

CAPÍTULO 6

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

6.1 SISTEMA MECÁNICO

Una vez que se ha completado el montaje total de la máquina, está lista para trabajar y comprobar sus diferentes sistemas, en el caso del sistema mecánico, es decir el sistema motriz que incluyen las catalinas, cadena, eje motriz, rodamientos, además la estructura soporte, las primeras pruebas deben realizarse con cuidado; para el caso de la extrusora, por recomendaciones y experiencia las pruebas se realizaron de la siguiente manera en orden secuencial:

Tabla 6.1 Método de prueba de funcionamiento del sistema mecánico

Acción	Partes mecánicas involucradas	Verificación	Observaciones
Precalentar el tornillo a través de las bandas calefactoras treinta minutos a 260 °C.	Tornillo extrusor	El tornillo soporta altas temperaturas, incluso más de 260 °C	El material ingresa en forma de escamas, en el caso del PET, se trabaja a una temperatura de 260 °C
	Camisa	El material de la camisa soporta altas temperaturas	
Arrancar a baja velocidad y sin carga	Tornillo extrusor	Entre el tornillo y la camisa no se escucha ningún ruido irregular	El variador de frecuencia controla la velocidad a la que trabaja el moto-reductor, baja velocidad es un rango considerado entre 15 y 20 rpm
	Moto-reductor	El moto-reductor trabaja normalmente	
	Camisa	Entre el tornillo y la camisa no se escucha ningún ruido irregular	

Tabla 6.1 Método de prueba de funcionamiento del sistema mecánico (continuación)

Acción	Partes mecánicas involucradas	Verificación	Observaciones
<p>Arrancar a baja velocidad y sin carga</p>	<p>Estructura soporte</p>	<p>La estructura soporte no presenta ninguna alteración, la placa soldada a la estructura y empernada al moto-reductor, trabaja en óptimas condiciones.</p>	<p>El variador de frecuencias controla la velocidad a la que trabaja el moto-reductor, baja velocidad es un rango considerado entre 15 y 20 rpm</p>
	<p>Rodamientos</p>	<p>Los rodamientos tienen un comportamiento normal</p>	
	<p>Catalinas</p>	<p>Las catalinas transmiten el movimiento</p>	
	<p>Cadena</p>	<p>La cadena trabaja normalmente</p>	
	<p>Eje motriz</p>	<p>El eje motriz transmite el movimiento al tornillo en óptimas condiciones</p>	
<p>Mantener la velocidad e incluir carga</p>	<p>Tornillo extrusor</p>	<p>Entre el tornillo y la camisa no se escucha ningún ruido irregular, nos da la pauta para saber que el juego existente es regular, el tornillo no topa la camisa</p>	<p>La velocidad es baja, se introduce material en forma de escamas, puede ser material molido o pelletizado, en lo posible de grano pequeño para no estancar la máquina y para que no se produzcan roturas o fisuras en el tornillo</p>
	<p>Moto-reductor</p>	<p>El moto-reductor trabaja normalmente</p>	
	<p>Camisa</p>	<p>Entre el tornillo y la camisa no se escucha ningún ruido irregular, nos da la pauta para saber que el juego existente es regular, el tornillo no topa la camisa</p>	

Tabla 6.1 Método de prueba de funcionamiento del sistema mecánico (continuación)

Acción	Partes mecánicas involucradas	Verificación	Observaciones
<p>Mantener la velocidad e incluir carga</p>	<p>Estructura soporte</p>	<p>La estructura soporte no presenta ninguna alteración, la placa soldada a la estructura y empernada al moto-reductor, trabaja en óptimas condiciones pesar de que las vibraciones aumentan</p>	<p>La velocidad es baja, se introduce material en forma de escamas, puede ser material molido o pelletizado, en lo posible de grano pequeño para no estancar la máquina y para que no se produzcan roturas o fisuras en el tornillo</p>
	<p>Rodamientos</p>	<p>Los rodamientos tienen un comportamiento normal</p>	
	<p>Catalinas</p>	<p>Las catalinas transmiten el movimiento</p>	
	<p>Cadena</p>	<p>La cadena trabaja normalmente</p>	
	<p>Eje motriz</p>	<p>El eje motriz transmite el movimiento al tornillo en óptimas condiciones</p>	
<p>Aumentar la velocidad con carga</p>	<p>Tornillo extrusor</p>	<p>Entre el tornillo y la camisa no se escucha ningún ruido irregular, el tornillo no topa la camisa a pesar de aumentar la velocidad</p>	<p>La velocidad se aumenta en un rango de 20 a 50 rpm, que es la salida del moto-reductor, sin embargo gracias al variador de frecuencias se pueden llegar a obtener velocidades muy altas</p>
	<p>Moto-reductor</p>	<p>El moto-reductor trabaja normalmente, así se aumente la velocidad</p>	

Tabla 6.1 Método de prueba de funcionamiento del sistema mecánico (continuación)

Acción	Partes mecánicas involucradas	Verificación	Observaciones
Aumentar la velocidad con carga	Camisa	Entre el tornillo y la camisa no se escucha ningún ruido irregular, nos da la pauta para saber que el juego existente es regular, el tornillo no topa la camisa	La velocidad se aumenta en un rango de 20 a 50 rpm, que es la salida del moto-reductor, sin embargo gracias al variador de frecuencias se pueden llegar a obtener velocidades muy altas
	Estructura soporte	La estructura soporte no presenta ninguna alteración, la placa soldada a la estructura y empernada al moto-reductor, trabaja en óptimas condiciones pesar de que las vibraciones aumentan y la velocidad también	
	Rodamientos	Los rodamientos tienen un comportamiento normal	
	Catalinas	Las catalinas transmiten el movimiento, se escucha un pequeño ruido producto de las vibraciones	
	Cadena	La cadena trabaja normalmente	
	Eje motriz	El eje motriz transmite el movimiento al tornillo en óptimas condiciones, a pesar del incremento de velocidad	

Tabla 6.1 Método de prueba de funcionamiento del sistema mecánico (continuación)

Acción	Partes mecánicas involucradas	Verificación	Observaciones
Apagar el motor y el sistema de calefacción cuando el material dentro de la camisa haya sido extruido en su totalidad	Tornillo extrusor	El tornillo extrusor se detiene normalmente al apagar el motor	La velocidad se reduce en forma gradual hasta obtener la velocidad menor permitida de 15 rpm y se proceden a apagar tanto calefactores como el moto-reductor
	Moto-reductor	El moto-reductor se apaga normalmente	
	Camisa	La camisa está caliente, sin embargo, no ha sufrido alteraciones	
	Estructura soporte	La estructura no presenta ningún fallo	
	Rodamientos	Los rodamientos mantienen sus propiedades, sin ninguna alteración	
	Catalinas	Las catalinas no sufren alteraciones	
	Cadena	La cadena se detiene normalmente sin sufrir daño alguno	
	Eje motriz	El eje motriz se detiene, no sufre ninguna alteración y mantiene sus propiedades	

Al no haber anomalías se procede a comprobar el sistema eléctrico electrónico, para comenzar el funcionamiento normal.

6.2 SISTEMA ELÉCTRICO - ELECTRÓNICO

Para la comprobación del sistema eléctrico-electrónico, se realizaron las mismas acciones que en el sistema mecánico como a continuación se indica, esta vez las partes involucradas en las verificaciones de funcionamiento son las eléctrico-electrónicas.

Tabla 6.2 Método de prueba de funcionamiento del sistema eléctrico-electrónico

Acción	Partes eléctrico-electrónicas involucradas	Verificación	Observaciones
Precalear el tornillo a través de las bandas calefactoras treinta minutos a 260 °C.	Termocuplas	Las termocuplas sensan sin ninguna anomalía, se comprueba la temperatura con una termocupla externa	Es importante conectar la máquina a una red de 220 v trifásica, puesto que el motor trabaja con ese voltaje y es trifásico
	Bandas calefactoras	Las bandas calefactoras trabajan normalmente calientan más a medida que transcurre el tiempo	
	Controles digitales de temperatura	Los controles digitales trabajan sin ninguna anomalía, se visualiza claramente la temperatura que sensan las termocuplas	
	Contactores	Los contactores trabajan perfectamente, apagan los controles de temperatura cuando se excede de lo establecido o los prende cuando se bajan de lo señalado con el indicador manual	

Tabla 6.2 Método de prueba de funcionamiento del sist. eléctrico-electrónico (continuación)

Acción	Partes eléctrico-electrónicas involucradas	Verificación	Observaciones
Arrancar a baja velocidad y sin carga	Variador de frecuencias	El variador trabaja con normalidad se empieza desde cero subiendo la frecuencia y la velocidad de giro aumenta como se esperaba	El moto-reductor es eléctrico y trabaja a 220 v en una red trifásica
	Moto-reductor	El moto-reductor enciende normalmente	
	Termocuplas	Las termocuplas sensan sin ninguna anomalía, se comprueba la temperatura con una termocupla externa	
	Bandas calefactoras	Las bandas calefactoras aumentan la intensidad de calor sin ninguna novedad	
	Controles digitales de temperatura	Los controles digitales trabajan sin ninguna anomalía, se visualiza claramente la temperatura que sensan las termocuplas	
	Contactores	Los contactores mantienen la temperatura que es indicada mediante los controles de temperatura, encendiendo o apagando el paso de corriente según se necesite	
Mantener la velocidad e incluir carga	Variador de frecuencias	El variador mediante una perilla se establece la velocidad a la que trabajará y permanece constante mientras se requiera sin ningún imprevisto	El material se funde por acción de la temperatura alcanzada en el interior de la camisa por medio de las bandas calefactoras y en si del sistema eléctrico-electrónico

Tabla 6.2 Método de prueba de funcionamiento del sist. eléctrico-electrónico (continuación)

Acción	Partes eléctrico-electrónicas involucradas	Verificación	Observaciones
Mantener la velocidad e incluir carga	Moto-reductor	El moto-reductor continúa trabajando normalmente	El material se funde por acción de la temperatura alcanzada en el interior de la camisa por medio de las bandas calefactoras y en si del sistema eléctrico-electrónico
	Termocuplas	Las termocuplas sensan sin ninguna anomalía, se comprueba la temperatura con una termocupla externa	
	Bandas calefactoras	Las bandas calefactoras funcionan normalmente a la temperatura esperada y funden el material	
	Controles digitales de temperatura	Se baja o sube la temperatura según requerimientos visuales en el material, y los controles funcionan con total normalidad	
	Contactores	Los contactores mantienen la temperatura que es indicada mediante los controles de temperatura, encendiendo o apagando el paso de corriente según se necesite	
Aumentar la velocidad con carga	Variador de frecuencias	Mediante la perilla se aumenta de frecuencia y por lo mismo de velocidad, trabaja perfectamente	El variador de frecuencias trabaja en Hertzios, hay que hacer una conversión para saber en que velocidad angular estamos trabajando, la conversión es por cada Hz que se aumenta la velocidad angular sube 1.5 rpm
	Moto-reductor	El moto-reductor trabaja normalmente, así se aumenta la velocidad	

Tabla 6.2 Método de prueba de funcionamiento del sist. eléctrico-electrónico (continuación)

Acción	Partes eléctrico-electrónicas involucradas	Verificación	Observaciones
Aumentar la velocidad con carga	Termocuplas	Las termocuplas sensan sin ninguna anomalía, se comprueba la temperatura con una termocupla externa	El variador de frecuencias trabaja en Hertzios, hay que hacer una conversión para saber en que velocidad angular estamos trabajando, la conversión es por cada Hz que se aumenta la velocidad angular sube 1.5 rpm
	Bandas calefactoras	Las bandas calefactoras funcionan normalmente a la temperatura esperada y funden el material	
	Controles digitales de temperatura	Se baja o sube la temperatura según requerimientos visuales en el material, y los controles funcionan con total normalidad	
	Contactores	Los contactores mantienen la temperatura que es indicada mediante los controles de temperatura, encendiendo o apagando el paso de corriente según se necesite	
Apagar el motor y el sistema de calefacción cuando el material dentro de la camisa haya sido extruido en su totalidad	Variador de frecuencias	Se baja la velocidad con la perilla hasta alcanzar frecuencia cero, no se suscita ningún problema se detiene con normalidad	La velocidad se reduce en forma gradual hasta obtener velocidad cero y se proceden a apagar tanto calefactores como el moto-reductor
	Moto-reductor	El moto-reductor se apaga normalmente	
	Termocuplas	Las termocuplas dejan de sensar y se apagan normalmente	
	Bandas calefactoras	Las bandas calefactoras dejan de proveer calor a la camisa, se apagan normalmente	

Tabla 6.2 Método de prueba de funcionamiento del sist. eléctrico-electrónico (continuación)

Acción	Partes eléctrico-electrónicas involucradas	Verificación	Observaciones
Apagar el motor y el sistema de calefacción cuando el material dentro de la camisa haya sido extruido en su totalidad	Controles digitales de temperatura	Los controles de temperatura se apagan sin ninguna irregularidad	La velocidad se reduce en forma gradual hasta obtener velocidad cero y se proceden a apagar tanto calefactores como el moto-reductor
	Contactores	Los contactores se apagan con normalidad	

6.3 VERIFICACIÓN DE PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO

Para evaluar el funcionamiento de la máquina, se procedió a verificar los parámetros importantes en el proceso de extrusión, es decir, la temperatura, el flujo de material en su recorrido a través de la extrusora y como influye la variación de velocidad angular.

6.3.1 TEMPERATURA ALCANZADA CON LOS CALEFACTORES

La máxima temperatura a la que se trabajó en la máquina fue de 280 °C, al extruir el material en estudio, PET. Los calefactores respondieron a medida que se incrementaba la temperatura mediante los controles digitales, obteniendo en un tiempo estimado de 25 minutos 280 °C, de igual forma la temperatura descendía si así eran los requerimientos en forma óptima, es decir tanto contactores, pirómetros y controles digitales han trabajado de la forma esperada. El elemento delgado de los calefactores flexibles, o abrazaderas, transfiere el calor eficientemente sobre la superficie de la camisa, además se ha comprobado que a pesar de las altas temperaturas no se degrada el material de las abrazaderas que es acero inoxidable, lo importante de éstas abrazaderas es su versatilidad, ya que, permite que abrace cualquier pieza, pues son adaptables en diámetro, longitud, formas, voltaje y potencia; éstos elementos resisten a la corrosión, vibración y condensación de humedad.



Fig. 6.1 Bandas de alta potencia y estándares



Fig. 6.2 Controles digitales de temperatura

6.3.2 FLUJO DE MATERIAL FUNDIDO EN EL EXTRUSOR

El flujo de material a la salida de la boquilla o del cabezal, se lo regula través de dos parámetros principalmente, de la velocidad angular del tornillo principal controlada mediante el variador de frecuencia y de las temperaturas existentes en las bandas calefactoras examinadas mediante los controles digitales de temperatura; mediante la experiencia en las pruebas realizadas con PET, se ha llegado a la conclusión que el material debe salir de la boquilla manteniendo una aceptable viscosidad, debe tener una consistencia moldeable, es decir no debe

ser un fluido líquido, tampoco se debe permitir un fluido de material por gotas. Mediante la experiencia, también se ha observado que el flujo de material es óptimo si a medida que sale de la boquilla adquiere un color transparente; el color adquirido además significa en qué condiciones se encuentra el material a la salida, es decir influye sobre las características finales del material extruido.

Se ha observado que la forma final del material extruido se consigue mediante la forma de la boquilla, en este caso redonda. El flujo de material incide sobre la forma final ya que al no ser un flujo controlado pueden obtenerse formas irregulares, no deseadas, ya sean muy finas, muy gruesas o con diferentes espesores; por esto es de suma importancia el control sobre el flujo de material, para obtener la forma deseada y un material con características óptimas.



Fig. 6.3 Salida del material extruido

6.3.3 VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD ANGULAR DEL TORNILLO PRINCIPAL

Se ha observado en las pruebas de funcionamiento que si el material se adhiere al husillo y resbala sobre la pared de la camisa, entonces el arrastre es cero, y el material gira con el husillo. Si, el material no resbala con la pared de la camisa y resbala con el husillo, entonces el arrastre es máximo y el transporte de material ocurre.

El polímero experimenta fricción tanto en la pared de la camisa como en el husillo, las fuerzas de fricción determinan el arrastre que sufrirá el polímero, la variación de la velocidad que regula el variador de frecuencia aumenta el caudal o lo disminuye, así mismo permite el mayor o menor tiempo de residencia del material dentro de la camisa.

La variación de la velocidad angular en el husillo determinada a través de la velocidad a la que gira el eje motriz trabaja con normalidad, la facilidad de obtener velocidades a nuestra conveniencia se ven reflejadas en la calidad de un material final, influye de gran forma en el material obtenido.



Fig. 6.4 Variador de frecuencia

6.4 CORRECCIÓN DE ERRORES Y CALIBRACIÓN

El principal problema dentro de las pruebas de funcionamiento de la máquina ha sido las presiones generadas por el fluido, que en el caso del PET, para obtener un material con buenas propiedades, se necesita un fluido viscoso como se había explicado antes, lo cual provoca presiones estimables dentro de la camisa, por efecto del arrastre las presiones aumentan, y al salir por la boquilla se produce una caída de presión. Para las primeras pruebas se usó un cabezal de extrusión

que contiene una placa con perforaciones, llamada placa rompedora, el cabezal se lo ha roscado al tubo soldado a la camisa; las pruebas con una capacidad de producción baja, y con un recorrido grande de material para que se llene el cabezal, como en el caso de las pruebas que se han realizado, generaron un cúmulo de material dentro del cabezal lo que provocó la plastificación antes de la salida. Al provocarse determinada plastificación se generó una obstrucción y una sobrepresión, por lo cual se generaron grandes presiones dentro del cabezal, provocando el rompimiento de parte del tubo soldado a la camisa, en el cual estaba alojado el cabezal; se realizó el diseño de una nueva boquilla con dimensiones acordes con la capacidad de producción y se procedió a realizar varias pruebas, con velocidades altas y bajas, la boquilla nueva permite el paso normal de fluido y trabaja normalmente. Es recomendable limpiar la boquilla una vez al mes, para controlar el cúmulo de material dentro de la boquilla, sin ser una obligación puesto que se la trabajó durante días seguidos y por varias horas, sin tener ya el problema suscitado con el cabezal.



Fig. 6.5 Cabezal de extrusión en funcionamiento



Fig. 6.6 Boquilla de extrusión en funcionamiento

Una vez finalizado el montaje total del prototipo y concluidas las pruebas de funcionamiento, se procedió a realizar varias pruebas de extrusión para determinar la calidad del material reciclado. Para esto se utilizó PET molido de diferente naturaleza: lavado, contaminado y lavado/secado. Adicionalmente se realizaron ensayos mecánicos en el material original de los envases PET para determinar sus propiedades.

Inicialmente se realizó la extrusión a una temperatura de 260 °C y 250 °C (temperaturas de entrada y salida, respectivamente) y una velocidad de giro del tornillo de 45 rpm, obteniendo un material reciclado frágil que se caracteriza por su coloración grisácea.



Fig. 6.7 Material reciclado frágil

Posteriormente se fijaron las temperaturas de extrusión en 240 °C y 230 °C, junto con una velocidad de giro del tornillo de 33 rpm, obteniendo un material reciclado (filamentos) de tipo transparente que presentó mejores propiedades de resistencia. Estas temperaturas se mantuvieron luego para las siguientes pruebas.

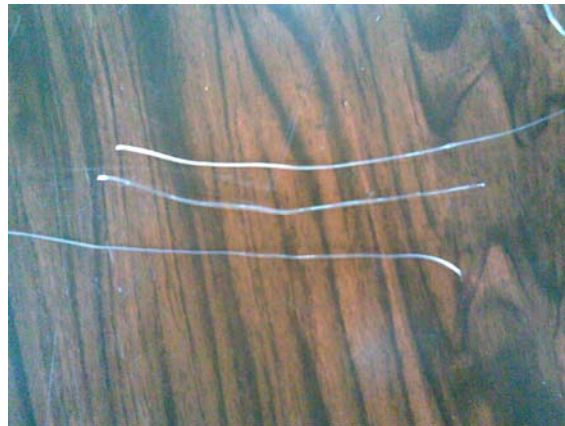


Fig. 6.8 Filamentos transparentes de PET reciclado

Estos filamentos de tipo transparente se obtuvieron a partir de PET molido lavado; seguidamente se realizó una prueba con PET molido contaminado (sin proceso de lavado, con presencia de etiquetas, tapas, etc.) y se obtuvo filamentos de coloración opaca con propiedades de resistencia bajas.



Fig. 6.9 Filamentos de coloración opaca de PET reciclado

Finalmente se realizó la extrusión del PET molido, lavado y secado, obteniendo los mejores resultados en cuanto a las propiedades mecánicas. Para esta prueba fue necesario elevar las temperaturas de extrusión a 280 °C y 280 °C (temperaturas de entrada y salida, respectivamente), y se mantuvo la velocidad de rotación del tornillo en 33 rpm. El proceso de secado de las escamas de PET fue realizado en un horno tipo mufla a una temperatura de 150 °C durante un tiempo aproximado de 4 horas.