

CAPÍTULO 5

CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

5.1 DIAGRAMA DE OPERACIONES

(VER ANEXO A)

5.2 MANUFACTURA DE TORNILLOS SIMPLES

Gracias a los intensos estudios del comportamiento del flujo de los polímeros, el husillo ha evolucionado ampliamente desde el auge de la industria plástica hasta el grado de convertirse en la parte que contiene la mayor tecnología dentro de una máquina extrusora.

Por esto, es la pieza que en el alto grado determina el éxito de una operación de extrusión, inyección, etc. En los diferentes diseños, varían en función de las propiedades de flujo de polímero fundido que se espera de la extrusora, inyectora, etc.

5.2.1 MATERIAL USADO EN LA MANUFACTURA DEL TORNILLO EXTRUSOR

Los tornillos de extrusión más largos proporcionan un calentamiento más uniforme del material obteniendo así mayores rendimientos ya que el tornillo calienta el material por fuerzas de fricción. Por esta razón se optó por escoger un tornillo extrusor largo con una relación L/D aproximadamente igual a 32:1.

El desgaste mecánico y la corrosión pueden hacer variar las dimensiones del tornillo, esto se agrava cuando se trabaja con plásticos compuestos, reforzados con fibra de vidrio el cual es un material bastante abrasivo. Las características para que los tornillos sean durables son:

- Buena resistencia de los filetes del tornillo.

- Buena resistencia frente a la abrasión causada por fibras y cargas minerales que puedan estar presentes.
- Buena resistencia química en contacto con los polímeros fundidos y gran dureza a la superficie incluso a elevadas temperaturas de trabajo.

Para asegurar estas características en el tornillo extrusor, se escogió como material el acero DF-2 (AISI 01), por ser un acero templable que presenta una buena maquinabilidad, estabilidad dimensional en el temple y una buena combinación de dureza y tenacidad tras temple y revenido.

Generalmente los tornillos manufacturados en acero templado, posteriormente son rectificadas y nitrurados, pero hay ocasiones en que esto no basta y es necesario sustituirlos por aleaciones especiales de alta resistencia.



Fig. 5.1 Tornillo extrusor manufacturado con aleaciones especiales de alta resistencia

5.2.2 ALABES O FILETES

Los alabes o filetes, que recorren el husillo de un extremo al otro, son los verdaderos impulsores del material a través del cañón o barril. Debido a que el tornillo extrusor debe transportar al material, el ángulo óptimo de los álabes para esta función se encuentra entre 17 – 20°. En la extrusora de PET, los álabes del tornillo poseen un ángulo aproximadamente igual a 19° y un espesor longitudinal de 4 mm.

5.2.3 ZONAS CARACTERÍSTICAS DEL TORNILLO

Para poder analizar un tornillo es necesario conocer las tres zonas por las cuales el material es obligado a pasar.

- **Zona de alimentación:** Se produce el transporte del material y se precalienta por el rozamiento entre granos.
- **Zona de compresión o plastificación:** La altura de los filetes del husillo se reduce progresivamente para compactar el material y expulsar el aire atrapado hacia la zona de alimentación.
- **Zona de dosificación o bombeo:** Contiene la boquilla, plato rompedor y otros accesorios para la obtención del perfil o la forma final del producto.

5.2.4 PROFUNDIDAD DEL FILETE EN LA ZONA DE ALIMENTACIÓN

Es la distancia entre el extremo del filete y la parte central o raíz del husillo. En esta parte, los filetes son muy pronunciados con el objeto de transportar una gran cantidad de material al interior del cañón, aceptado el material sin fundir y aire que está atrapado entre el material sólido; el polímero entra en forma granular, el material tiene la tendencia a girar pero se lo impide la fuerza de fricción. La profundidad máxima del filete en la zona de alimentación es igual a $0.2 \cdot D$ en tornillos que poseen un diámetro D igual o menor a 2.5". La tolerancia que existe entre el filete del tornillo y el cilindro δ varían de 0.1mm para D menores que 30mm y 0.15 para D mayores que 30mm.

El tornillo extrusor seleccionado posee una profundidad de filete en la zona de alimentación igual a 3.65 mm y un diámetro de 23.8 mm, por lo tanto dicha profundidad no excede el valor máximo recomendado ($0.2 \cdot D = 4.76mm$). La holgura radial entre el cilindro y el tornillo se mantiene en 0.1 mm debido a que el diámetro del tornillo es inferior a 30 mm.

5.2.5 PROFUNDIDAD DEL FILETE EN LA ZONA DE DESCARGA O DOSIFICACIÓN

En la mayoría de los casos, es mucho menor a la profundidad de filete en la alimentación. Esto tiene como consecuencia la reducción del volumen en que el material es transportado, ejerciendo una compresión sobre el material plástico. Esta compresión es útil para mejorar el mezclado del material y para la expulsión del aire que entra junto con la materia prima alimentada.

En la máquina extrusora de PET, la profundidad de filete en la zona de descarga para el tornillo extrusor tiene un valor aproximado a 1.7 mm.

5.2.6 RELACIÓN DE COMPRESIÓN

Como la profundidad de los alabes no es constante, existe una relación entre la profundidad del filete en la alimentación y la profundidad del filete en la descarga, la cual se denomina relación de compresión. El resultado de este cociente es siempre mayor a uno y puede llegar incluso hasta 4.5 en ciertos materiales.

Observando las dos profundidades características de los álabes del tornillo extrusor, se obtuvo una relación de compresión equivalente a 2.15.

5.2.7 LONGITUD

Tiene una importancia especial; influye en el desempeño productivo de la máquina y en el costo de ésta. Funcionalmente, al aumentar la longitud del husillo, también aumenta la capacidad de plastificación y la productividad de la máquina.

Otro aspecto que se mejora al incrementar la longitud es la calidad de mezclado y homogeneización del material. De esta forma, en una camisa pequeña la longitud es suficiente para fundir el material al llegar al final de la misma y el plástico se dosifica mal mezclado. En las mismas condiciones, una camisa mayor fundirá el material antes de llegar al final y en el espacio sobrante seguirá mezclando hasta entregarlo homogéneo.

La extrusora de PET posee un tornillo largo con una longitud superior a 760 mm.

5.2.8 RELACIÓN L/D

Es una relación entre la longitud y el diámetro L/D; debe ser menor que 30 si es para extrusores de fundidos, aproximadamente igual a 25 si es para soplado de películas y mayor que 30 para extrusión con venteo para altas producciones, por ejemplo un desarrollo reciente en extrusión de PET reciclado realizado por la empresa Unión (de Europa) es un tornillo con una relación de 38 y varias etapas de venteo, esto para alimentar el material sin ser cristalino y seco, ahorrando los procesos necesarios para secar el PET que requiere un contenido de humedad menor a 20ppm muy por debajo de otros materiales.

El tornillo extrusor escogido posee una relación L/D aproximadamente igual a 32:1.

5.2.9 DIÁMETRO

Es la dimensión que influye directamente en la capacidad de producción de la máquina. A diámetros mayores, la capacidad en Kg/h es presumiblemente superior. Al incrementar esta dimensión debe hacerlo también la longitud del husillo, ya que el aumento de la productividad debe ser apoyada por una mejor capacidad de plastificación. Como consecuencia de la importancia que tienen la longitud y el diámetro del equipo, y con base en la estrecha relación que guardan entre sí, se acostumbra especificar las dimensiones principales del husillo como una relación longitud / diámetro (L/D).

Los diámetros del tornillo varían de 19.5mm hasta 609.6mm dependiendo de la aplicación, en algunos casos se han llegado a construir tornillos con diámetros de 900mm, estas extrusoras trabajan con un gran variedad de productos y a grandes velocidades de extrusión.

Existen también extrusoras con varios tornillos, aunque las limitaciones mecánicas, el mayor costo inicial y el elevado costo de mantenimiento, ha impedido la amplia difusión de este tipo de extrusoras, sin embargo las extrusoras de dos tornillos son usadas para preparación de materiales compuestos ya que son más eficientes para realizar mezclas de diferentes materiales.

La máquina extrusora de PET cuenta con un tornillo extrusor de diámetro igual a 23.8 mm. Este diámetro corresponde al diámetro exterior de los álabes o filetes.

5.2.10 PROCESO DE MANUFACTURA DEL TORNILLO

En la actualidad el proceso de manufactura de los tornillos extrusores se basa en la combinación de métodos artesanales con métodos modernos (sistemas CAD/CAM). Debido a que la manufactura de este elemento mecánico es compleja, se optó por importar el tornillo extrusor desde España junto con la camisa puesto que ambos componentes deben poseer características similares de resistencia y dureza.

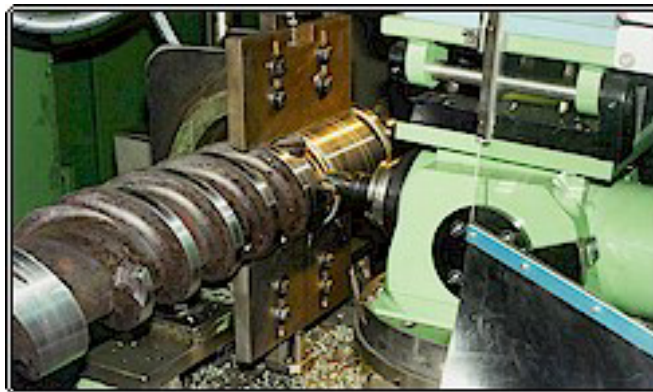


Fig. 5.2 Fabricación de tornillos con métodos CAD/CAM



Fig. 5.3 Tornillo extrusor importado

5.3 MANUFACTURA DE LA CARCASA Y ESTRUCTURA DE SOPORTE

5.3.1 CARCASA

La carcasa generalmente se la construye junto con el tornillo, simultáneamente, debido a que se debe comprobar la holgura radial existente entre las partes, para el caso de la extrusora del presente proyecto la holgura radial es de 0.1 mm.

La carcasa, cilindro o camisa, como se la quiera llamar, debe ser de un material común al del tornillo, en este caso es de material DF-2, de espesor 13 mm; puede contener venteos para eliminar los productos gaseosos. En el cilindro se hallan ubicadas las resistencias eléctricas para la regulación de temperatura, pudiendo contener también circuitos de aceite; además la camisa en su superficie interna por la característica de su material es resistente a la corrosión y la abrasión.

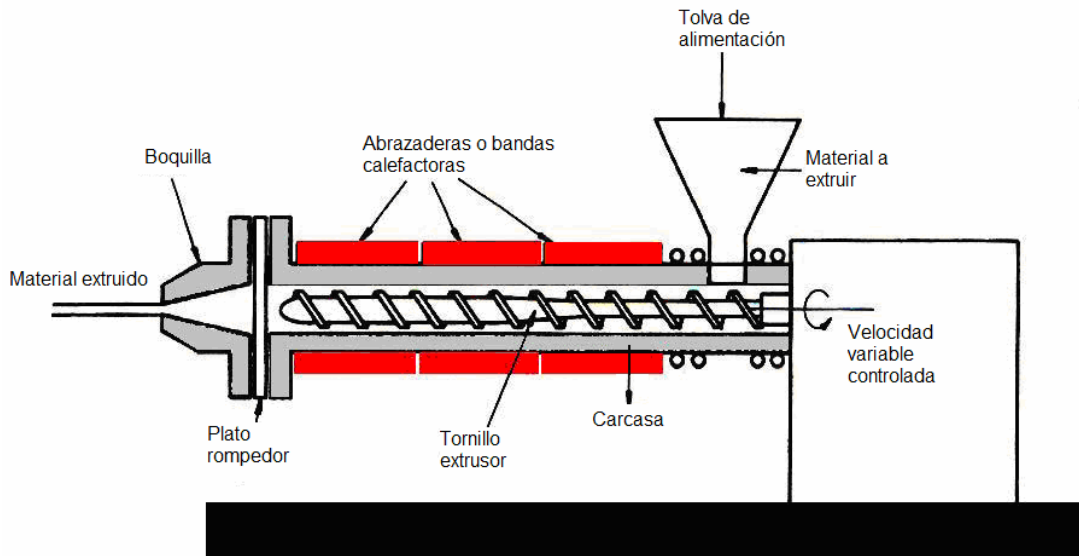


Fig. 5.4 Corte lateral donde se puede observar claramente la camisa



Fig. 5.5 Camisa con tubo de ingreso para el material

5.3.2 ESTRUCTURA SOPORTE

El diseño de la estructura soporte ha sido guiado por las dimensiones del tornillo, sin embargo el resto de piezas que provocan carga muerta como la tolva, el motor-reductor, la camisa, bandas calefactoras, placas soporte, también han influido en el diseño. La estructura ha sido construida con tubos estructurales cuadrados 2 " x 3 mm de espesor, placas de acero recicladas de 15 mm de espesor y soldadura

eléctrica E 6011. Además se usaron láminas de tool para cubrir los componentes internos de la extrusora. También se considera como parte de la estructura al cobertor de la camisa, el cual ayuda a evitar pérdidas de calor por radiación. La estructura va encaminada hacia la estética en la máquina y sobre todo a brindar seguridad al operario frente a la máquina, debido a las altas temperaturas que se alcanzan, a las conexiones eléctricas y el material fundido.



Fig. 5.6 Estructura soporte, camisa y motorreductor

5.4 CONEXIONES ELÉCTRICAS Y ELECTRÓNICAS

Las conexiones eléctricas se dividen en 2 grupos:

- **Arranque/Parada del motor:** este circuito controla el accionamiento del motor eléctrico así como la variación de la velocidad angular en el tornillo extrusor. Adicionalmente cuenta con un sistema que protege al motor frente a posibles sobrecargas eléctricas. Dentro de este grupo se encuentran los siguientes elementos: pulsador ON/OFF, contactor, protección del motor con selector de amperaje y variador de frecuencia.
- **Control del sistema calefactor:** este circuito permite controlar el calentamiento del cilindro y las temperaturas operativas del proceso de extrusión. Este control se lo realiza mediante controladores digitales de temperatura (CDT) y termopares situados en zonas específicas del cilindro.

Las bandas calefactoras son los elementos que aportan la potencia calorífica necesaria para alcanzar las temperaturas de operación. El accionamiento de estas bandas se realiza mediante contactores conectados al CDT.

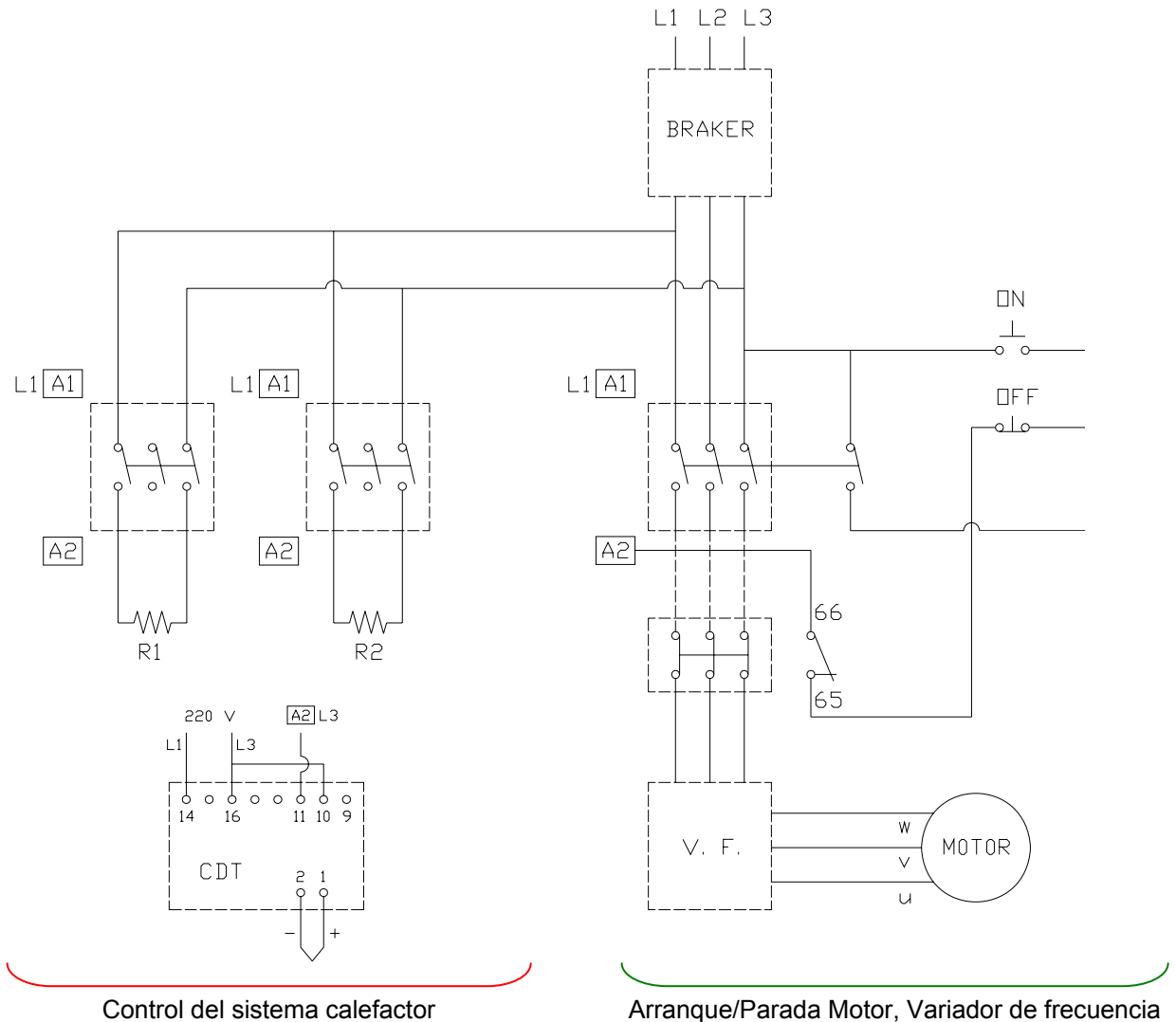


Fig. 5.7 Circuitos eléctricos principales

5.5 ENSAMBLE FINAL

Luego de que las partes de la *estructura soporte* fueron cortadas y soldadas, se procedió a unir las placas - soporte de la camisa y la placa que va unida a la estructura para ensamblar el motor. Posteriormente se procedió a soldar una

porción de tubo roscado a la salida de la camisa, con el fin de colocar luego una boquilla o cabezal de extrusión.

Seguidamente se montaron los rodamientos en el cilindro de alojamiento y en el eje motriz, para luego montar en su totalidad el sistema de transmisión de potencia. El tornillo extrusor se encuentra acoplado al eje motriz el cual le transfiere el movimiento de rotación a través de una chaveta y prisioneros. El siguiente paso fue montar el tornillo dentro de la camisa, asegurar todas las juntas empernadas del sistema, colocar la tolva con su base y la protección de la camisa.



Fig. 5.8 Placa soporte ensamblada a la camisa



Fig. 5.9 Placas frontal y trasera de soporte soldadas a la camisa



Fig. 5.10 Eje motriz y cilindro de alojamiento para los rodamientos



Fig. 5.11 Rueda montada sobre el eje motriz. Rodamiento cónico y tornillo



Fig. 5.12 Sistema de transmisión de potencia completamente montado

Una vez finalizado el ensamble de los componentes mecánicos, se inició el montaje de los componentes eléctrico – electrónicos dentro del panel metálico adjunto a la estructura soporte. El siguiente paso fue conectar los circuitos diseñados para el arranque/parada del motor y para el control del sistema calefactor. Para completar el sistema de calefacción se montaron las abrazaderas o bandas calefactoras a la camisa junto con las termocuplas para censar la temperatura en puntos específicos del cilindro (temperatura de entrada y de salida). Adicionalmente, para controlar la velocidad de giro del tornillo extrusor se instaló un variador de frecuencia en la parte lateral del panel metálico.



Fig. 5.13 Controladores digitales de temperatura sobre el panel metálico



Fig. 5.14 Bandas calefactoras

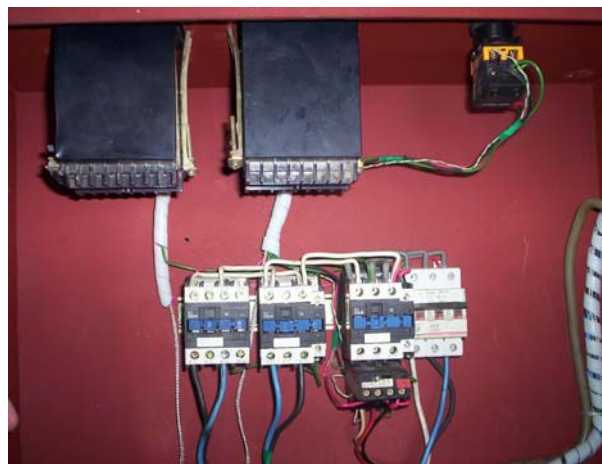


Fig. 5.15 Circuitos eléctricos principales



Fig. 5.16 Conexión de termocupla



Fig. 5.17 Variador de frecuencia para controlar la velocidad de giro

Finalmente se montó una boquilla o cabezal roscado al tubo soldado a la camisa. La boquilla sirve para obtener una extrusión en forma de filamento, mientras que el cabezal permite obtener un perfil hueco (tubo) gracias a sus piezas intercambiables y a un orificio para la entrada de aire comprimido.



Fig. 5.18 Elementos internos del cabezal



Fig. 5.19 Cabezal roscado



Fig. 5.20 Boquilla roscada



Fig. 5.21 Extrusora completamente ensamblada

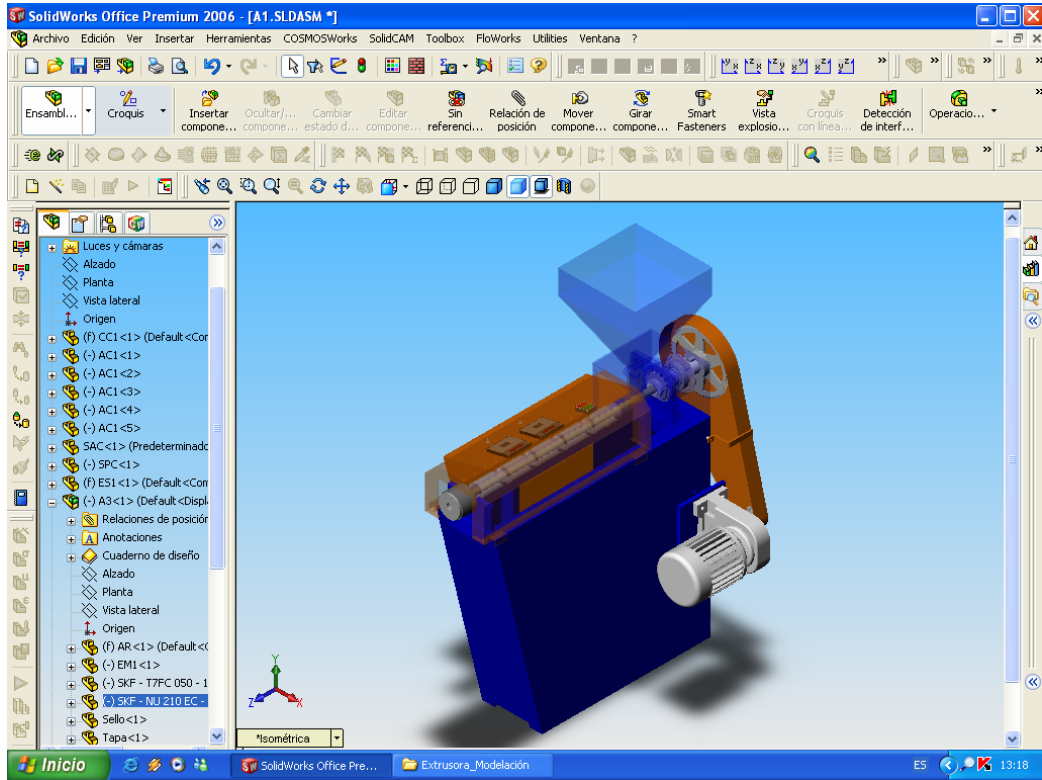


Fig. 5.22 Modelación – ensamble total del prototipo

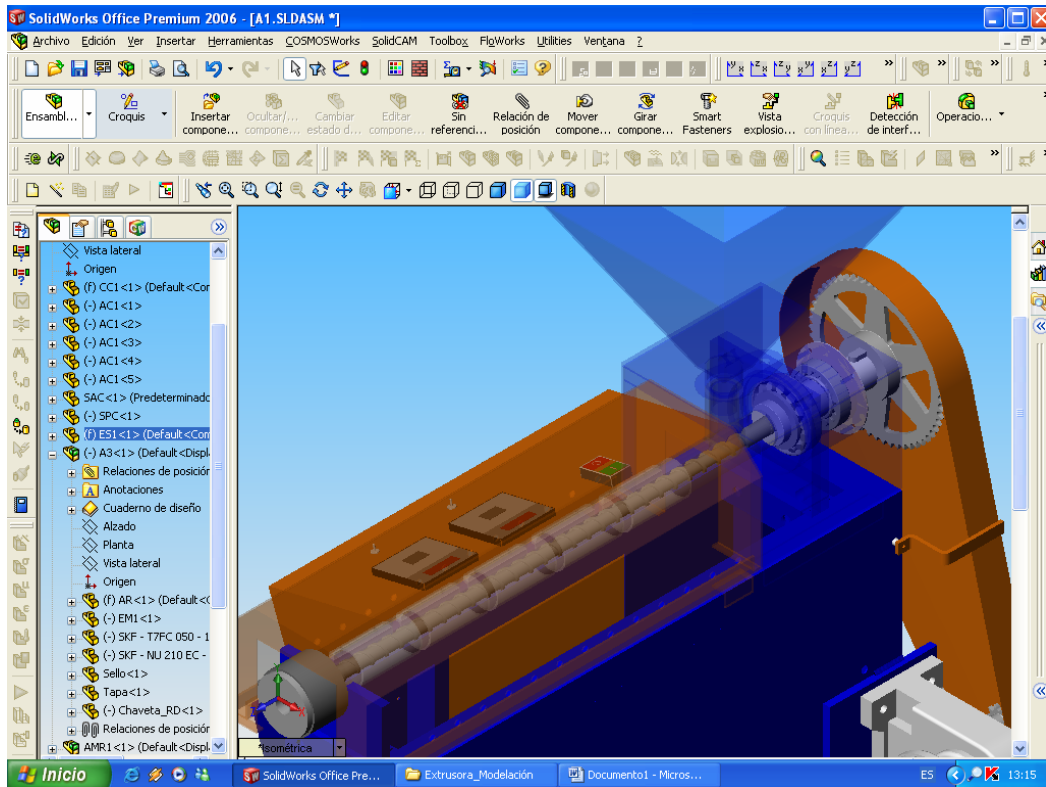


Fig. 5.23a Elementos internos de la extrusora

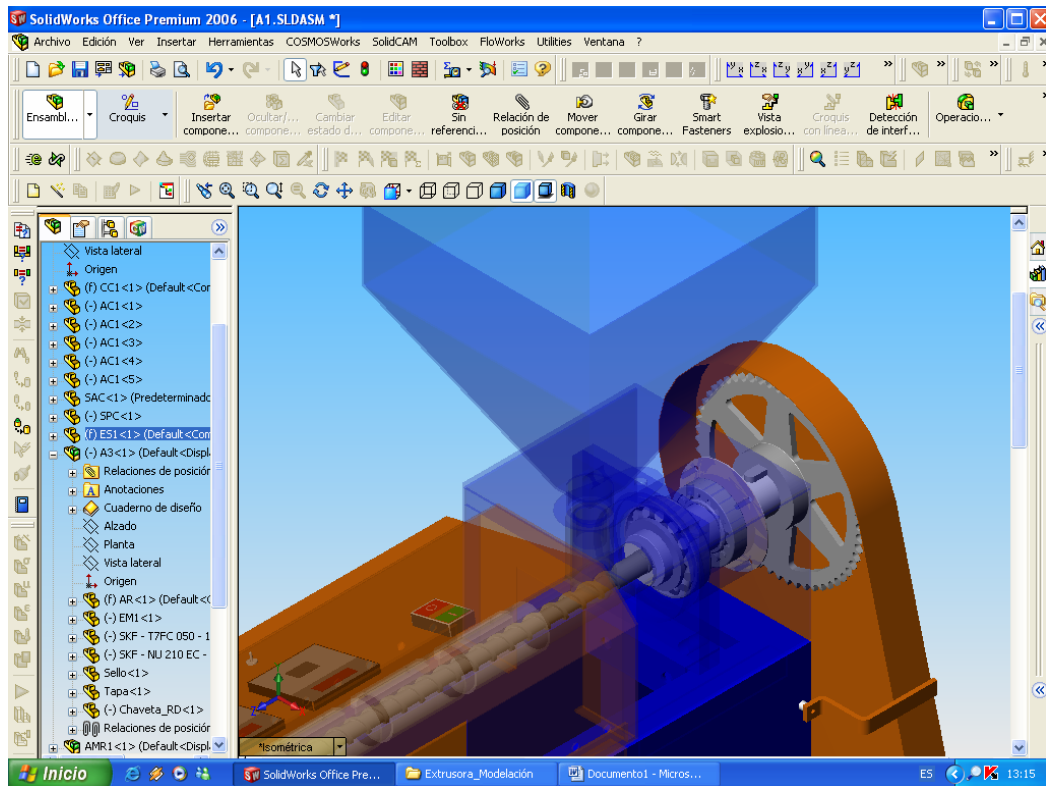


Fig. 5.23b Elementos internos de la extrusora

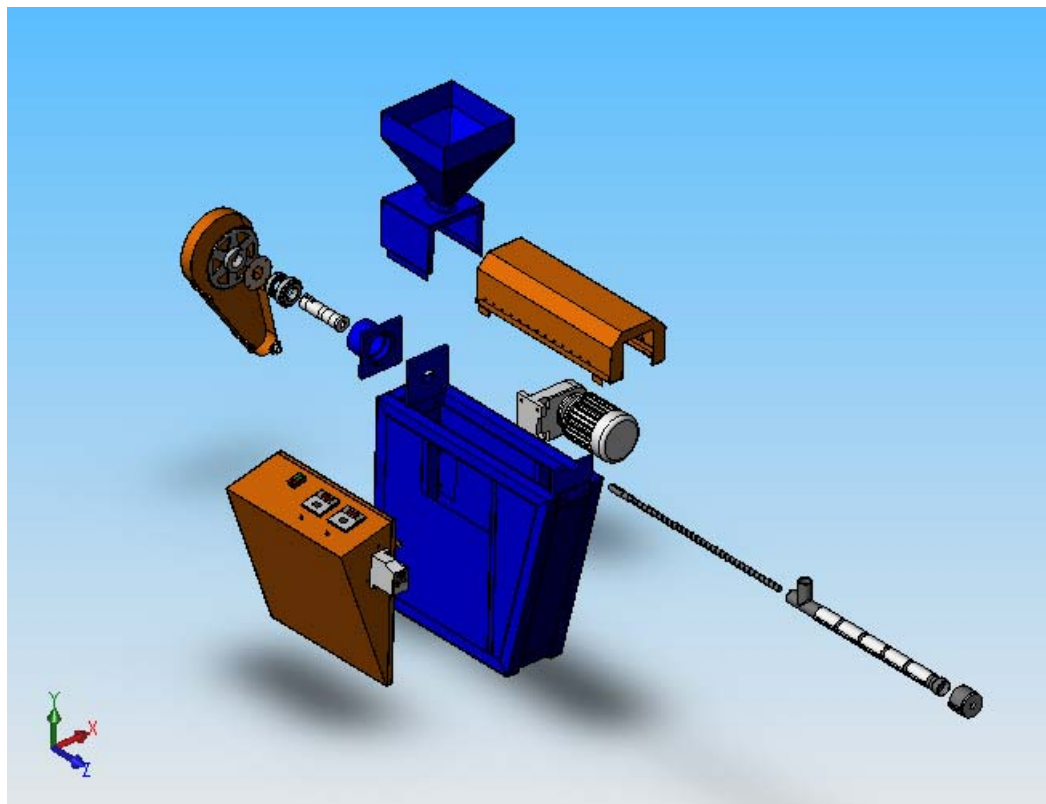


Fig. 5.24 Vista explotada del prototipo