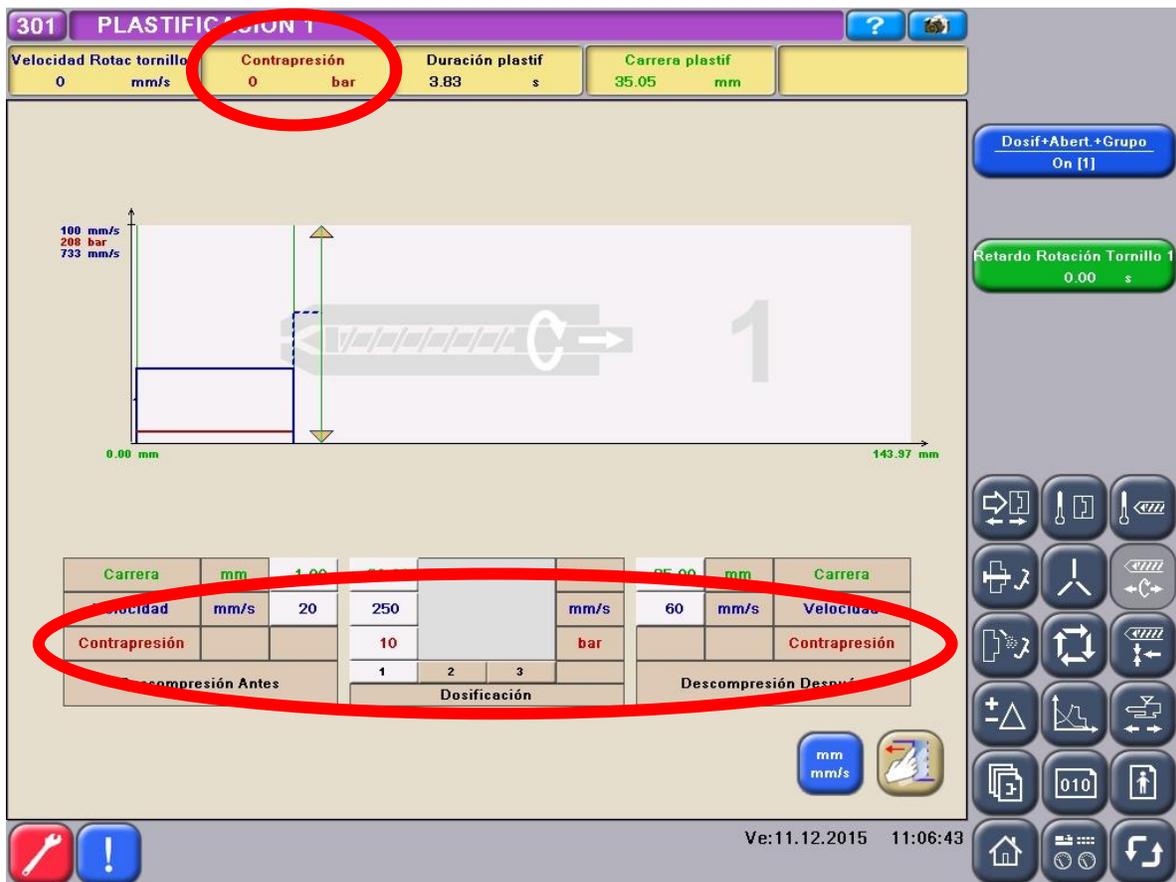


Ilustración 46: Presiones de sostenimiento

El tiempo de sostenimiento es el tiempo en que se efectúa la plastificación, o sea, el tiempo en que el husillo vuelve a cargar el material para la siguiente inyección, durante este tiempo se retiene la presión de sostenimiento para evitar problemas de retroceso, como bien se menciona se mide con el tiempo de plastificación pues es el tiempo en el que el husillo se mueve hacia atrás para la homogenización del material a procesar.

El valor de la contrapresión se define mediante la presión ejercida del molde a la unidad de inyección, pero no hay que confundir la contrapresión con la presión de sostenimiento, pues la presión de sostenimiento es la que se ejerce cuando se cierra el molde y entran las rodilleras para mantener la presión ejercida de la unidad de inyección para llenar el molde y la contrapresión es la ejercida para evitar el retorno del material a la unidad de inyección por efecto de descompresión de la unidad de inyección, ya que se deja de ejercer presión por parte del husillo.

La contrapresión también es conocida como segunda presión ya que entra al momento en que la presión de inyección deja de actuar para volver a cargar material, como ya se sabe se utiliza para comprimir el material en el molde y termine de llenar las cavidades evitando defectos como falta de material, burbujas e inclusive alabeo en las piezas. Esta presión no necesariamente debe ser tan alta como la de llenado ya que si así fuera generaría tensiones residuales en la zona de la entrada de material.

3.7 Carga de material.

La plastificación o carga de material es un proceso sumamente importante en el ciclo de inyección, ya que de este depende que el flujo de material sea constante y su plastificación sea adecuada para el proceso, esta se efectúa momentos después de haber concluido la inyección del material y la entrada de la contrapresión, la distancia recorrida por el husillo va a depender de los gramos de material inyectado tanto para las piezas como para la colada.

La homogeneidad del plástico a inyectar reside en la velocidad de rotación del husillo y en el caso de la máquina utilizada existen 3 zonas en donde la velocidad puede modificarse.

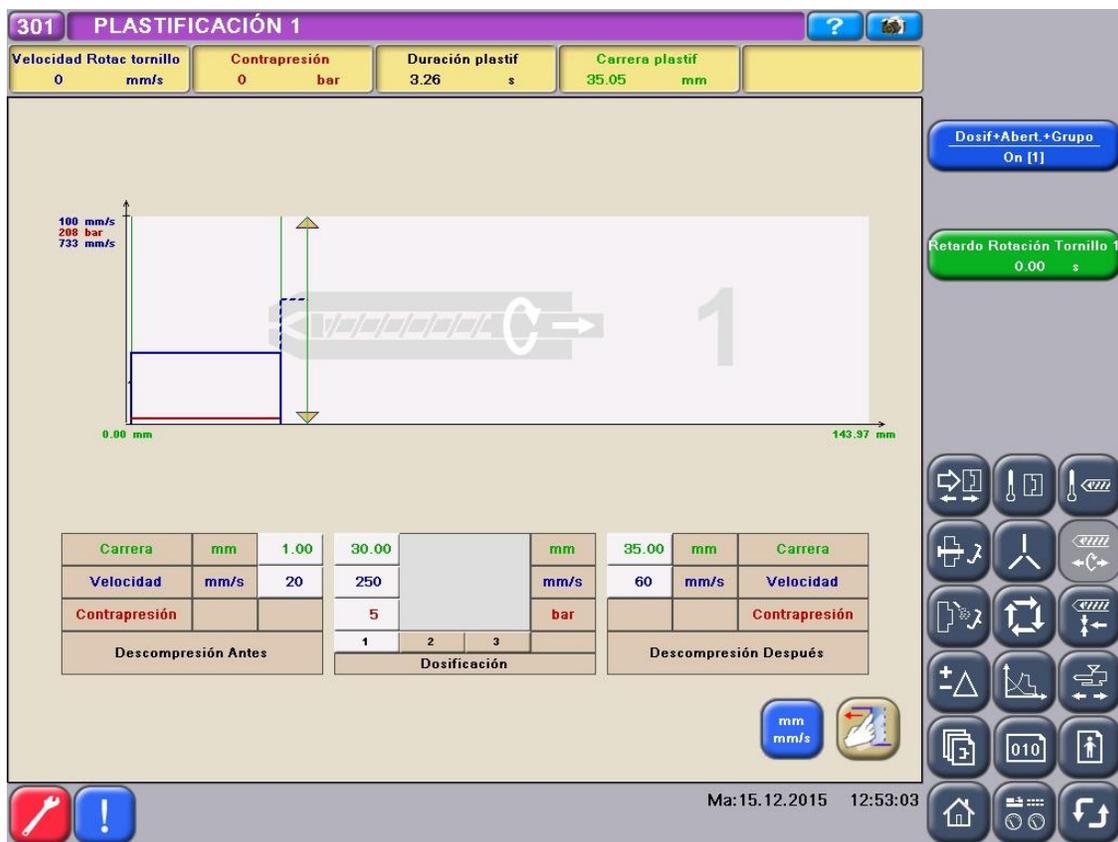


Ilustración 47: Plastificación de resina a transformar.

La carrera en este caso es la distancia que va a recorrer el husillo para cargar material necesario para llenar las cavidades del molde con todo y colada, en algunos casos se coloca un colchón de material para evitar que se tengan problemas de llenado y son constantes en la zona de descompresión antes, esto con la finalidad de mantener el material compactado en el molde y además tener una referencia de la cantidad de material requerida. Algunos manuales de operación de las maquinas marcan como colchón un 10% de la capacidad de la unidad de inyección.

La zona de descompresión antes, es la zona en donde reside el material y se ejerce la contrapresión, o sea, es la punta de la unidad de inyección, aquí el material se mantiene constante, por consecuente solo se debe mantener la presión para evitar el retorno del material del molde a esta zona. Siguiendo la zona de dosificación en donde ocurre el proceso de transformación del material de estado sólido a fundido, la velocidad es mayor debido a que por efecto de fricción y temperatura el material es reblandecido, en esta zona entra la contrapresión, y entra al momento en que se hace el cambio de velocidad en la rotación del husillo. Por ultimo tenemos la descompresión después que como su nombre lo indica es cuando ha terminado de transformar el material, en esta área se cargan ciertos milímetros de material con la finalidad de no dejar espacios vacíos entre cada tiro.

Para la última zona desaparece la contrapresión pues ya ha terminado de plastificar el husillo y la solidificación dentro del molde ya es un hecho, consecuentemente disminuye la velocidad de giro del husillo y solo se introducen algunos milímetros de material a la máquina.

En las pruebas realizadas la cantidad de material es invariante para los 3 materiales debido a que la cantidad de material a inyectar depende de la geometría y espesor de la pieza a inyectar, así como también del número de piezas y forma de la colada, para esto se realiza un cálculo de material a inyectar mediante la proyección del área con la finalidad de conocer un aproximado de los mm^3 que se requieren para llenar la pieza.

3.8 Tiempo de enfriamiento.

Como se ha mencionado a lo largo del desarrollo de esta investigación, el tiempo de enfriamiento es el factor más importante para la producción de piezas ya que de él dependen el tiempo de ciclo, la calidad de las piezas y la producción en general, si no se tiene un control en la temperatura del molde las piezas tienden a salir con problemas. Este tiempo dependerá del tipo de material procesado, ya que no es lo mismo enfriar un material de ingeniería a un commodity, pues las temperaturas de proceso son completamente distintas, por consiguiente el enfriamiento es distinto y la temperatura del molde debe controlarse dependiendo cada material como se vio con anterioridad.

En el siguiente recuadro se nota el tiempo de ciclo total, siendo la solidificación el parámetro que absorbe más tiempo en el proceso, teniendo un tiempo promedio de 30 segundos tomando cerca del 75% del tiempo de producción de las piezas.

Este tiempo puede ser modificado en la parte derecha del tablero en el icono de nombre duración de la solidificación y se disminuye conforme a la temperatura de enfriamiento manejada en el molde.



Ilustración 48: Tiempo de ciclo y porcentaje de plastificación

Por otra parte, si la temperatura del molde es demasiado baja se tienen problemas de llenado, ya que la solidificación del material empieza desde su incorporación a los canales de llenado, así como transpiración de las placas y en algunos casos, generación de tensiones en el molde. Este parámetro se calcula de forma empírica, ya que existen factores externos que modifican los valores establecidos para el proceso.

A medida que el enfriamiento en el molde se lleva a cabo, los materiales tienden a ajustarse a la forma diseñada en el molde, si se tiene un control en la temperatura correcto, el enfriamiento de la pieza es uniforme y al momento de ser expulsada los defectos en la pieza son mínimos, en cambio con un enfriamiento acelerado de la pieza se tienen problemas tanto al momento de la extracción como al momento de hacer pruebas de tensión a la pieza llegando a su punto de fractura fácilmente.

Con una temperatura ideal las piezas tienen una contracción inmediata durante el enfriamiento en el molde, pero conservarán las dimensiones establecidas para la pieza, o sea, la contracción post moldeo será prácticamente nula.

No es recomendable inyectar piezas gruesas ya que no se tiene un control del enfriamiento interno de las piezas (únicamente externo). Además, para que el enfriamiento se produzca de forma homogénea en toda la pieza es mejor que los espesores de ésta sean uniformes.

3.9 Obtención de las probetas bajo los parámetros establecidos.

Para la fabricación de las probetas por el método de inyección no existe un procedimiento establecido para su obtención, sin embargo deben cumplirse ciertas especificaciones que deben tener las probetas, estas especificaciones como ya mencionamos con anterioridad se encuentran en la norma ISO 527-1 "Plastics; *Determination of tensile properties*" (ver anexos parte VI). De donde determinamos los factores importantes que intervienen en el producto final, ya que con las características descritas en la norma, podemos establecer los parámetros a partir de los requerimientos de dicha norma.

Después de parametrizar todas las variables que interfieren en el proceso de inyección y colocarlas en las páginas correspondientes de la máquina proseguimos a iniciar el ciclo de inyección, para este fin realizamos una serie de pasos que ayudan al operador de la maquina a realizar la tarea, a continuación se describe e ilustra cada uno de estos pasos para su mejor comprensión.

a) Posicionamiento de las unidades.

Para iniciar el ciclo encendemos los servomotores, el control de temperatura, colocamos todas las unidades en una posición específica, en este caso se debe plastificar la cantidad de material a inyectar, posteriormente limpiamos la boquilla de inyección, cerramos el molde y acercamos la unidad de inyección a su posición de proceso, todo esto con ayuda de la unidad de control.

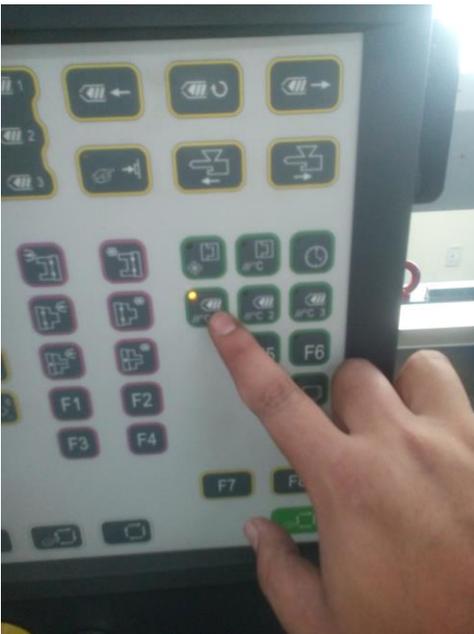


Ilustración 49 Control de las unidades de la maquina

b) Inicio de ciclo de inyección.

Después de colocar las unidades en su posición inicial, proseguimos a abrir el molde, verificamos que la temperatura del molde este en un rango idóneo, colocamos la maquina en modo semiautomático y accionamos inicio de ciclo, en este punto surgen algunas alarmas de proceso, la más frecuente es la de “defecto de conmutación” el cual se debe a la diferencia de presión en el llenado de la pieza, para solucionarlo debemos cambiar los parámetros de presión necesaria, el principal defecto es el llenado de la pieza, si sigue dando esta alarma debemos aumentar el flujo del material inyectando a menor velocidad y mayor presión o en su defecto aumentando un poco la temperatura del material.



Ilustración 50 Molde cerrado, ciclo de inyección.

Es importante saber que los cambios en los parámetros se ven reflejados en la pieza final después de 3 a 5 ciclos de inyección, por consecuente no es recomendable hacer muchos cambios constantes, ya que a la larga no se sabe cuál fue el parámetro que influyo en la mejora del producto.

c) Fin de ciclo de inyección.

El ciclo termina justo en el momento que se accionan los botadores para la expulsión de la pieza inyectada, la pieza cae por una rampa provisional y se verifica que cumpla con los requerimientos establecidos para la pieza, estos son:

- Piezas completas
- Sin rechupes
- Sin marcas de botado
- Sin burbuja en las zonas críticas
- Ya que las probetas de tensión sirven para caracterizar un material. En la imagen podemos observar el aumento de tamaño de las piezas inyectadas, el material transformado es polipropileno, la falta de llenado se debió al problema de conmutación.



Ilustración 51 Cambio dimensional de las probetas tras ajustar el defecto de conmutación.

Los valores de los parámetros calculados varían únicamente en relación al material transformado, pues la densidad de cada plástico es distinta una de otra, por consecuente para hacer cambio de materiales, primero se debe cambiar la temperatura del barril, luego subir las presiones de inyección y por ultimo cambiar la velocidad de rotación del husillo para mejorar la homogenización del material a procesar. A continuación se muestra una imagen con las probetas obtenidas de cada material transformado para este proyecto.

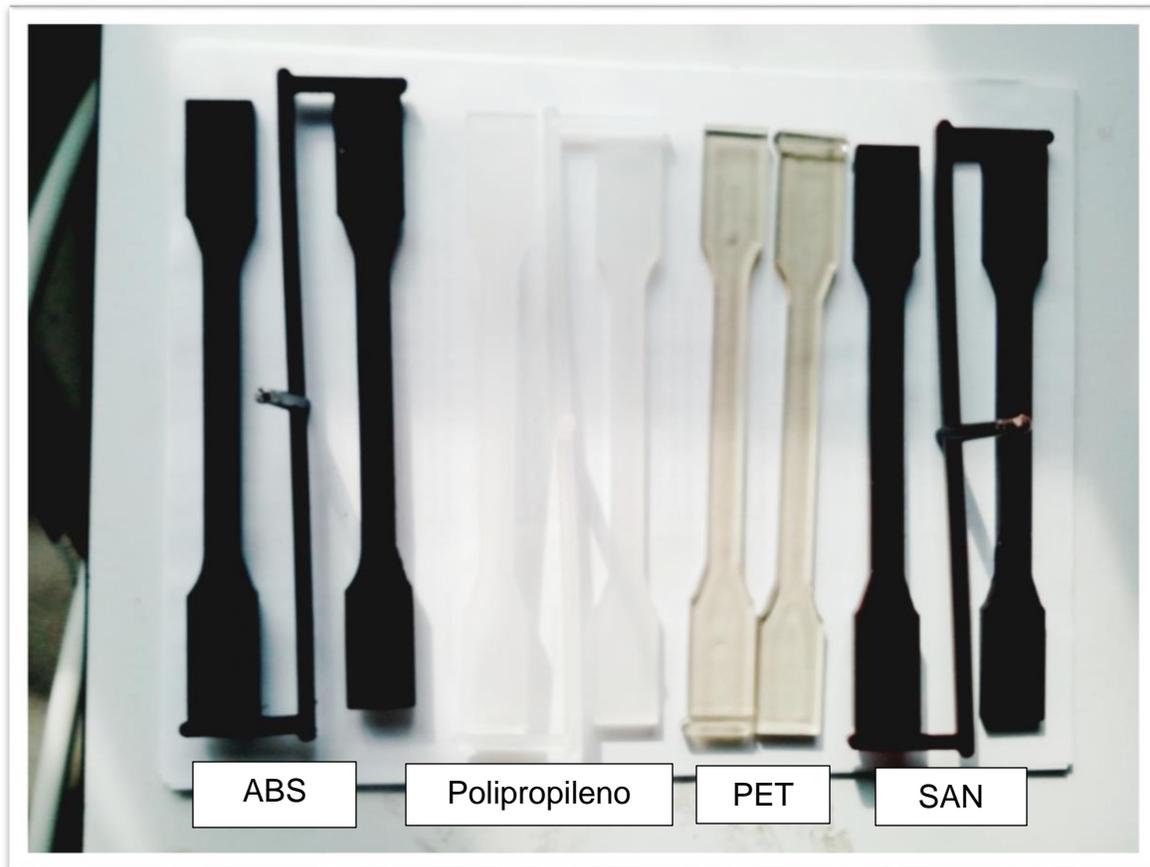


Ilustración 52 Probetas de tensión de plástico

De izquierda a derecha, las probetas mostradas son de ABS, PP, PET y SAN. Los parámetros de transformación para los 2 últimos materiales son parecidos. Cabe mencionar que para efectuar el cambio de materiales en el husillo es necesario purgar el barril dejándolo completamente libre de residuos del material antes procesado, para esto se utilizan materiales nobles y de rangos de temperatura relativamente bajo, por ejemplo PP y PEBD, también deben estar libres de cargas y pigmentos para notar cuando únicamente salga el material de purga sin residuos.

CAPÍTULO 4. REFLEXIÓN Y CONCLUSIONES.

Contenido del capítulo:

Durante un proceso de inyección de un producto plástico, es de gran importancia definir las diferentes áreas potenciales que pueden causar un problema, esto con el fin de analizar e identificar la causa raíz de los problemas que se presenten, durante el proceso de inyección. Por lo tanto el método de causa-efecto, nos ayuda a analizar las causas y los efectos de un problema y dar soluciones de manera óptima en beneficio de la producción de una pieza. Por lo tanto enseguida damos conclusiones y reflexiones de lo realizado en cada una de las siguientes áreas analizadas.

4.1 Método.

Se optó por realizar una práctica en la que se identificaron los pasos más importantes para la correcta realización de las operaciones de montaje y puesta a punto del molde, yendo desde la parte de seguridad personal hasta los parámetros más importantes para la producción de piezas.

Se comenzó por conocer las instalaciones, determinar los periféricos a utilizar y posteriormente iniciar con el proceso de inyección. En paralelo se trabajó con la investigación de los materiales a procesar, obteniendo las fichas técnicas de cada uno de ellos, se extrajeron algunas muestras y se hizo un análisis del material en relación a las condiciones de procesamiento.

El proceso de la puesta a punto de un molde de inyección se llevó a cabo, durante la puesta a punto, se desarrolló una ficha con todos los parámetros que influyen en la colocación de un molde para facilitar su montaje. Se definió un formato que puede ser utilizado para cualquier tipo de molde.

Reflexión: Es fundamental establecer y apegarse a un método para procesar un producto plástico, ya que conociendo y aplicando el método, se garantiza el logro de objetivos establecidos.

4.2 Maquinaria y equipos.

El proceso de puesta a punto de proceso de inyección, requiere que la maquinaria y equipos a utilizar, estén en perfectas condiciones, para esto el mantenimiento preventivo de estos equipos debe estar llevado de manera correcta y sistemática, para descartar problemas durante la ejecución del proceso.

Para proceder tanto al montaje y ajuste del en la máquina, se procedió a conocer el funcionamiento de cada uno además de tener a la mano los manuales de operación y mantenimiento de los distintos equipos, con la finalidad de llevar a cabo la puesta a punto de manera correcta y cuidar las indicaciones determinados por cada uno de los fabricantes de los distintos equipos.

Después de haber colocado los parámetros de ajuste en todos los equipos, procedemos a establecer y conectar el flujo del agua de enfriamiento hacia el molde, el cual controlamos con el caudalímetro en la unidad de control de la máquina.

En conclusión, cada uno de los equipos utilizados juega un papel importante en el proceso de transformación del plástico, y bajo este proceso se realizó la puesta a punto de los distintos equipos periféricos de control del proceso.

Reflexión: Es importante mantener los equipos (tanto maquinaria y periféricos) funcionales, por consecuente se deben utilizar planes de control de mantenimiento, lo cual es indispensable para asegurar la función, calidad y costo de las piezas fabricadas.

4.3 Instalaciones.

Otro aspecto importante para el control del proceso de transformación de plásticos en cualquiera de sus variantes, son las instalaciones en las que se realiza la producción y/o puesta a punto de un proceso, ya que de esto dependerá también la calidad de las piezas fabricadas. Como se vio en el capítulo 2, es requerimiento necesario de la máquina de inyección tener un espacio con características especiales para el montaje y nivelación de la misma, ya que, si el suelo no es capaz de absorber las vibraciones generadas por el movimiento durante el proceso de inyección, la maquina simplemente sufre de desajustes en la nivelación, arrojando problemas de centrado y llenado de molde.

Para la producción en masa de un producto es necesario tener un control de todos los requerimientos de las máquinas, tales como consumo energético, tipo de piso necesario para el montaje de las mismas y hasta el consumo de agua para enfriamiento del proceso.

En la parte de instalaciones requeridas para la puesta en marcha del presente proyecto no se encontraron deficiencias, ya que el laboratorio de manufactura cuenta con los equipos e instalaciones necesarias para desarrollar este proyecto. Las instalaciones utilizadas, son comparables con un área industrial debido al tipo de periféricos utilizados.

Reflexión: Conocer los requerimientos de la maquina es indispensable para determinar que instalaciones se requieren y poder garantizar el perfecta operación de los equipos y periféricos utilizados en una instalación.

4.4 Medio ambiente

Independientemente de los parámetros de control del ciclo de producción, el medio ambiente juega un papel importante en la producción de una pieza, pues los cambios de temperatura durante un día de labores influyen directamente en el proceso, ya que por ejemplo el tiempo de enfriamiento va a ser menor si el clima es frío, pero aumentara dependiendo el clima en el que se haga la producción, en casos muy particulares, se trabaja bajo ambientes controlados, ya que es requerimiento de producción hacer las piezas bajo cierta normatividad.

Reflexión: La absorción de humedad, la iluminación en la maquinaria, la absorción de vibraciones producidos por los equipos y la emisión de ruidos son los factores más importantes que se deben tomar y por lo tanto analizar las condiciones ambientales, en que se realiza un proceso productivo es un factor influyente en la calidad de un producto plástico.

4.5 Mano de obra.

El montaje y puesta a punto un molde de inyección, así como la colocación de los parámetros y manejo de los equipos en general, se efectuaron bajo la supervisión de personal capacitado bajo los aspectos de manipulación, conocimiento del entorno y funcionamiento de las maquinas a utilizar, ya que en caso de fallas se debe ejecutar un procedimiento para la contención y arreglo de la falla.

Debido a que al momento de efectuar cualquier ajuste en torno a la maquina se debe hacer un historial de modificaciones para solucionar cualquier problema de manera más rápida ya que debido a que las condiciones de operación y seguridad son variantes dependiendo el personal que efectúa dichas modificaciones.

Dentro del desarrollo del proyecto, la mano de obra juega un papel importante debido al nivel técnico requerido para la correcta manipulación de los equipos y el molde, consecuentemente se requirió el apoyo de 2 estudiantes de la carrera para apoyar con las tareas de montaje, manipulación y puesta en marcha de los distintos equipos periféricos que se utilizaron, se capacitaron en el uso de las máquinas, mostrándoles el principio básico de funcionamiento, las características técnicas que tienen y el mantenimiento que se debe dar a los mismos.

Reflexión: Es importante contar con personal capacitado para la puesta en marcha de un proceso de transformación, ya que cada proceso es distinto y se debe documentar cada uno de los cambios con la finalidad de optimizar y disminuir los tiempos de puesta a punto e inicio de producción.

Otro aspecto fundamental es la seguridad del operador, ya que el proceso presenta riesgos y por lo tanto el personal operador, debe contar con todo su equipo de seguridad determinado para la operación.

4.6 Conclusión de la hipótesis.

La hipótesis establecida al inicio del documento nos dicta lo siguiente: *“¿La calidad y tiempo de elaboración de un producto, dependen o están determinados por un correcto análisis y el establecimiento de los parámetros de operación de las principales variables (presión, temperatura, humedad, velocidad, tiempo, etc.) involucradas en la puesta a punto de un proceso de inyección?”*.

Por lo tanto, a partir de esta hipótesis, podemos concluir que es fundamental identificar y establecer cada variable y parámetros que intervienen en la producción de un producto plástico y de que de ellos depende la calidad, costo y entrega de un producto al cliente.

ANEXOS.

I. Ficha Técnica del P.E.T.



www.lorkindustrias.com

LORK INDUSTRIAS, S.L.
CARACAS, 11
08030—BARCELONA

Teléfono: 93 346 82 12

Fax: 93 311 30 60

Email: lork@lorkindustrias.com

FICHA TÉCNICA

PET

Denominación química

Poliéstero Tereftalato

Características técnicas

Densidad		ISO 1183	g/cm ³	1,36
Temperatura de Servicio			C°	- 40 + 110
Temperatura máxima de servicio en periodos breves			C°	≤160
Esfuerzo en el punto de fluencia		ISO 527	MPa	80
Elongación a la rotura		ISO 527	%	20
Modulo de elasticidad a la tensión		ISO 527	Mpa	3200
Resistencia al impacto		ISO 179/leU	kJ/m ²	82
Dureza		ISO 13000-2	Shore D	81
Tiempo limite de rendimiento 5 1/1000	23°C/50%RH 100°C	ISO 899	Mpa	12
Temperatura de distorsión térmica	Método A	ISO 75	C°	67
	Método B	ISO 75	C°	165
Punto de Fusión	Método A	ISO 3146	C°	255
Coefficiente de expansión lineal térmica		DIN 53752	1/K 10 ⁻⁶	6
Constante dieléctrica	1 MHz	IEC 250		3,3
Factor de disipación	1 MHz	IEC 250		0.02
Resistencia dieléctrica		IEC 243	KV/mm	50
Resistividad volumétrica		IEC 243	Ω-cm	10 ¹⁴
Absorción de humedad a 23°C, 50% RH		ISO 62	%	-0,23
Absorción de Agua a 23°C		ISO 62	%	- 0.5



Approved (US Food and Drug Administration). Según Código Federal de Regulación , Título 21.

II. Ficha Técnica del ABS.

FICHA TÉCNICA POLÍMERO TIPO		FT--1-B
PLÁSTICOS ACRÍLICOS		
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		
Formulación: Copolímeros y terpolímeros acrílicos:		Acrilonitrilo/butadieno/estireno ABS. Estireno/acrilonitrilo SAN
Tipo: Diversos tipos y grados, según composición.		
Aspecto de la granza: Lentejas. Gránulos. Emulsiones.		
PRESENCIA DE ADITIVOS		
Antioxidantes.		
Diluyentes: estireno y cetonas		
Antiestáticos: aminas y alcoholes		
Lubricantes: aceite de parafina, ftalatos, estearamidas		
Colorantes y pigmentos.		
Cargas: fibra de vidrio, asbestos, fluorpolímeros.		
PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN Y SUS TEMPERATURAS		
Proceso	Temperatura (°C)	
Moldeo por inyección	180-260	
Extrusión	180-240	
Termoformado	130-160	
DATOS DE DEGRADACIÓN TÉRMICA		
Temperatura degradación: A partir de 230°C°		
Productos emitidos: Olefinas		Gases nitrosos (NO, NO ₂)
H.C. acetilénicos		Amoníaco
Tolueno. Xilenos		Dióxido de carbono
Etil benceno		Monóxido de carbono
Estireno (monómero)		Formaldehído y otros aldehidos
Acrilonitrilo (monómero)		Ác. acético
Ác. cianhídrico		Metil-etil-cetona
INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA		
SAN: aplicaciones que requieren una calidad superior al poliestireno (accesorios del hogar, telefonía).		
Información adicional:		
<ul style="list-style-type: none"> • Termoplásticos. ABS es opaco, higroscópico y resistente al choque, SAN es de bajo costo, transparente y quebradizo. • Representan el 2% de la producción nacional de plásticos. • Se atacan por los ácidos. No les afectan las bases. Son solubles en cetonas, ésteres e hidrocarburos clorados. • Arden con facilidad, aunque las temperaturas de autoignición son altas. • Los productos de degradación son asfixiantes, irritantes, narcóticos y tóxicos.. 		

III. Ficha Técnica del Polipropileno.



VALTEC

HG010

HOJA DE DATOS DE PRODUCTO

Homopolímero de Polipropileno para Usos Generales.

Valtec es una nueva presentación para resina de polipropileno. Se produce en Indelpro usando el proceso Spheripol. Comparado con el polipropileno en gránulo (pellet), el Valtec puede mostrar ventajas en términos de mejoramiento de productividad, mejor procesamiento y menor consumo de energía.

La resina base de este producto, cumple con los requerimientos contenidos en el código 21 CFR 177.1520 (a) (1) (i) y (c)1.1a. Y de acuerdo a nuestra información, los demás ingredientes utilizados en este producto cumplen con los requerimientos regulados con respecto a FDA y en 21 CFR 177.1520(b). Este producto cumple con el criterio de FDA en 21 CFR 177.1520 para aplicaciones de contacto con alimentos, listados para condiciones de uso C, D, E, F, G, H en 21 CFR 176.170 (c), Tabla 2 y puede ser usado en contacto con todo tipo de alimentos, listados en 21 CFR 176.170 (c), Tabla 1.

Características:

- Mejores propiedades físicas y mecánicas.
- Mejor brillo y acabado.
- Reducción de ciclos, en algunos casos.
- Reducción de energía, en algunos casos.

Aplicaciones Típicas:

- Inyección de tapas con bisagra integrada.
- Productos y utensilios para el hogar.
- Inyección de Tapas.
- Equipo de Seguridad.
- Recipientes para medicinas y cosméticos.
- Juguetes

VALTEC HG010: HOMOPOLÍMERO, USOS GENERALES, FLUIDEZ MEDIA, APROPIADO PARA CONTACTO CON ALIMENTOS

PROPIEDADES TÍPICAS ^(a)	VALOR TÍPICO	METODO ASTM ^(b)
- Índice de fluidez (MFR), dg/min	6	D1238 ^(c)
- Resistencia a la tensión en el punto de cedencia, N/mm ² (psi)	33 (4,785)	D638
- Resistencia al impacto Izod con muesca a 23° C, J/m (ft-lb/in)	37.2 (0.73)	D256A
- Alargamiento en el punto de cedencia, %	10	D638
- Módulo de flexión, N/mm ² (psi)	1,440 (208,800)	D790B
- Densidad, g/cm ³	0.9	D792A
- Dureza Rockwell, escala R	95	D785A
- Punto de ablandamiento VICAT (2kg/mm ²), ° C (°F)	151 (304)	D1525
- Temperatura de deflexión a 0.46 N/mm ² (66 psi), °C (°F)	84 (183)	D648

(a) Los valores mostrados aquí son promedios y no deberán ser interpretados como especificación.

(b) Los Métodos de prueba ASTM son los últimos editados por la sociedad.

(c) Medida a 230°C bajo una carga de 2.160kg.

Con excepción de lo descrito aquí, INDELPRO, S.A. de C.V. no da garantías adicionales expresas o implícitas, como por ejemplo, garantías de comercialización o de aplicaciones específicas en el uso de este material. La solución a cualquier reclamación con respecto al material, es la reposición del mismo y en ningún caso INDELPRO, S.A. de C.V. será responsable de daños incidentales o consecuentes. El uso del producto indica la aceptación de lo anteriormente mencionado.

^{MP} Valtec es una marca registrada de basell Polyolefins Incorporated.
Producto fabricado en MÉXICO bajo las normas y estándares acordados con basell Polyolefins.

Impreso en México
13/09/08

IV. Formato de control de inyección.

Registro de las condiciones de moldeo.

Fecha:	Pieza:	Peso de una pieza:	grs.			
Descripción de la pieza:	Núm. De molde:	Peso del disparo:	grs.			
Numero de Rev.:	Núm. De cavidades:					
Id. De la máquina:	Tonelaje máquina:	Tamaño de disparo:	mm.			
Mecanizado:	Tipo de husillo:	Id. Del orificio de la boquilla				
Corrido por:						
Secuencia central:		Tipo de botado: solo botar empujar y tirar empujar/regresar con resorte otros				
Corrido por:						
Material	Núm. De corrida o descripción					
	Material					
	Lote no.					
	Concentración de color					
	Relación de mezcla de color (MB)					
	Otros aditivos					
Secado	Punto de roció (°F) (°C)					
	Temperatura (°F) (°C)					
	Tiempo (horas)					
	Tamaño de la tolva					
	Tiempo de residencia calculado					
temperaturas	Zona de alimentación (°F) (°C)					
	Zona central (°F) (°C)					
	Zona frontal (°F) (°C)					
	Boquilla (°F) (°C)					
	Distribuidor de temperatura (°F) (°C)					
	Fusión real (°F) (°C)					
	Platina fija (°F) (°C)					
	Platina móvil (°F) (°C)					
	Botadores(°F) (°C)					

ANEXOS

presiones	Velocidad de llenado (%)					
	Abrazadera (%) (ton)					
	Presión de llenado (P1)					
	Presión de cierre (P2)					
	Presión de sostenimiento (P3)					
	Contrapresión					
Tiempos de ciclo	Movimiento de tornillo de inyección					
	Tiempo de llenado (sec)					
	Tiempo de empaquetamiento (sec)					
	Tiempo de mantenimiento (sec)					
	Enfriamiento (sec)					
	Plastificación (sec)					
	Temporizador de molde abierto (sec)					
	Apertura total actual (sec)					
	Tiempo total (sec)					
	Tiempo de residencia en el barril (min)	CALC				
misceláneos	Método de transferencia					
	Posición de la transferencia (inch)(mm)					
	Peso de la transferencia (%)	CALC				
	Descompresión (inch)(mm)					
	Tamaño de tiro (inch)(mm)					
	Amortiguamiento (inch)(mm)					
	Final de carrera (inch)(mm)					
	Velocidad de tornillo (RPM) (%)					
Comentario	a.-					
	b.-					
	c.-					
	d.-					
	e.-					

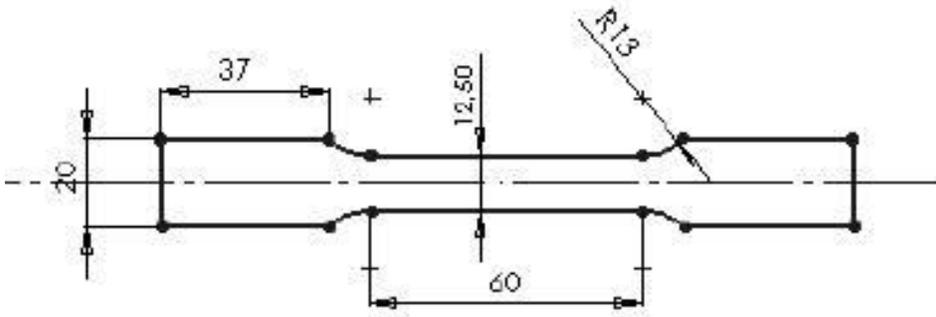
V. Cálculos de los parámetros de transformación.

1. - Calculo del área proyectada.

El área proyectada es calculada para determinar la presión aplicada al cierre del molde, a partir de esto también se calculan el número de cavidades máxima en el molde y determinar la capacidad de la máquina a utilizar.

Para las probetas a inyectar los datos son los siguientes:

Dimensiones:



El espesor es de 4 mm. Para las muestras fabricadas.

Formula:

$$l * a * \text{No. de cavidades}$$

Donde:

a= altura

l= longitud

Si la geometría es compleja se procede a calcular el área de la pieza de una forma coherente.

El área de nuestra pieza es: 5335.2 mm²

El área de la colada también es de importancia, por consecuente se calcula, en nuestro caso es de 1260mm².

En total el área proyectada es de 6595.2 mm²

2.- Recorrido del flujo.

El recorrido del flujo se calcula linealmente desde la colada hasta el punto más lejano de la pieza, sumando las longitudes lineales de cada parte, en nuestro caso es de 300mm.

3.- *Relación del flujo y determinación de la presión de la cavidad.*

Para calcular la relación de flujo se determina el menor espesor de la pieza y la colada, posteriormente se divide el recorrido del flujo entre el espesor de pared de la pieza, para así obtener la relación de flujo y posteriormente mirando las gráficas de relación de flujo determinamos la presión necesaria para la cavidad.

Formulas:

Rf=Recorrido del flujo/espesor de pared.

Rf=300mm/2mm

Para este caso la relación de flujo es de 150:1



Comparando nuestros resultados y espesor de pared en la tabla, nos arroja un valor de entre 100 y 200 bar de presión, entonces tomamos el mayor para tener un rango de confiabilidad. Siendo 200 bar o 204kg/cm²

4.- *Presión de inyección.*

Para calcular la presión de inyección es de gran relevancia conocer el factor de corrección para el material a transformar, existen tablas que nos dan estos valores. Cabe mencionar que este cálculo es para cada cavidad que tiene el molde, así que para determinar la presión general se debe multiplicar por el número de cavidades deseado.

RESINA	FACTOR POR VISCOSIDAD
GPPS (PS)	1
PP	1 - 1.2
PE	1 - 1.3
PA6 ó PA66, POM	1.2 - 1.4
Celulósicos	1.3 - 1.5
ABS, ASA, SAN	1.3 - 1.5
PMMA	1.5 - 1.7
PC, PES, PSU	1.7 - 2.0
PVC	2

Formulas:

Presión de inyección= Presión de la cavidad* factor de corrección.

Para el ABS: $204\text{kg/cm}^2 \times 1.4 = 285.6\text{kg/cm}^2$

Para el PP: $204\text{kg/cm}^2 \times 1.2 = 244.8\text{kg/cm}^2$

Para el PET: $204\text{kg/cm}^2 \times 1.8 = 367.2\text{kg/cm}^2$

5.- Fuerza de cierre.

La fuerza de cierre se calcula a partir del área proyectada de las piezas a inyectar y la presión de inyección para cada pieza. Al saber que tenemos dos cavidades en nuestro molde, multiplicamos las presiones obtenidas anteriormente por 2 para tener un resultado coherente. Tomaremos en cuenta el valor mayor de los obtenidos con anterioridad con la finalidad de obtener el valor máximo de presión de cierre requerido en nuestro proceso.

Formulas:

Fuerza de cierre= área proyectada x presión de inyección.

Fuerza de cierre= $65.95\text{cm}^2 \times (367.2\text{kg/cm}^2 \times 2) = 48,433.68\text{kg}$.

Entonces: la fuerza de cierre máxima requerida es de 48.43 Toneladas.

6.- Material a inyectar.

Para calcular la cantidad de material a inyectar únicamente multiplicamos el área proyectada por el promedio de espesor de la pieza.

Entonces:

$65.95\text{cm}^2 \times 0.4\text{cm} = 26.38\text{cm}^3$

La cantidad de material a inyectar es de 26.38cm^3

Nota: este cálculo es únicamente para las piezas y la colada, el valor de colchón de inyección se toma en cuenta al momento de procesar el material, también se debe colocar un sobre material para la compactación en el molde de aproximadamente 5cm^3 de material, por consecuente es recomendable a la hora de procesar colocar 30cm^3 en la carrera de husillo.

VI. Plastics; Determination of tensile properties.

DEUTSCHE NORM		April 1996
	Plastics General principles for the determination of tensile properties (ISO 527-1:1993 + Corr 1:1994) English version of DIN EN ISO 527-1	DIN EN ISO 527-1
This standard incorporates the English version of ISO 527-1 .		
ICS 83.080.00; 83.120		Supersedes parts of DIN 53 455, August 1981 edition and DIN 53 457, October 1987 edition.
Descriptors: Plastics, testing, tensile strength.		
Kunststoffe; Bestimmung der Zugeigenschaften. Teil 1: Allgemeine Grundsätze (ISO 527-1:1993 + Corr 1:1994)		
European Standard EN ISO 527-1:1996 has the status of a DIN Standard.		
<i>A comma is used as the decimal marker.</i>		
National foreword		
This standard has been published in accordance with a decision taken by CEN/TC 249 to adopt, without alteration, International Standard ISO 527-1 as a European Standard. The responsible German body involved in its preparation was the Normenausschuß Kunststoffe (Plastics Standards Committee). DIN 50014 is the standard corresponding to International Standard ISO 291 referred to in clause 2 of the EN.		
Amendments		
Parts of DIN 53 455, August 1981 edition and DIN 53 457, October 1987 edition, have been superseded by the specifications of EN ISO 527-1, which is identical to ISO 527-1. It should be noted that the specifications regarding the determination of the modulus of elasticity in tension given in the October 1987 edition of DIN 53 457 have been included in this standard.		
Previous editions		
DIN 53 371: 1955-10, 1959-09; DIN 53 455: 1952-10, 1968-04, 1981-08; DIN 53 457: 1968-05, 1987-06, 1987-10.		
Standard referred to (and not included in Normative references)		
DIN 50014 Artificial climates in technical applications; standard atmospheres		
EN comprises 10 pages.		

© No part of this standard may be reproduced without the prior permission of DIN Deutscher Institut für Normung e.V., Berlin.

**EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE
EUROPÄISCHE NORM**

EN ISO 527-1

February 1996

ICS 83.080.00; 83.120

Descriptors: Plastics, testing, tensile strength.

English version

Plastics

**Determination of tensile properties
Part 1: General principles
(ISO 527-1:1993 + Corr 1:1994)**

Plastiques; détermination des propriétés en traction. Partie 1: Principes généraux (ISO 527-1:1993 + Rectificatif technique 1:1994)

Kunststoffe; Bestimmung der Zugeigenschaften. Teil 1: Allgemeine Grundsätze (ISO 527-1:1993 + Corr 1:1994)

This European Standard was approved by CEN on 1994-12-14 and is identical to the ISO Standard as referred to.

CEN members are bound to comply with the CEN/CENELEC Internal Regulations which stipulate the conditions for giving this European Standard the status of a national standard without any alteration.

Up-to-date lists and bibliographical references concerning such national standards may be obtained on application to the Central Secretariat or to any CEN member.

This European Standard exists in three official versions (English, French, German). A version in any other language made by translation under the responsibility of a CEN member into its own language and notified to the Central Secretariat has the same status as the official versions.

CEN members are the national standards bodies of Austria, Belgium, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Iceland, Ireland, Italy, Luxembourg, Netherlands, Norway, Portugal, Spain, Sweden, Switzerland and United Kingdom.

CEN

European Committee for Standardization
Comité Européen de Normalisation
Europäisches Komitee für Normung

Central Secretariat: rue de Stassart 36, B-1050 Brussels

© 1996. All rights of reproduction and communication in any form and by any means reserved in all countries to CEN and its members.

Ref. No. EN ISO 527-1:1996 E

Foreword

International Standard

ISO 527-1:1993 Plastics; determination of tensile properties,

which was prepared by ISO/TC 61 'Plastics' of the International Organization for Standardization, has been adopted by Technical Committee CEN/TC 249 'Plastics' as a European Standard.

This European Standard shall be given the status of a national standard, either by publication of an identical text or by endorsement, and conflicting national standards withdrawn, by August 1996 at the latest.

In accordance with the CEN/CENELEC Internal Regulations, the following countries are bound to implement this European Standard:

Austria, Belgium, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Iceland, Ireland, Italy, Luxembourg, Netherlands, Norway, Portugal, Spain, Sweden, Switzerland and United Kingdom.

Endorsement notice

The text of the International Standard ISO 527-1:1993 + Corr 1:1994 was approved by CEN as a European Standard, taking into account the following Corrigendum:

Throughout the text, delete the expression 'Young's modulus' or replace it by 'tensile modulus of elasticity', depending on the context. This concerns definition 4.6, subclause 10.3 (twice), figure 1 and annex A (title plus second paragraph).

1 Scope

1.1 This part of ISO 527 specifies the general principles for determining the tensile properties of plastics and plastic composites under defined conditions.

Several different types of test specimen are defined to suit different types of material which are detailed in subsequent parts of ISO 527.

1.2 The methods are used to investigate the tensile behaviour of the test specimens and for determining the tensile strength, tensile modulus and other aspects of the tensile stress/strain relationship under the conditions defined.

1.3 The methods are selectively suitable for use with the following range of materials:

- rigid and semirigid thermoplastics moulding and extrusion materials, including filled and reinforced compounds in addition to unfilled types; rigid and semirigid thermoplastics sheets and films;
- rigid and semirigid thermosetting moulding materials, including filled and reinforced compounds; rigid and semirigid thermosetting sheets, including laminates;
- fibre-reinforced thermoset and thermoplastics composites incorporating unidirectional or non-unidirectional reinforcements such as mat, woven fabrics, woven rovings, chopped strands, combination and hybrid reinforcements, rovings and milled fibres; sheets made from pre-impregnated materials (prepregs);
- thermotropic liquid crystal polymers.

The methods are not normally suitable for use with rigid cellular materials or sandwich structures containing cellular material.

1.4 The methods are applied using specimens which may be either moulded to the chosen dimensions or machined, cut or punched from finished and semifinished products such as mouldings, laminates, films and extruded or cast sheet. In some cases a multipurpose test specimen (see ISO 3167:1993, *Plastics — Preparation and use of multipurpose test specimens*), may be used.

1.5 The methods specify preferred dimensions for the test specimens. Tests which are carried out on specimens of different dimensions, or on specimens which are prepared under different conditions, may produce results which are not comparable. Other factors, such as the speed of testing and the conditioning of the specimens, can also influence the results. Consequently, when comparative data are required, these factors must be carefully controlled and recorded.

2 Normative references

The following standards contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of ISO 527. At the time of publication, the editions indicated were valid. All standards are subject to revision, and parties to agreements based on this part of ISO 527 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the standards indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

ISO 291:1977, *Plastics — Standard atmospheres for conditioning and testing*.

ISO 2602:1980, *Statistical interpretation of test re-*

sults — Estimation of the mean — Confidence interval.

ISO 5893:1985, *Rubber and plastics test equipment — Tensile, flexural and compression types (constant rate of traverse) — Description.*

3 Principle

The test specimen is extended along its major longitudinal axis at constant speed until the specimen fractures or until the stress (load) or the strain (elongation) reaches some predetermined value. During this procedure the load sustained by the specimen and the elongation are measured.

4 Definitions

For the purposes of this part of ISO 527, the following definitions apply.

4.1 gauge length, L_0 : Initial distance between the gauge marks on the central part of the test specimen; see figures of the test specimens in the relevant part of ISO 527.

It is expressed in millimetres (mm).

4.2 speed of testing, v : Rate of separation of the grips of the testing machine during the test.

It is expressed in millimetres per minute (mm/min).

4.3 tensile stress, σ (engineering): Tensile force per unit area of the original cross-section within the gauge length, carried by the test specimen at any given moment.

It is expressed in megapascals (MPa) [see 10.1, equation (3)].

4.3.1 tensile stress at yield; yield stress, σ_y : First stress at which an increase in strain occurs without an increase in stress.

It is expressed in megapascals (MPa).

It may be less than the maximum attainable stress (see figure 1, curves b and c).

4.3.2 tensile stress at break, σ_B : The tensile stress at which the test specimen ruptures (see figure 1).

It is expressed in megapascals (MPa).

4.3.3 tensile strength, σ_M : Maximum tensile stress sustained by the test specimen during a tensile test (see figure 1).

It is expressed in megapascals (MPa).

4.3.4 tensile stress at x % strain (see 4.4), σ_x : Stress at which the strain reaches the specified value x expressed in percentage.

It is expressed in megapascals (MPa).

It may be measured for example if the stress/strain curve does not exhibit a yield point (see figure 1, curve d). In this case, x shall be taken from the relevant product standard or agreed upon by the interested parties. However, x must be lower than the strain corresponding to the tensile strength, in any case.

4.4 tensile strain, ϵ : Increase in length per unit original length of the gauge.

It is expressed as a dimensionless ratio, or in percentage (%) [see 10.2, equations (4) and (5)].

It is used for strains up to yield point (see 4.3.1); for strains beyond yield point see 4.5.

4.4.1 tensile strain at yield, ϵ_y : Tensile strain at the yield stress (see 4.3.1 and figure 1, curves b and c).

It is expressed as a dimensionless ratio, or in percentage (%).

4.4.2 tensile strain at break, ϵ_B : Tensile strain at the tensile stress at break (see 4.3.2), if it breaks without yielding (see figure 1, curves a and d).

It is expressed as a dimensionless ratio, or in percentage (%).

For breaking after yielding, see 4.5.1.

4.4.3 tensile strain at tensile strength, ϵ_M : Tensile strain at the point corresponding to tensile strength (see 4.3.3), if this occurs without or at yielding (see figure 1, curves a and d).

It is expressed as a dimensionless ratio or in percentage (%).

For strength values higher than the yield stress, see 4.5.2.

4.5 nominal tensile strain, ϵ_t : Increase in length per unit original length of the distance between grips (grip separation).

It is expressed as a dimensionless ratio, or in percentage (%) [see 10.2, equations (6) and (7)].

It is used for strains beyond yield point (see 4.3.1). For strains up to yield point, see 4.4. It represents the total relative elongation which takes place along the free length of the test specimen.

4.5.1 nominal tensile strain at break, ϵ_{tB} : Nominal tensile strain at the tensile stress at break (see 4.3.2), if the specimen breaks after yielding (see figure 1, curves b and c).

It is expressed as a dimensionless ratio, or in percentage (%).

For breaking without yielding, see 4.4.2.

4.5.2 nominal tensile strain at tensile strength, ϵ_{TM} : Nominal tensile strain at tensile strength (see 4.3.3), if this occurs after yielding (see figure 1, curve b).

It is expressed as a dimensionless ratio, or in percentage (%).

For strength values without or at yielding, see 4.4.3.

4.6 modulus of elasticity in tension; Young's modulus, E_T : Ratio of the stress difference σ_2 minus σ_1 to the corresponding strain difference values $\epsilon_2 = 0,002\ 5$ minus $\epsilon_1 = 0,000\ 5$ (see figure 1, curve d and 10.3, equation (8)).

It is expressed in megapascals, (MPa).

This definition does not apply to films and rubber.

NOTE 1 With computer-aided equipment, the determination of the modulus E_T using two distinct stress/strain points can be replaced by a linear regression procedure applied on the part of the curve between these mentioned points.

4.7 Poisson's ratio, μ : Negative ratio of the tensile strain ϵ_x , in one of the two axes normal to the direction of pull, to the corresponding strain ϵ in the direction of pull, within the initial linear portion of the longitudinal versus normal strain curve.

It is expressed as a dimensionless ratio.

Poisson's ratio is indicated as μ_b (width direction) or μ_h (thickness direction) according to the relevant axis. Poisson's ratio is preferentially used for long-fibre-reinforced materials.

5 Apparatus

5.1 Testing machine

5.1.1 General

The machine shall comply with ISO 5893, and meet the specifications given in 5.1.2 to 5.1.5, as follows.

5.1.2 Speeds of testing

The tensile-testing machine shall be capable of maintaining the speeds of testing (see 4.2) as specified in table 1.

Table 1 — Recommended testing speeds

Speed mm/min	Tolerance %
1	± 20 ¹⁾
2	± 20 ¹⁾
5	± 20
10	± 20
20	± 10
50	± 10
100	± 10
200	± 10
500	± 10

1) These tolerances are smaller than those indicated in ISO 5893.

5.1.3 Grips

Grips for holding the test specimen shall be attached to the machine so that the major axis of the test specimen coincides with the direction of pull through the centreline of the grip assembly. This can be achieved, for example, by using centring pins in the grips. The test specimen shall be held such that slip relative to the grips is prevented as far as possible and this shall preferably be effected with the type of grip that maintains or increases pressure on the test specimen as the force applied to the test specimen increases. The clamping system shall not cause premature fracture at the grips.

5.1.4 Load indicator

The load indicator shall incorporate a mechanism capable of showing the total tensile load carried by the test specimen when held by the grips. The mechanism shall be essentially free from inertia lag at the specified rate of testing, and shall indicate the load with an accuracy of at least 1 % of the actual value. Attention is drawn to ISO 5893.

5.1.5 Extensometer

The extensometer shall comply with ISO 5893. It shall be capable of determining the relative change in the gauge length on the test specimen at any time during the test. It is desirable, but not essential, that this instrument should automatically record this change. The instrument shall be essentially free from inertia lag at the specified speed of testing, and shall be capable of measuring the change of gauge length with an accuracy of 1 % of the relevant value or better. This corresponds to $\pm 1\ \mu\text{m}$ for the measurement of the modulus, based on a gauge length of 50 mm.

When an extensometer is attached to the test specimen, care shall be taken to ensure that any distortion of or damage to the test specimen is minimal. It is essential that there is no slippage between the extensometer and the test specimen.

The specimens may also be instrumented with longitudinal strain gauges, the accuracy of which shall be 1 % of the relevant value or better. This corresponds to a strain accuracy of 20×10^{-6} (20 microstrain) for the measurement of the modulus. The gauges, surface preparation and bonding agents should be chosen to exhibit adequate performance on the subject material.

5.2 Devices for measuring width and thickness of the test specimens

5.2.1 Rigid materials

A micrometer or its equivalent, capable of reading to 0,02 mm or less and provided with means for measuring the thickness and width of the test specimens, shall be used. The dimensions and shape of the anvils shall be suitable for the specimens being measured and shall not exert a force on the specimen such as to detectably alter the dimension being measured.

5.2.2 Flexible materials

A dial-gauge, capable of reading to 0,02 mm or less and provided with a flat circular foot which applies a pressure of $20 \text{ kPa} \pm 3 \text{ kPa}$, shall be used for measuring the thickness.

6 Test specimens

6.1 Shape and dimensions

See that part of ISO 527 relevant to the material being tested.

6.2 Preparation of specimens

See that part of ISO 527 relevant to the material being tested.

6.3 Gauge marks

If optical extensometers are used, especially for thin sheet and film, gauge marks on the specimen are necessary to define the gauge length. These shall be approximately equidistant from the midpoint, and the distance between the marks shall be measured to an accuracy of 1 % or better.

Gauge marks shall not be scratched, punched or impressed upon the test specimen in any way that may damage the material being tested. It must be ensured that the marking medium has no detrimental effect

on the material being tested and that, in the case of parallel lines, they are as narrow as possible.

6.4 Checking the test specimens

The specimens shall be free of twist and shall have mutually perpendicular pairs of parallel surfaces. The surfaces and edges must be free from scratches, pits, sink marks and flash. The specimens shall be checked for conformity with these requirements by visual observation against straightedges, squares and flat plates, and with micrometer calipers. Specimens showing observed or measured departure from one or more of these requirements shall be rejected or machined to proper size and shape before testing.

6.5 Anisotropy

See that part ISO 527 relevant to the material being tested.

7 Number of test specimens

7.1 A minimum of five test specimens shall be tested for each of the required directions of testing and for the properties considered (modulus of elasticity, tensile strength etc.). The number of measurements may be more than five if greater precision of the mean value is required. It is possible to evaluate this by means of the confidence interval (95 % probability, see ISO 2602).

7.2 Dumb-bell specimens that break within the shoulders or the yielding of which spreads to the width of the shoulders shall be discarded and further specimens shall be tested.

7.3 Data from parallel-sided specimens where jaw slippage occurs, or where failure occurs within 10 mm of either jaw, or where an obvious fault has resulted in premature failure, shall not be included in the analysis. Repeat tests shall be carried out on new test specimens.

Data, however variable, shall not be excluded from the analysis for any other reason, as the variability in such data is a function of the variable nature of the material being tested.

NOTE 2 When the majority of failures falls outside the criteria for an acceptable failure, the data may be analysed statistically, but it should be recognized that the final result is likely to be conservative. In such instances, it is preferable for the tests to be repeated with the dumb-bell specimens to reduce the possibility of unacceptable results.

8 Conditioning

The test specimen shall be conditioned as specified in the appropriate standard for the material concerned. In the absence of this information, the most appro-

appropriate condition from ISO 291 shall be selected, unless otherwise agreed upon by the interested parties.

9 Procedure

9.1 Test atmosphere

Conduct the test in the same atmosphere used for conditioning the test specimen, unless otherwise agreed upon by the interested parties, e.g. for testing at elevated or low temperatures.

9.2 Dimensions of test specimen

Measure the width b to the nearest 0,1 mm and the thickness k to the nearest 0,02 mm at the centre of each specimen and within 5 mm of each end of the gauge length.

Record the minimum and maximum values for width and thickness of each specimen and make sure that they are within the tolerances indicated in the standard applicable for the given material.

Calculate the arithmetic means for the width and thickness of each specimen, which shall be used for calculation purposes.

NOTES

3 In the case of injection-moulded specimens, it is not necessary to measure the dimensions of each specimen. It is sufficient to measure one specimen from each lot to make sure that the dimensions correspond to the specimen type selected (see the relevant part of ISO 527). With multiple-cavity moulds, ensure that the dimensions of the specimens are the same for each cavity.

4 For test specimens stamped from sheet or film material, it is permissible to assume that the mean width of the central parallel portion of the die is equivalent to the corresponding width of the specimen. The adoption of such a procedure should be based on comparative measurements taken at periodic intervals.

9.3 Clamping

Place the test specimen in the grips, taking care to align the longitudinal axis of the test specimen with the axis of the testing machine. To obtain correct alignment when centring pins are used in the grips, it is necessary to tension the specimen only slightly before tightening the grips (see 9.4). Tighten the grips evenly and firmly to avoid slippage of the test specimen.

9.4 Prestresses

The specimen shall not be stressed substantially prior to test. Such stresses can be generated during centring of a film specimen, or can be caused by the clamping pressure, especially with less rigid materials.

The residual stress σ_0 at the start of a test shall not exceed the following value, for modulus measurement:

$$|\sigma_0| \leq 5 \times 10^{-4} E_t \quad \dots (1)$$

which corresponds to a prestrain of $\epsilon_0 \leq 0,05\%$, and for measuring relevant stresses σ , e.g. $\sigma = \sigma_y, \sigma_M$ or σ_B :

$$\sigma_0 \leq 10^{-2} \sigma \quad \dots (2)$$

9.5 Setting of extensometers

After balancing the prestresses, set and adjust a calibrated extensometer to the gauge length of the test specimen, or provide longitudinal strain gauges, in accordance with 5.1.5. Measure the initial distance (gauge length) if necessary. For the measurement of Poisson's ratio, two elongation- or strain-measuring devices shall be provided to act in the longitudinal and normal axes simultaneously.

For optical measurements of elongation, place gauge marks on the specimen in accordance with 6.3.

The elongation of the free length of the test specimen, measured from the movement of the grips, is used for the values of the nominal tensile strain ϵ_t (see 4.5).

9.6 Testing speed

Set the speed of testing in accordance with the appropriate standard for the material concerned. In the absence of this information, the speed of testing should be agreed between the interested parties in accordance with table 1.

It may be necessary or desirable to adopt different speeds for the determination of the elastic modulus, of the stress/strain properties up to the yield point, and for the measurement of tensile strength and maximum elongation. For each testing speed, separate specimens shall be used.

For the measurement of the modulus of elasticity, the selected speed of testing shall provide a strain rate as near as possible to 1 % of the gauge length per minute. The resulting testing speed for different types of specimens is given in that part of ISO 527 relevant to the material being tested.

9.7 Recording of data

Record the force and the corresponding values of the increase of the gauge length and of the distance between grips during the test. It is preferable to use an automatic recording system which yields complete stress/strain curves for this operation [see clause 10, equations (3), (4) and (5)].

Determine all relevant stresses and strains defined in clause 4 from the stress/strain curve (see figure 1), or using other suitable means.

For failures outside the criteria for an acceptable failure, see 7.2 and 7.3.

10 Calculation and expression of results

10.1 Stress calculations

Calculate all stress values defined in 4.3 on the basis of the initial cross-sectional area of the test specimen:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \dots (3)$$

where

- σ is the tensile stress value in question, expressed in megapascals;
- F is the measured force concerned, in newtons;
- A is the initial cross-sectional area of the specimen, expressed in square millimetres.

10.2 Strain calculations

Calculate all strain values defined in 4.4 on the basis of the gauge length:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L_0}{L_0} \quad \dots (4)$$

$$\varepsilon (\%) = 100 \times \frac{\Delta L_0}{L_0} \quad \dots (5)$$

where

- ε is the strain value in question, expressed as a dimensionless ratio, or in percentage;
- L_0 is the gauge length of the test specimen, expressed in millimetres;
- ΔL_0 is the increase in the specimen length between the gauge marks, expressed in millimetres.

The values of the nominal tensile strain, defined in 4.5, shall be calculated on the basis of the initial distance between the grips:

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta L}{L} \quad \dots (6)$$

$$\varepsilon_1 (\%) = 100 \times \frac{\Delta L}{L} \quad \dots (7)$$

where

- ε_1 nominal tensile strain, expressed as a dimensionless ratio or percentage, %;
- L initial distance between grips, expressed in millimetres;
- ΔL increase of the distance between grips, expressed in millimetres.

10.3 Modulus calculation

Calculate the modulus of elasticity (Young's modulus), defined in 4.6 on the basis of two specified strain values:

$$E_t = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \quad \dots (8)$$

where

- E_t is Young's modulus of elasticity, expressed in megapascals;
- σ_1 is the stress, in megapascals, measured at the strain value $\varepsilon_1 = 0,000\ 5$;
- σ_2 is the stress, in megapascals, measured at the strain value $\varepsilon_2 = 0,002\ 5$;

For computer-aided equipment, see 4.6, note 1.

10.4 Poisson's ratio

If required, calculate Poisson's ratio defined in 4.7 on the basis of two corresponding strain values perpendicular to each other:

$$\mu_n = -\frac{\varepsilon_n}{\varepsilon} \quad \dots (9)$$

where

- μ_n is Poisson's ratio, expressed as a dimensionless ratio with $n = b$ (width) or h (thickness) indicating the normal direction chosen;
- ε is the strain in the longitudinal direction;
- ε_n is the strain in the normal direction, with $n = b$ (width) or h (thickness).

10.5 Statistical parameters

Calculate the arithmetic means of the test results and, if required, the standard deviations and the 95 % confidence intervals of the mean values according to the procedure given in ISO 2802.

10.6 Significant figures

Calculate the stresses and the modulus to three significant figures. Calculate the strains and Poisson's ratio to two significant figures.

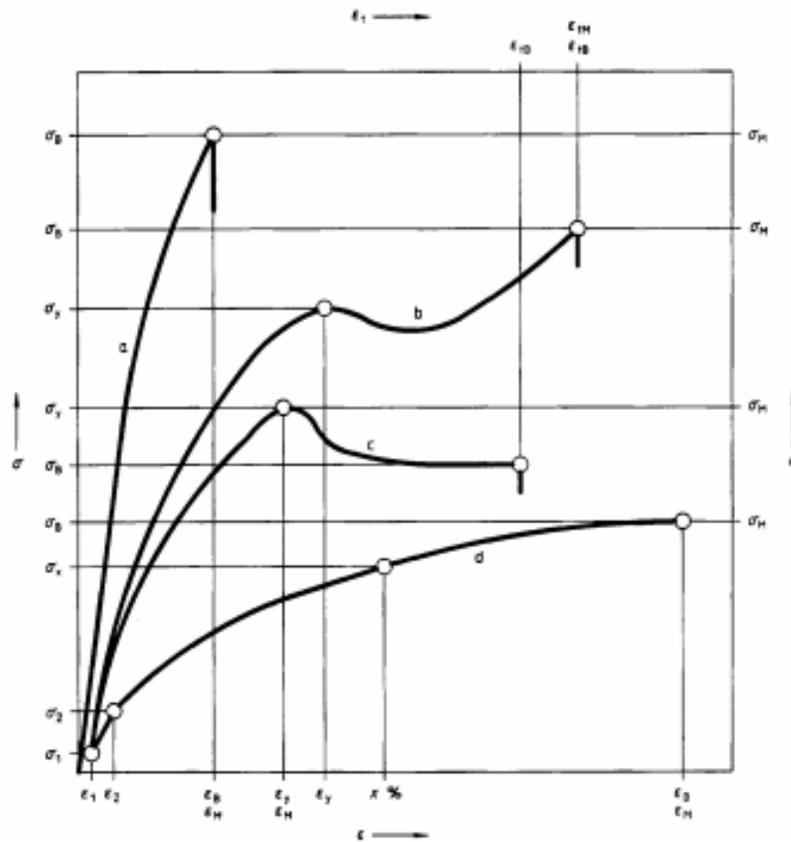
11 Precision

See that part of ISO 527 relevant to the material being tested.

12 Test report

The test report shall include the following information:

- a) a reference to the relevant part of ISO 527;
- b) all the data necessary for identification of the material tested, including type, source, manufacturer's code number and history, where these are known;
- c) description of the nature and form of the material in terms of whether it is a product, semifinished product, test panel or specimen. It should include the principal dimensions, shape, method of manufacture, succession of layers and any pretreatment;
- d) type of test specimen, the width and thickness of the parallel section, including mean, minimum and maximum values;
- e) method of preparing the test specimens, and any details of the manufacturing method used;
- f) if the material is in product or semifinished product form, the orientation of the specimen in relation to the product or semifinished product from which it is cut;
- g) number of test specimens tested;
- h) standard atmosphere for conditioning and testing, plus any special conditioning treatment, if required by the relevant standard for the material or product concerned;
- i) accuracy grading of the test machine (see ISO 5893);
- j) type of elongation or strain indicator;
- k) type of clamping device and clamping pressure, if known;
- l) testing speeds;
- m) individual test results;
- n) mean value(s) of the measured property(ies), quoted as the indicative value(s) for the material tested;
- o) standard deviation, and/or coefficient of variation, and/or confidence limits of the mean, if required;
- p) statement as to whether any test specimens have been rejected and replaced, and, if so, the reasons;
- q) date of measurement.



- Curve a Brittle materials
- Curves b and c Tough materials with yield point
- Curve d Tough materials without yield point

The points for the calculation of Young's modulus E_t according to 10.3 are indicated by (σ_1, ϵ_1) and (σ_2, ϵ_2) , shown only for curve d ($\epsilon_1 = 0,000\ 5$; $\epsilon_2 = 0,002\ 5$).

Figure 1 — Typical stress/strain curves

Annex A (informative)

Young's modulus and related values

Due to their viscoelastic behaviour many properties of polymer materials depend not only on temperature but also on time. With regard to the tensile test, this causes nonlinear stress/strain curves (bending towards the strain axis) even within the range of linear viscoelasticity. This effect is pronounced in the case of tough polymers. Consequently, the values of the tangent modulus of tough materials taken from the initial part of the stress/strain curves often depend strongly on the scales used. Thus the conventional method (tangent at the initial point of the stress/strain curve) does not give reliable moduli for these materials.

The method for the measurement of Young's modulus prescribed in this part of ISO 527 is based, therefore, on two specified strain values, i.e. 0,25 % and 0,05 %. (The lower strain value has been set at not zero in order to avoid errors in the measured modulus

caused by possible onset effects at the beginning of the stress/strain curve.)

In the case of brittle polymers, both the new and the conventional methods give the same values for the modulus. The new method, however, allows accurate and reproducible measurement of the moduli of tough plastics. The definition of the initial tangent modulus, therefore, has been deleted in the present part of ISO 527.

The aspects mentioned above for the modulus similarly relate to the "offset yield point", which in ISO/R 527 was defined by the deviation of the stress/strain curve from its initial linearity. The offset yield point, therefore, is replaced by a point of specified strain (stress at x % strain, σ_x , see 4.3.4). Since the definition of such a "substitute" yield point is significant for tough materials only, the specified strain shall be chosen near the yield strain commonly found.

VII. Capacidad de enfriamiento.

Para determinar la capacidad de enfriamiento requerido por un proceso de transformación de plásticos es necesario conocer el caudal de la maquina a utilizar, así como las temperaturas de entrada y salida del proceso y se aplica la siguiente formula:

$$TR=Q*(T2-T1)/24$$

Donde:

TR: toneladas de refrigeración

Q: Caudal de agua en el chiller

T1 y T2: temperaturas de entrada y salida del proceso dada en °F

En nuestro proceso tenemos un caudal de 3 GPM las temperaturas del molde son de T1= 12°C ó 53.6°F y T2= 17°C ó 62.6°F

Entonces:

$$TR=3*(62.6-53.6)/24$$

$$TR= 1.125$$

Entonces para nuestro proceso necesitamos un enfriamiento de 1.125 Toneladas de refrigeración.

REFERENCIAS.

Bornemann, F. (2015, Octubre 01). *Zwick Roell*. Retrieved from Zwick roell: <http://www.zwick.com.mx/es/aplicaciones/plasticos/termoplasticos-compuestos-de-moldeo/ensayo-de-traccion/geometria-y-dimensiones-de-probetas-segun-las-normas-iso.html>

Guillermo Cuamea-Cruz, R. A. (2013). Reducción de tiempo de cambio de molde en máquina inyectora de plástico de 3500 toneladas. In G. Cuamea-Cruz, *Avances de Investigación en Ingeniería en el Estado de Sonora* (pp. 59-64). Hermosillo, Sonora, México.

interempresas.net. (2006, 09 01). Retrieved from interempresas.net: <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/4417-Sistemas-de-cambio-rapido-de-moldes-de-inyeccion.html>

ISO, 3.-2. (2014, 07 30). ISO 3167:2014. *ISO 3167:2014 Plastics -- Multipurpose test specimens*. Retrieved 10 10, 2015, from <https://www.iso.org/obp/ui/es/#iso:std:iso:3167:ed-5:v1:en>

López, B. S. (2012). *Ingeniería Industrial online*. Retrieved Septiembre 8, 2015, from Ingeniería Industrial online: <http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/investigaci%C3%B3n-de-operaciones/m%C3%A9todo-simplex/>

PLENCO, P. E. (2009, FEBRERO 17). *PLENCO*. Retrieved from PLENCO: [https://www.plenco.com/plenco_processing_guide_spanish/Sect%206%20Injection%20Mold%20Design%20Tips%20\(Spanish\).pdf](https://www.plenco.com/plenco_processing_guide_spanish/Sect%206%20Injection%20Mold%20Design%20Tips%20(Spanish).pdf)

Zwick / Roell. (2015, Noviembre 10). Retrieved from Zwick / Roell : <http://www.zwick.com.mx/es/aplicaciones/plasticos/termoplasticos-compuestos-de-moldeo/ensayo-de-traccion/geometria-y-dimensiones-de-probetas-segun-las-normas-iso.html>