

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

**“Rehabilitación, Operación y Mantenimiento de una
Extrusora de Compuestos de Polímeros”**

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Juan Luis Ferret Campoverde

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2008

AGRADECIMIENTO

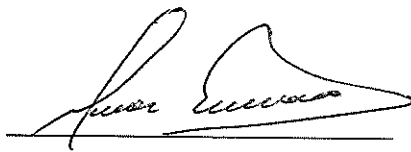
Al Sr. Carlos Correa, por su ayuda brindada, al Área de Materiales, especialmente al Msc. Andrés Rigail por el tiempo prestado en la elaboración del trabajo de tesis.

DEDICATORIA

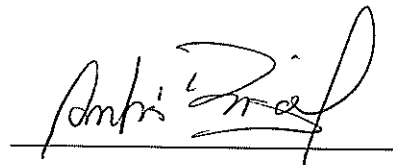
A Dios.

A mi madre y a mi tía Fanny por haberme ayudado y apoyado incondicionalmente en todos los aspectos de mi formación.

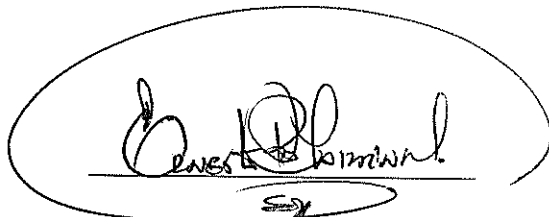
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Omar Serrano V.
DELEGADO POR EL
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



Ing. Andrés Rigail C.
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Ernesto Martínez L.
VOCAL



Ing. Javier Bermudez R.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Juan Luis Ferret Campoverde

RESUMEN

En la actualidad podemos ver la importancia que han ganado los productos plásticos en el mercado y, por tal motivo, se ve la importancia de trabajar en el desarrollo de proyectos de investigación, para poder desarrollar nuevos productos con materias primas nacionales principalmente.

El trabajo presente se basa en la reconstrucción de una Extrusora de tuberías de PVC donada por la compañía AMANCO PLASTIGAMA, la cual fue modificada para que obtenga una alta capacidad de mezclado, a fin de poder fabricar compuestos plásticos con diversas cargas minerales, aditivos o pigmentos. Se analizará el desempeño del tornillo y el cabezal principalmente, y se realizará una adaptación para poder producir los tallarines que serán cortados posteriormente por una máquina cortadora de pellets.

La presente tesis se ha dividido en 5 capítulos. Al inicio de la tesis se enfoca en los objetivos generales y específicos; a continuación se trata los fundamentos del proceso de extrusión; luego de esto, se realizará un análisis del husillo de la máquina, cálculos para la selección de calentadores eléctricos de proceso y se desarrollará una guía de operación. Posteriormente, se desarrollará un programa de mantenimiento mecánico y

eléctrico para la extrusora para finalmente, presentar conclusiones y recomendaciones adicionales para trabajos futuros.

Con la adaptación y reingeniería de esta máquina, se enriquecerá el aspecto educativo, y se contará con una equipo para realizar investigaciones en compuestos plásticos nacionales, teniendo como meta a mediano plazo la educación, el servicio a la industria y la investigación; incluso trabajar en el campo de los materiales nanoestructurados, ya que se diseñará la máquina para que pueda realizar mezclas con nanoarcillas.

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	I
INDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	VII
SIMBOLOGÍA	IX
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
INTRODUCCIÓN	1
 CAPITULO 1.	
1 INFORMACION GENERAL	3
1.1 Objetivos de la Tesis.....	4
1.1.1 Objetivo General de la Tesis	4
1.1.2 Objetivos Específicos de la Tesis	4
1.2 Antecedentes	5
1.3 Métodos	6
 CAPITULO 2.	
2 EXTRUSIÓN DE COMPUESTOS DE POLÍMEROS. TECNOLOGIA, APLICACIONES E IMPORTANCIA EN EL ECUADOR	

2.1 El proceso básico de Extrusión.....	8
2.1.1 Motor Principal y Reductor de Velocidad	9
2.1.2 Tolva de Alimentación	11
2.1.3 Sistema Tornillo-Camisa	13
2.1.4 Cabezal de Extrusión.....	15
2.1.4 Equipo Auxiliar	16
2.2 Mezclado en Extrusión	19
2.2.1 Mezclado Distributivo	19
2.2.2 Mezclado Dispersivo	20
2.2.3 Criterios de Selección para Mezcladores	22
2.3 Compuestos de Polímeros	27
2.3.1 Tecnologías Existentes	27
2.3.1.1 Coextrusión	28
2.3.1.2 Recubrimiento	30
2.3.1.3 Laminación	30
2.3.2 Aplicaciones Industriales en Ecuador	31
2.4 Importancia y Perspectivas Futuras de la Industria de Extrusión de Plásticos en el Ecuador	34

CAPITULO 3.

3. REINGENIERÍA Y OPERACIÓN DE LA EXTRUSORA DE COMPUESTOS DE POLÍMEROS

3.1 Análisis del Husillo del Tornillo	36
---	----

3.1.1 Estimado del Caudal (Q).....	36
3.1.2 Cálculo de tiempo de Residencia	39
3.2 Cálculos de Transferencia de Calor	41
3.2.1 Cálculo de Potencia Calorífica Necesaria	43
3.2.2 Selección de Calentadores	45
3.3 Operación de la Extrusora	47
3.3.1 Obtención de curvas de Operación	47
3.3.2 Manual de Operación	53
3.3.2.1 Preparación para el encendido	55
3.3.2.2 Encendido de la extrusora	57
3.3.2.3 Operación actual	59
3.3.2.4 Apagado	60
3.3.2.4.1 Purga	61
3.3.2.5 Sugerencias de seguridad	63
3.3.2.5.1 Calor	64
3.3.2.5.2 Partes móviles	64
3.3.2.5.3 Electricidad	65
3.3.2.5.4 Pesos	66
3.3.2.5.5 Presión	66
3.3.2.6 Inspección y Entrenamiento	67
 CAPITULO 4.	
4 PLAN DE MANTENIMIENTO DE LA EXTRUSORA	69

4.1 Plan de Mantenimiento Integral para la Línea de Extrusión	75
4.1.1 Checklist Mensual	76
4.1.2 Checklist Cuatrimestral	79
4.1.3 Checklist Anual	84

CAPITULO 5.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	89
5.1 Conclusiones	90
5.2 Recomendaciones	90

ABREVIATURAS

PVC	Policloruro de Vinilo
CAD	Computer Aided Design
CaCO ₃	Carbonato de Calcio
ABS	Acrilonitrilo Butadieno
PEAD	Polietileno de Alta Densidad
D	Diámetro del husillo
Φ	Angulo de la hélice del husillo
N	Velocidad angular en rpm
Q _{total}	Flujo polimérico total generado
Q _{arrastre}	Flujo polimérico de arraste
Q _{presión}	Flujo polimérico de presión
P	Caída de presión
H	Profundidad del canal en zona de alimentación
η	Viscosidad del material a la temperatura de proceso
l	Longitud de la camisa
L	Longitud de la camisa y el cabezal
ρ	Densidad del material a la temperatura de proceso
T	Tiempo de residencia
u	Velocidad promedio del fundido en la extrusora
w	Largo de un canal rectangular
a	Ancho de un canal rectangular
R	Radio de un canal circular
h	Coefficiente de convección
Bi	Número de Biot
k	Conductividad térmica
L _c	Longitud característica en transferencia de calor
R _e	Radio externo de la camisa
R _i	Radio interno de la camisa
Q _c	Carga calorífica
V	Volumen
t	Tiempo
c	Calor específico
θ_i	Diferencia de temperatura adimensional
A _s	Area superficial
T _i	Temperatura interna
T _æ	Temperatura del ambiente
Q _{calentador}	Potencia calorífica de un calentador eléctrico

F1	Factor de sobredimensionamiento por resistencia de contacto
F2	Factor de sobredimensionamiento por degradación del calentador
DAS	Sistema de adquisición de datos

SIMBOLOGÍA

J	Joules
kg/hr	Unidades de Productividad
L/D	Relación Longitud-Diámetro de la camisa
gr/cc	Unidades de densidad
W/m ² .K	Unidades del coeficiente de convección de calor
W/m.K	Unidades de conductividad térmica
kg/m ³	Unidades de densidad
Rpm	Revoluciones por minuto
W	Unidades de potencia calorífica

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Resultados de las mediciones de presión y productividad en la Extrusora con resina PEAD MFI=0.05gr/10min.....	48
Tabla 2 Resultados de las mediciones de presión y productividad en la Extrusora con resina PEAD MFI=0.05gr/10min en compuestos con carbonato de calcio al 25% en peso....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 2.1	Esquema de una extrusora de plásticos convenciona	9
Figura 2.2	Extrusora de acoplamiento directo.....	10
Figura 2.3	Extrusora de acoplamiento por poleas.....	10
Figura 2.4	Ubicación de la tolva de alimentación en una Extrusora.....	12
Figura 2.5	Diseños de tolvas (El izquierdo es un mejor diseño)..	12
Figura 2.6	Extrusora de dos etapas con desvolatilización	14
Figura 2.7	Partes de un husillo de extrusión convencional.....	14
Figura 2.8	Partes de un cabezal de extrusión de tubería como el donado por la compañía Amanco Plastigama	16
Figura 2.9	Equipo auxiliar de una extrusora de compuestos Plásticos.....	17
Figura 2.10	Equipo de calibración de espesores por ultrasonidos	18
Figura 2.11	Mezclado distributivo.....	20
Figura 2.12	Mezclado dispersivo.....	20
Figura 2.13	Mezclador distributivo de romboides.....	21
Figura 2.14	Mezclador dispersivo Maddox o LeRoy.....	21
Figura 2.15	Combinación de mezcladores en un husillo de alta capacidad de mezclado.....	22
Figura 2.16	Mezclador dispersivo Maddox seleccionado para el husillo de la extrusora.....	25
Figura 2.17	Mezclador dispersivo de anillo seleccionado para el husillo de la extrusora.....	26
Figura 2.18	Mezclador distributivo de romboide seleccionado para el husillo de la extrusora.....	26
Figura 2.19	Diseño final del tornillo de extrusión para la extrusora.....	27
Figura 2.20	Cabezal de coextrusión de perfiles.....	29
Figura 2.21	Cabezal de coextrusión de película plástica.....	29
Figura 2.22	Fabricación de recubrimientos por extrusión.....	30
Figura 2.23	Esquema de fabricación de laminados poliméricos.....	31
Figura 2.24	Tuberías de PVC extruídas.....	32
Figura 2.25	Extrusión de monopelícula.....	33
Figura 2.26	Evolución de las importaciones de resinas plásticas en el Ecuador.....	33
Figura 3.1	Camisa de la extrusora.....	42
Figura 3.2	Esquema de la sección transversal a analizar.....	42
Figura 3.3	Extrusora montada con sus respectivos calentadores.....	46
Figura 3.4	Sensor de presion durante su instalacion	48

Figura 3.5	Curva de operación para pead puro con $\text{mfi}=0.05\text{gr}/10\text{min}$ a una velocidad de 60 rpm.....	50
Figura 3.6	Curva de operación para pead con $\text{mfi}=0.05\text{gr}/10\text{min}$ reforzado con 25% en peso de caco_3 a una velocidad de 60 rpm.....	52
Figura 3.7	Panel de temperaturas de la extrusora FIMCP-ESPOL.....	55
Figura 3.8	Introducción del material a la Extrusora.....	55

INTRODUCCIÓN

Dentro del campo del procesamiento de plásticos, la Extrusión representa sin lugar a dudas uno de los métodos más populares de fabricación en la industria a nivel mundial; la variedad de productos que se pueden obtener a partir de este proceso y el descenso de los costos en la tecnología necesaria, han hecho de este método el pilar del desarrollo dentro de la comunidad industrial plástica ecuatoriana. Debido a esto, adquiere gran importancia la realización de estudios en el campo de la extrusión que permitan una adecuada transferencia de tecnología, a fin de aumentar la competitividad de empresas ecuatorianas donde se puede conseguir un mayor impacto tecnológico y social.

El trabajo presentado a continuación, documenta la experiencia de un grupo de personas del Área de Materiales de la Escuela Politécnica, en la rehabilitación de una máquina extrusora donada por la compañía AMANCO PLASTIGAMA. El equipo en mención fue diseñado para fabricar tuberías de PVC, por lo que una de las principales cosas que se demostrará con esta tesis, es la posibilidad de adaptar tecnologías existentes y comunes en el Ecuador, para el desarrollo de compuestos plásticos de alta calidad que puedan mejorar los productos existentes, desarrollar nuevas aplicaciones y a la vez, permitir el uso de resinas recicladas mejorando las propiedades

mecánicas, en ciertas aplicaciones. Además, siendo el presente trabajo desarrollado en la facultad de Ingeniería Mecánica, se ha estimado conveniente realizar el análisis del husillo de extrusión que se diseñó para la máquina, así como la aplicación de las ecuaciones de transferencia de calor para seleccionar el sistema de calentamiento eléctrico que toda extrusora debe poseer. Por otro lado, debido a la gran importancia que tiene el mantenimiento de los activos en las empresas industriales, se desarrollará un plan integral mecánico y eléctrico para mantener una confiabilidad alta de los equipos a través de todo su ciclo de vida. Confiamos en que la transferencia del conocimiento a través de este trabajo contribuirá a mejorar el desempeño de la industria de la extrusión y permitirá el desarrollo de futuros trabajos educativos, tecnológicos y científicos en el área de compuestos y nanocompuestos de polímeros, ya sea en el aspecto de reforzamiento, o en el emergente campo de los materiales funcionales.

CAPÍTULO 1

1. INFORMACIÓN GENERAL

Siendo el proceso de extrusión el método de procesamiento de plásticos de mayor uso en el Ecuador, adquiere vital importancia la educación y la investigación que se pueda desarrollar en este aspecto industrial. Los objetivos de este trabajo principalmente buscan principalmente generar un nivel de educación más adaptado a la realidad industrial ecuatoriana, así como generar conocimiento a través de la investigación científica y tecnológica. De igual manera, no se descuida el aspecto del mantenimiento de equipos considerando que toda máquina está afectada por degradación de distintos tipos a través de todo su ciclo de vida, de allí que se requiere de una programación general de las

gestiones que se deben llevar a cabo, a fin de mantener la confiabilidad de los activos.

1.1 Objetivos de la Tesis

En enfoque del presente trabajo se lo presenta en los siguientes objetivos:

1.1.1 Objetivo General

Fortalecer la educación e investigación mediante la documentación del proceso de rehabilitación, operación y mantenimiento de una línea de fabricación de pellets de termoplásticos en el Ecuador, para la fabricación de compuestos y nanocompuestos poliméricos de alta calidad.

1.1.2 Objetivos Específicos

Adaptación tecnológica de una máquina extrusora de tubería de PVC a una línea de fabricación de compuestos y nanocompuestos de polímeros.

Realizar el análisis mecánico – reológico del husillo de extrusión a fin de predecir teóricamente las variables más importantes del proceso.

Aplicando ecuaciones de transferencia de calor, desarrollar una metodología para la selección de los calentadores eléctricos en extrusoras de cualquier tipo.

Documentar la curva de operación del equipo, con la finalidad de mejorar la educación e investigación que se realice en el futuro con la máquina en mención.

Desarrollar un plan de mantenimiento integral de líneas de peletizado de compuestos plásticos, aplicable a cualquier industria de extrusión ecuatoriana.

1.2 Antecedentes

Desde que se firmó el convenio ESPOL-ASEPLAS, numerosas gestiones se han realizado para el beneficio de las partes y la formación de profesionales que en un futuro se integrarán a la comunidad industrial. Como parte de esas gestiones, se obtuvo la donación de una extrusora de tuberías de PVC por parte de la empresa Amanco-Plastigama. La reingeniería de esta máquina, y en general el desarrollo de este trabajo, fue realizada con el financiamiento de la Secretaría Nacional de la Ciencia Y Tecnología (SENACYT), así como también el apoyo financiero del Convenio VLIR – ESPOL, con el aval de su componente 6 de desarrollo de materiales.

El equipo en mención ha sido utilizado para el desarrollo de compuestos plásticos reforzados con cargas minerales, compuestos de plásticos reciclados, así como el proyecto principal de financiamiento: el desarrollo de nanocompuestos de polietileno con arcillas del Grupo Ancón de la Península de Santa Elena.

1.3 Métodos

Inicialmente se iniciará el presente trabajo con una exposición del proceso de extrusión, su importancia y las perspectivas de esta industria en el Ecuador. La construcción de la parte principal de este trabajo, el husillo de extrusión, fue realizada por la compañía argentina METALURGICA GOLCHE. A través del desarrollo de esta tesis, mediante análisis matemático se analizará el desempeño de este dispositivo; asimismo, se resolverán las ecuaciones diferenciales de transporte de energía, para predecir la potencia calorífica necesaria para el proceso y de esta manera, se expondrá una metodología para selección de calentadores eléctricos, una práctica común que tiene mucho de empirismo en la actualidad. Usando sensores de presión y temperatura, se obtendrá la curva de operación de la máquina con la finalidad de predecir con exactitud la productividad de la máquina a diferentes caídas de presión y velocidades del husillo de extrusión. Se ha consultado extensa bibliografía en el área de extrusión para

exponer en cuanto a esto, y según criterios de ingeniería de mecánica y mantenimiento industrial, el desarrollo de un plan completo de operación y mantenimiento mecánico y eléctrico de este tipo de líneas de fabricación de compuestos plásticos. Finalmente, en los anexos se expondrá los planos de fabricación de todo el hardware modificado o adaptado con la finalidad de transferir tecnológicamente los métodos a seguir para la rehabilitación de un equipo de este tipo, que son tecnológicamente populares en el Ecuador.

CAPÍTULO 2

2. EXTRUSION DE COMPUESTOS DE POLIMEROS: TECNOLOGÍA, APLICACIONES E IMPORTANCIA EN EL ECUADOR

La extrusión de plásticos es un proceso de manufactura de una alta demanda en el mercado actual, en donde el polímero en crudo es derretido y guiado a un proceso de formación de un perfil continuo.

La función principal de una extrusora es la de generar la suficiente presión en el material para hacerlo pasar a través del cabezal [1]. La presión necesaria para hacer pasar el material por el cabezal depende principalmente de la geometría de este, de las propiedades del flujo del material y de la tasa de flujo.

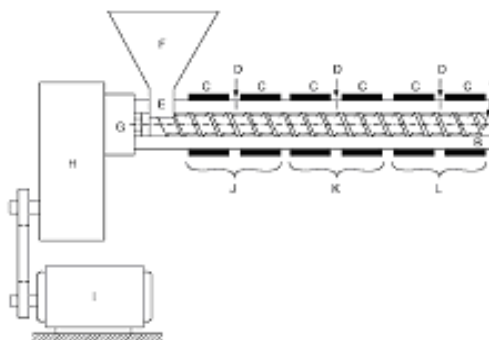


FIGURA 2.1 ESQUEMA DE UNA EXTRUSORA DE PLÁSTICOS CONVENCIONAL

Las extrusoras son las máquinas usadas más comúnmente en la industria del procesamiento de plásticos, y no son usadas únicamente para procesos de extrusión sino que también se las utiliza en operaciones de moldeo, por inyección y soplado principalmente.

2.1.1 Motor principal y reductor de velocidad

La función del motor principal es la de hacer girar al Tornillo, la velocidad nominal normalmente del motor principal es de 1800 rpm, mientras que la velocidad máxima de rotación del tornillo es usualmente alrededor de 100 rpm, por tal motivo se necesita un reductor de velocidad entre el motor y el tornillo. Varios motores pueden ser usados para las extrusoras, los motores DC fueron usados más comúnmente en la década de los 90 ahora se utilizan en su mayoría motores AC.

El acoplamiento entre el motor y la caja reductora se lo hace de dos maneras, directa o indirectamente.

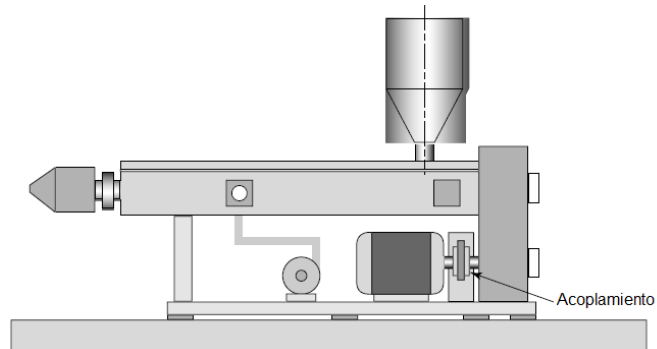


FIGURA 2.2 EXTRUSORA DE ACOPLAMIENTO DIRECTO

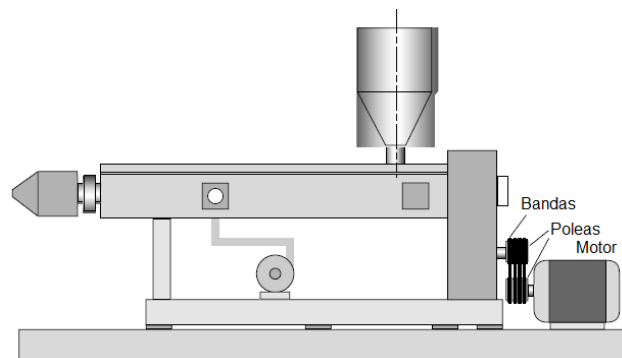


FIGURA 2.3 EXTRUSORA DE ACOPLAMIENTO POR POLEAS

Las ventajas del acoplamiento directo son que no hay bajones en la eficiencia de la energía y está compuesto de menos partes, la desventaja es que es más complicado cambiar el radio de reducción. Por otro lado las ventajas de acoplamientos indirectos es que son mucho más fáciles de cambiar el radio de reducción y hay una mayor libertad para posicionar el motor,

entre las desventajas podemos citar que hay más pérdidas de energía debido a las bandas, y hay mayor cantidad de piezas que se podrían desacoplar.

El reductor de velocidad es necesario debido a que la velocidad del motor es mucho más alta que la del tornillo, los radios de reducción típicos son entre 15:1 o 20:1 pero existen reducciones tan bajas como de 5:1 o tan altas como de 40:1.

Las cajas reductoras deben ser fabricadas de una manera que sea fácil el intercambio de engranes, esto mejora la flexibilidad y versatilidad de la extrusora.

2.1.2 Tolva de Alimentación

El sistema de alimentación está conectado a la camisa, contiene una abertura por donde el material plástico es introducido a la extrusora. La garganta de alimentación generalmente está enfriada con agua de manera que el material no se funda en la entrada a la máquina y de esta manera no se bloquee el paso al material alimentado.

La tolva de alimentación (figura 2.4) está conectada a la garganta de alimentación y a la camisa. Esta contiene a los pellets de plástico o a los compuestos que se vayan a utilizar

para luego enviarlos a través de la garganta de alimentación. La tolva debe ser diseñada para permitir un flujo estable a través de la misma, se recomienda utilizar secciones circulares (Figura 2.5) para la fabricación de la tolva para lograr alcanzar mejor estabilidad en el flujo, sin embargo para casos en los cuales el material es demasiado grande se suelen utilizar tolvas con secciones distintas pero con ayuda en el proceso para hacer pasar el material por la garganta.

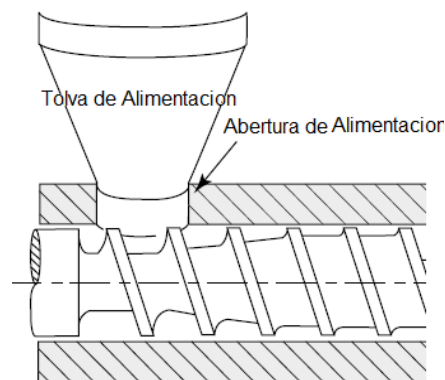


FIGURA 2.4 UBICACIÓN DE LA TOLVA DE ALIMENTACIÓN EN UNA EXTRUSORA

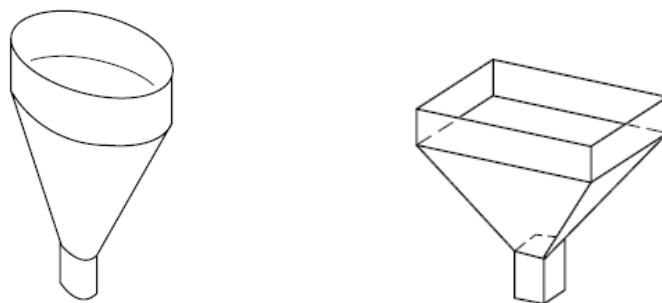


FIG. 2.5 DISEÑOS DE TOLVAS (EL IZQUIERDO ES UN MEJOR DISEÑO)

2.1.3 Sistema Tornillo - Camisa

El corazón de la extrusora es el tornillo, es un cilindro largo con una hélice en su contorno, el tornillo es tan importante porque transporta, calienta, derrite y mezcla el compuesto que se está procesando. La estabilidad del proceso y la calidad del producto extruido son determinadas principalmente por el tornillo; éste rota en un cilindro que se encuentra en su exterior que se lo conoce como Camisa.

La camisa está equipada con una capa bimetálica, ésta es una capa dura y de alta resistencia al uso. En la mayoría de los casos la resistencia al uso de la camisa debe ser mejor que la del tornillo, debido a que el tornillo es mucho más fácil de fabricar e instalar, las camisas bimetálicas generalmente no se pueden reconstruir.

Las camisas pueden tener una abertura de ventilación por donde todos los volátiles remanentes pueden ser removidos del plástico, a este proceso se lo conoce como desvolatización.

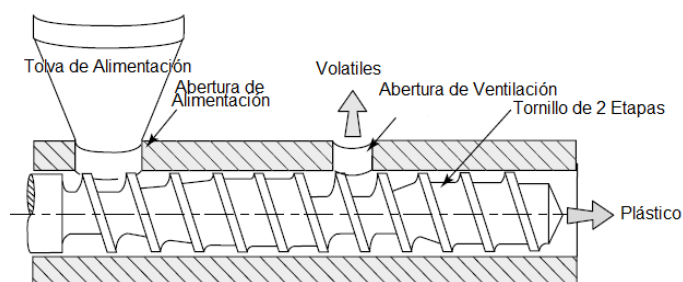


FIGURA 2.6 EXTRUSORA DE DOS ETAPAS CON DESVOLATILIZACIÓN

El tornillo tiene tres partes principales (Figura 2.7): la zona de alimentación, transición y bombeo [2]. En la primera zona es la primera parte del tornillo que toma contacto con el polímero, aquí se desarrolla la función del arrastre del material. A continuación se encuentra la parte de transición del tornillo, que es donde se da la mayor parte del derretimiento del material. Finalmente se encuentra la sección de bombeo, que es donde el material derretido es presurizado hacia el cabezal.

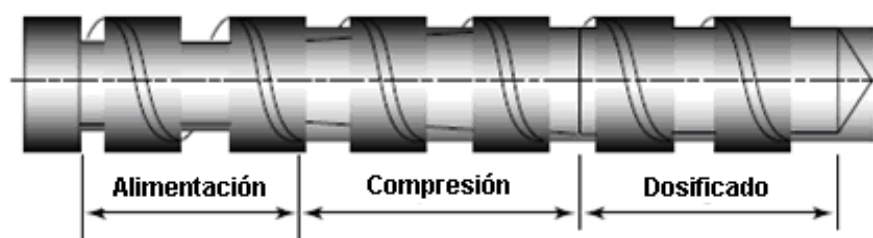


FIGURA 2.7 PARTES DE UN HUSILLO DE EXTRUSIÓN CONVENCIONAL

2.1.4 Cabezal de Extrusión

El cabezal de extrusión es el lugar de descarga de la extrusora, su función es la de dar forma al flujo de plástico en la forma deseada del producto extruido. El canal de inyección del cabezal está usualmente diseñado para unir la salida de la extrusora, si la entrada del cabezal no cuadra con la salida de la extrusora, se utiliza un adaptador entre el cabezal y la extrusora.

Las tres partes principales del cabezal son el canal de inyección, el distribuidor y la región plana (Figura 2.8). El canal de flujo del cabezal debe ser diseñado para que la mezcla derretida logre una velocidad uniforme a través de la salida del cabezal.

El tamaño y la forma de la región plana no son exactamente iguales a las del producto extruido debido a la caída del material debido a su peso, el enfriamiento, expansión y relajación que tiene después de la salida, es comúnmente difícil de predecir como exactamente va a salir el tamaño y la forma del plástico después de salir del cabezal. Como resultado de esto es también difícil predecir como diseñar los canales de flujo del cabezal para alcanzar el tamaño y forma deseada. Se han desarrollado técnicas numéricas para lograr una mejor

predicción de estos resultados, sin embargo el diseño del cabezal es usualmente un proceso de prueba y error.

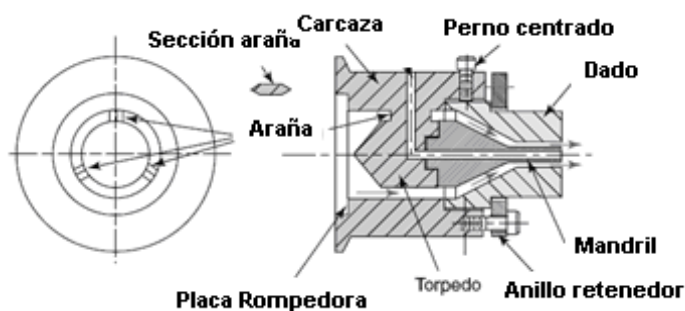


FIGURA 2.8 PARTES DE UN CABEZAL DE EXTRUSIÓN DE TUBERÍA COMO EL DONADO POR LA COMPAÑÍA AMANCO PLASTIGAMA

2.1.5 Equipo Auxiliar

Además de la Extrusora, se necesita equipo para desensamblar y ensamblarla si se quiere producir un producto útil. Los principales elementos en una línea de extrusión son; el sistema de manipulación de resinas, el sistema de secado, la extrusora, el dispositivo de calibración, el dispositivo de enfriamiento, y la cuchilla o sierra. Los principales tipos de líneas de extrusión son las de tubos y tuberías, películas y laminas, compuestos, y de perfiles.

Los cabezales para tubos y tuberías, cuando se desea trabajar con diámetros menores a 10 mm, se lo realiza usualmente con un proceso de extrusión libre, este es un proceso sin una unidad

de calibración. Para las tuberías de mayor diámetro, se las realiza con un sistema de calibración colocado en la salida del cabezal. El propósito de este calibrador, es el de solidificar el plástico con un espesor suficiente para transmitir el esfuerzo requerido en el producto, mientras se mantiene la forma y dimensiones deseadas.

Los principales componentes en una línea típica de extrusión compuestos plásticos, equipo que se desarrollará en este trabajo, se muestran en la Figura 2.9.

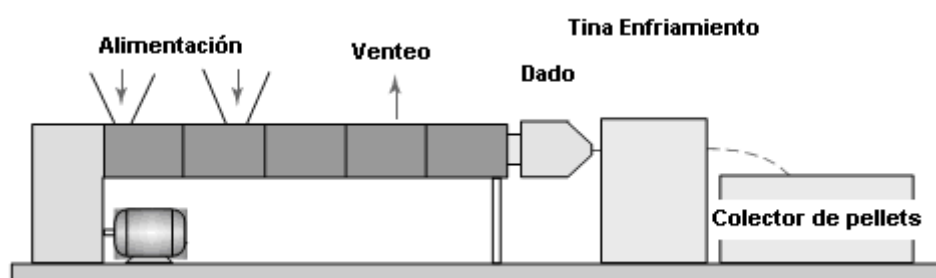


FIGURA 2.9 EQUIPO AUXILIAR DE UNA EXTRUSORA DE COMPUESTOS PLÁSTICOS

Esta línea de extrusión no usa un sistema de calibración, sería mejor utilizada en la producción de tuberías de diámetro pequeño. La bomba del engrane, se puede o no usar, dependiendo de cuan preciso queramos nuestra producción.

En extrusoras de tubería, la temperatura de aire interna en la tubería es controlada para alcanzar los correctos valores del diámetro exterior y del espesor de las paredes.

El diámetro es comúnmente medido con un medidor de láser, para permitir un monitoreo cercano y mayor control. El diámetro y el espesor de la pared, son determinados principalmente por la salida de la extrusora, la velocidad de pulido y la presión interna de aire. Después del pulido, la tubería puede ser cortada. En algunas líneas, el espesor de la pared es medido directamente; esto se puede hacer con sensores ultrasónicos colocados alrededor de la circunferencia de la tubería o del tubo como se muestra aquí (Figura 2.10)

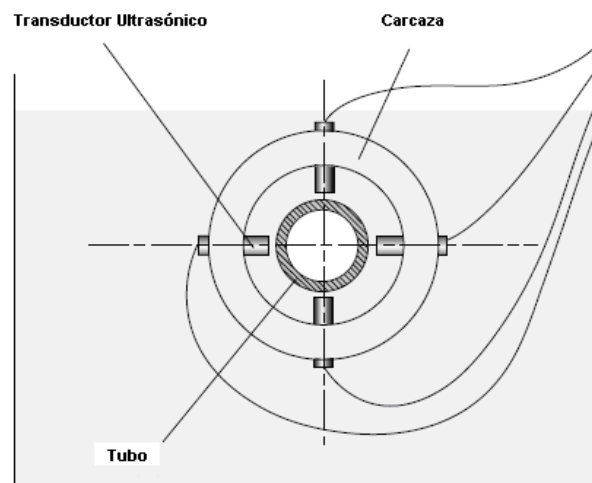


FIGURA 2.10 EQUIPO DE CALIBRACIÓN DE ESPESORES POR ULTRASONIDOS

2.1 Mezclado de Extrusión

Para la elaboración de productos mediante la utilización de polímeros, es común mezclarlo con otros ingredientes, los cuales tienen varios fines. Los procesos para mezclar también brindan una oportunidad de modificar la forma física del polímero para que se maneje fácilmente en la etapa de transportación final de preparación, pero el propósito principal es el de la introducción de aditivos. Los aditivos se los añade principalmente para modificar las propiedades del material y para evitar la degradación del polímero cuando se usa o durante su tratamiento o en ambos casos por medio de aditivos apropiados.

La etapa de mezclado en la extrusora comienza cuando la temperatura del plástico alcanza el punto de fusión. Existen dos tipos de mezclado el distributivo y el dispersivo.

2.2.1 Mezclado Distributivo

En este tipo de mezclado, las partículas sólidas son compactas y forman brotes sólidos a lo largo de la longitud del canal del tornillo. Una pequeña capa derretida está localizada entre el límite de la cama sólida y la barrera. La mayor parte de la mezcla se da lugar en la interface entre la cama sólida y la capa derretida. El nuevo material mezclado es recogido de la película

derretida (Figura 2.11). Este tipo de mezcla es más utilizado en extrusoras de un solo tornillo.

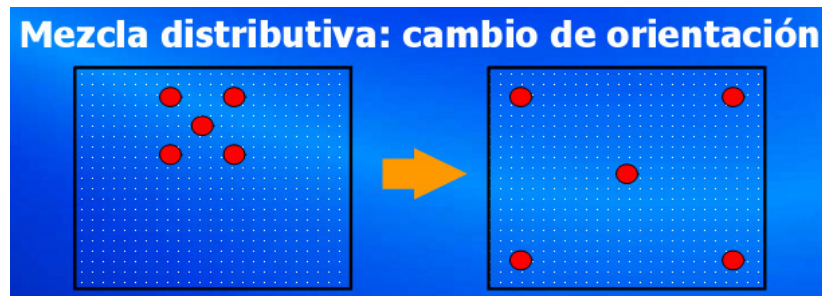


FIGURA 2.11 MEZCLADO DISTRIBUTIVO

2.2.2 Mezclado Dispersivo

En este tipo de mezclado, las partículas sólidas están dispersas en la matriz derretida (Figura 2.12). Las partículas sólidas derretidas disminuyen de tamaño mientras se van derritiendo, este tipo de mezcla es comúnmente usado en extrusoras de doble tornillo de alta velocidad y en extrusoras reciprocantes de compuestos con tornillo simple [3]. Este tipo de mezcla es más eficiente que el mezclado continuo.

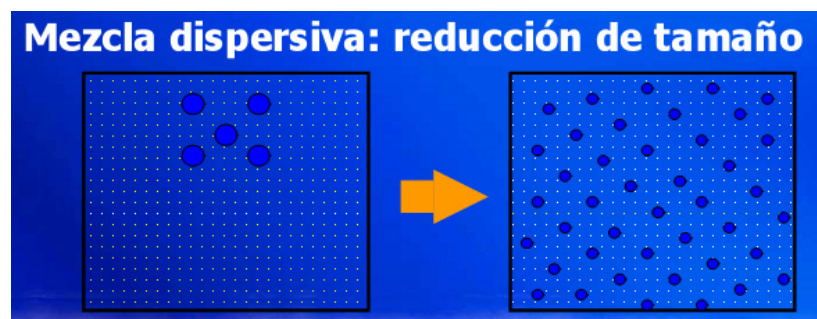


FIGURA 2.12 MEZCLADO DISPERSIVO

En la Figura 2.13 podemos ver un ejemplo de un típico mezclador distributivo, los cuales son más comúnmente usados en la industria.



FIGURA 2.13 MEZCLADOR DISTRIBUTIVO DE ROMBOIDES

En la industria del reciclaje o de fabricación de compuestos son muy comunes los mezcladores dispersivos, especialmente cuando se tiene que dispersar una carga o un aditivo. En la Figura 2.14 podemos ver un ejemplo de estos mezcladores.



FIGURA 2.14 MEZCLADOR DISPERSIVO MADDOX O LEROY

En muchas aplicaciones, especialmente cuando se trata de fabricar compuestos plásticos reforzados, o en donde se requieren altas capacidades de mezclado, se usan combinaciones de mezcladores, para obtener una operación de dispersión y distribución eficiente. En el caso de este trabajo se usará una combinación de mezcladores dispersivos y distributivos. En la Figura 2.15 se puede observar una combinación de este tipo.



FIGURA 2.15 COMBINACIÓN DE MEZCLADORES EN UN HUSILLO DE ALTA CAPACIDAD DE MEZCLADO

2.2.3 Criterios de Selección para Mezcladores

Al seleccionar mezcladores, los procesadores de plástico tienen que considerar algunos factores, entre los que podemos contar:

- **Tipo de material a usar.**- Muchos de los mezcladores dispersivos tienden a someter al flujo polimérico a un gran esfuerzo cortante, generando calor viscoso en exceso. Es por esto que las resinas termosensibles por lo general no se procesan con más de un mezclador dispersivo [4].
- **Productividad.**- La adición de cada mezclador adicional produce una caída de presión determinada, afectando directamente el caudal generado en el sistema tornillo – camisa [10]. Un exceso de mezcladores puede resultar en una baja productividad de cualquier extrusora.
- **Proceso.**- Existen ciertos procesos que requieren exactitud en ciertas variables. Por ejemplo en la extrusión de monopelícula o película soplada se requieren mezcladores distributivos a la salida de la camisa no sólo para hacer un buen mezclado distributivo de los aditivos y pigmentos del producto sino para dar uniformidad a la temperatura del flujo polimérico a fin de que no se produzcan inestabilidades o hinchamiento desigual.

De igual manera si el fabricante no trabaja con materiales compuestos, un gasto en mezcladores dispersivos es innecesario ya que usualmente este tipo de mezclador es

usado para romper aglomerados de alguna carga de cualquier tipo.

- **Costos.**- El costo de fabricar un mezclador en un tornillo de extrusión es usualmente alto, ya que son necesarios centros de maquinado de control numérico para obtener la exactitud y tolerancias que requiere el proceso de extrusión.

Para el diseño de nuestro tornillo requerimos las siguientes características:

- Alta capacidad de mezclado dispersivo a la salida de la zona de transición, cuando el flujo polimérico está totalmente fundido.
- Un mezclador distributivo al final de la camisa para uniformizar la distribución de las partículas y la temperatura.
- Un sistema de mezcladores dispersivos intermedios para incrementar el cortante y evitar el fenómeno de coalescencia generado principalmente en compuestos que usan cargas de diferente polaridad a la matriz plástica, como en los compuestos con nanoarcillas.
- Bajo costo de fabricación, ya que no se dispone de un fondo excesivo para construir el dispositivo.

Finalmente en el diseño del tornillo, se incorporaron los siguientes mezcladores:

- Un mezclador dispersivo tipo Maddox al final de la zona de transición. Se lo escogió debido a su alta capacidad dispersiva en mezclas aglomeradas y bajo costo de fabricación. (Figura 2.16)



**FIGURA 2.16 MEZCLADOR DISPERSIVO MADDOX
SELECCIONADO PARA EL HUSILLO DE LA EXTRUSORA
FIMCP-ESPOL**

- Tres mezcladores consecutivos en anillo por requerirse altos esfuerzos cortantes para evitar coalescencia (Figura 2.17). En este caso se minimiza la importancia de la caída de presión porque sobre todo, lo que se desea obtener es una correcta acción de mezclado dispersivo.



FIGURA 2.17 MEZCLADOR DISPERSIVO DE ANILLOS SELECCIONADO PARA EL HUSILLO DE LA EXTRUSORA FIMCP-ESPOL

- Un mezclador distributivo tipo romboide a 25 grados de inclinación al final de la camisa para uniformizar la concentración de especies y la temperatura de la mezcla (Figura 2.18)



FIGURA 2.18 MEZCLADOR DISPERSIVO DE ANILLOS SELECCIONADO PARA EL HUSILLO DE LA EXTRUSORA FIMCP-ESPOL

El diseño del tornillo final fabricado se puede observar en la Figura 2.19. Se trata de un diseño híbrido para altas capacidades de mezclado y sobretodo un diseño económico que no incluye mezcladores con gran dificultad de maquinado.

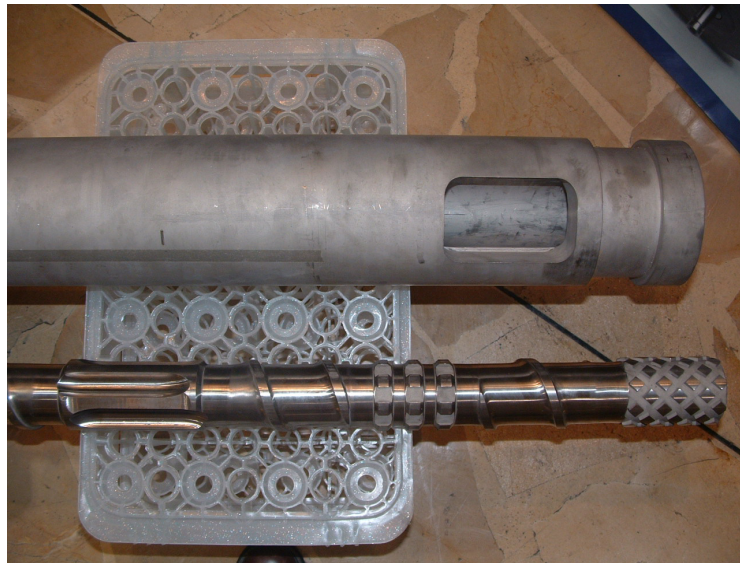


FIGURA 2.19 DISEÑO FINAL DEL TORNILLO DE EXTRUSIÓN PARA LA EXTRUSORA FIMCP - ESPOL

2.1 Compuestos de Polímeros

2.3.1 Tecnologías Existentes

Los requerimientos de muchos productos, especialmente en aplicaciones de empaques, son tales que, un plástico simple no puede dar las características requeridas, comúnmente se utilizan entre 2 o más materiales combinados, hay algún número de técnicas para combinar los polímeros, entre las más

importantes se encuentran las técnicas de Coextrusión, Recubrimiento y Laminación.

2.3.1.1 Coextrusión

Es la técnica utilizada más común para la combinación de dos o más plásticos, utilizando un cabezal simple de extrusión. Existen 2 técnicas principales de Coextrusión, la del bloque de alimentación y la del sistema de colección múltiple.

En la primera los diferentes plásticos son combinados en el modulo del bloque de alimentación (Figura 2.20) y luego pasan a un cabezal regular de extrusión con una alimentación simple, un recolector y una salida. La ventaja de este sistema de bloque de alimentación es que es simple, barata, y permite combinar muchas capas del material. La primera desventaja es que las propiedades del flujo de los materiales utilizados tienen que ser muy similares, para evitar distorsión en la interfase.

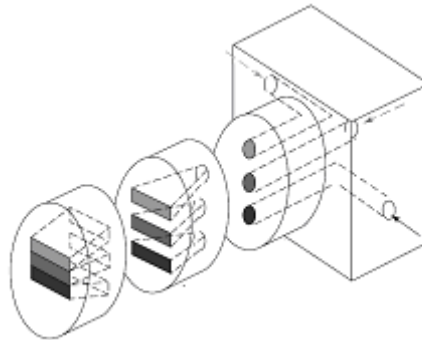


FIGURA 2.20 CABEZAL DE COEXTRUSIÓN DE PERFILES

En el sistema de Colección múltiple, se combinan los diferentes flujos justo antes de salir por el cabezal, para que ocurra la menor cantidad posible de distorsión. La ventaja de este procedimiento es que se pueden combinar materiales con gran variedad en sus propiedades de flujo, como consecuencia existe una gran cantidad de materiales que pueden ser combinados mediante esta técnica. La desventaja principal es que el diseño del cabezal (Figura 2.21) es más complicado y por tal motivo más caro.

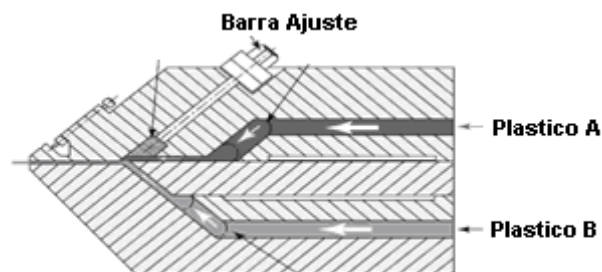


FIGURA 2.21 CABEZAL DE COEXTRUSIÓN DE PELÍCULA PLÁSTICA

2.3.1.2 Recubrimiento

En este procedimiento se combina una capa derretida de película de plástico, con una protuberancia sólida, o algún tipo de rebajador en movimiento. Esta protuberancia puede ser, papel, una laminilla metálica, una película plástica o fabricada; Un esquema de este método de extrusión se muestra en (Figura 2.22)

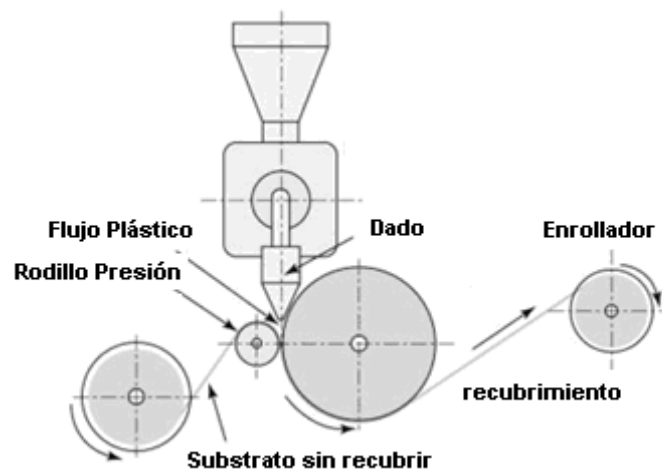


FIG. 2.22 FABRICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS POR EXTRUSIÓN

2.3.1.3 Laminación

Este método contiene dos o más rebajadores, así como papel laminillas de Aluminio, que se los combina mediante el uso de una película de plástico colocada entre los rebajadores (Figura 2.23). Las protuberancias pueden ser precalentadas o tratadas

en su superficie para mejorar la adherencia con la película plástica.

Las hojas o películas extruídas pueden haber sido laminadas de uno o ambos lados, estas películas pueden ser papel, algún tipo de maya, algún tipo de laminilla metálica, o algún número de distintos materiales. La capa de laminado es desenrollada de un rodillo, cuando se combina con la película, inmediatamente es guiado a otro set de rodillos. Luego de la laminación, la película es manejada como una película común.

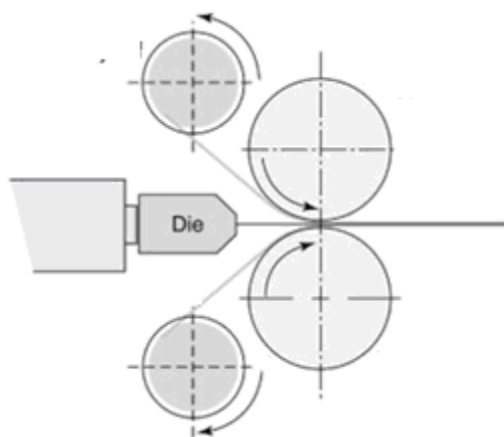


FIG. 2.23 ESQUEMA DE FABRICACIÓN DE LAMINADOS POLIMÉRICOS

2.3.2 Aplicaciones industriales en el Ecuador

En el Ecuador la industria de la extrusión está principalmente dominada por dos mercados: el de la extrusión de tubería y el de la

fabricación de películas y empaques para diversos usos (Figura 2.24).



FIGURA 2.24 TUBERÍAS DE PVC EXTRUÍDAS

Entre otras aplicaciones importantes existentes, tenemos la de extrusión de perfiles de PVC para mobiliario residencial, la industria del reciclaje (peletizado) de las resinas más populares como el polietileno y el polipropileno. Esta última aplicación, aún realizada de manera poco técnica debido al poco estudio que se ha hecho sobre los factores incidentes en la aditivación y mezclas de compuestos plásticos. Este campo dentro de la industria de la extrusión es uno de los que más implicaciones ambientales traen, ya que de acuerdo al desarrollo de la tecnología existente, se pueden utilizar más desechos plásticos para diferentes aplicaciones. En la Figura 2.25 se puede observar un rollo de mono película obtenido por extrusión.



FIGURA 2.25 EXTRUSIÓN DE MONOPELÍCULA

En la Figura 2.26, se puede notar el crecimiento de las importaciones de resinas plásticas de manera que se puede inferir como ha crecido el mercado de los plásticos en el Ecuador, siendo importante que las universidades ayuden a mejorar los procesos existentes.

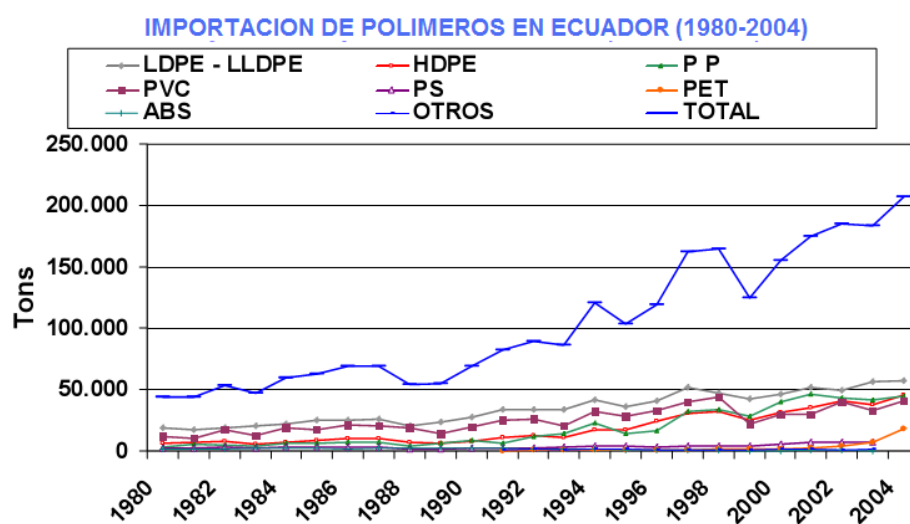


FIG. 2.26 EVOLUCIÓN EN LAS IMPORTACIONES DE PLÁSTICOS EN EL ECUADOR

2.4 Importancia y perspectivas futuras de la industria de extrusión de Plásticos en el Ecuador

En el campo del procesamiento de polímeros el proceso más popular en el Ecuador es el de extrusión debido a la poca complejidad del proceso, continuidad y cantidad de productos que se pueden elaborar. Siendo así, es de suma importancia para las unidades educativas capacitar y generar conocimiento en estas áreas donde se emplea la mayor cantidad de gente involucrada en la industria y en donde el aumento de la competitividad puede ser más relevante en el corto plazo.

En los últimos años muchas compañías han comenzado a desarrollar compuestos plásticos con mejores propiedades con el fin de optimizar la cantidad de resinas usadas, debido a los crecientes precios del petróleo; es así, que el campo del desarrollo de materiales reforzados y aditivados ha emergido con más empirismo que sentido técnico. Con el desarrollo de una adecuada tecnología de fabricación de compuestos se pueden desarrollar otros mercados de valor agregado en el campo del reciclaje, donde las resinas son de un costo mucho menor, como perfilería plástica reforzada con madera o con rellenos minerales o incluso mejorar las propiedades mecánicas de las resinas ya existentes a fin de considerar el uso de cantidades menores de

material para cumplir con las especificaciones técnicas de los productos.

Siendo el Ecuador un país donde la industria petroquímica esta ausente, es menester que se desarrollen métodos de optimización del uso de resinas, así como incrementar las aplicaciones de resinas recicladas con el objetivo de ser más competitivos en el mercado interno y desarrollar productos de calidad internacional, en un ambiente donde los precios de las resinas vírgenes están al alza casi siempre.

Confiamos que con el desarrollo de este y futuros trabajos en la máquina rehabilitada, permitirá aumentar nuestros conocimientos sobre la fabricación de compuestos y permitirá el enriquecimiento en el aspecto técnico de los futuros ingenieros de la industria plástica.

CAPÍTULO 3

3. REINGENIERIA Y OPERACIÓN DE LA EXTRUSORA DE COMPUESTOS DE POLÍMEROS

3.1 Análisis del Husillo del Tornillo

3.1.1 Estimado del Caudal (Q)

Conforme se transporta el polímero a lo largo del tornillo se funde una delgada película en la pared de la camisa. Esto se efectúa por lo común gracias al calor que se conduce desde los calentadores de la camisa, pero puede deberse a la fricción. El tornillo desprende la película fundida al girar. El polímero fundido se mueve desde la cara frontal del hilo hasta el núcleo y luego barre de nuevo para establecer un

movimiento rotatorio enfrente del borde de conducción del hilo. Mientras, se barren otros gránulos o partes sólidas de la masa compactada del polímero hacia el fundido en formación. El proceso continua lentamente hasta que se funde todo el polímero.

Existen flujos de Arrastre, Presión y Fuga dentro del proceso de barrido [5]. El flujo de arrastre (Ecuación 1) conduce al material fundido a lo largo del tornillo como resultado de las fuerzas de fricción. El flujo de presión (Ecuación 2) se opone al flujo de arrastre, es importante comprender que no hay flujo real resultante debido a la presión, únicamente es una oposición. Y el flujo de fuga, es un flujo impulsado por presión, desde luego, también se opone al flujo de arrastre, este flujo se da debido que hay un espacio finito entre la tornilla y la camisa a través del cual se puede fugar el material.

$$Q_{Arrastre} = \frac{1}{2} \pi^2 D^2 NH \cdot \sin \phi \cos \phi \cdot H \dots\dots\dots(1)$$

$$Q_{presión} = \frac{\pi DH^3 \sin^2 \phi}{12\eta} \left(\frac{dP}{dl} \right) \dots\dots\dots(2)$$

El flujo de fuga es pequeño y puede ignorarse al calcular el flujo total. Únicamente tiene significado practico en maquinas

desgastadas en las cuales se vuelve grande el espacio libre que hay entre el tornillo y la camisa.

Se puede encontrar fácilmente que el flujo de salida total Q_{total} (Ecuación 3) sumando las expresiones para el flujo de arrastre y el flujo de Presión. La expresión queda como la Ecuación 4.

$$Q_{total} = Q_{arrastre} + Q_{presión} \dots\dots\dots(3)$$

$$Q_{total} = Q = \frac{1}{2} \pi^2 D^2 N H \cdot \sin\phi \cos\phi \cdot H - \left(\frac{\pi D H^3 \sin^2 \phi P}{12 \eta l} \right) \dots\dots\dots(4)$$

Sin embargo, Timothy Womer de Xaloy Inc. [6] expuso una relación más simple basada en la relación teórica anterior, haciendo constante el ángulo de la hélice en 17.66° , así como asumiendo condiciones típicas de presión y viscosidad para poliolefinas. La relación se muestra en la Ecuación 5 como sigue:

$$Q_{total} = Q = 2.3 \cdot D^2 \cdot H \cdot \rho \cdot N \dots\dots\dots(5)$$

Los valores correspondientes a la geometría del tornillo son:

$$D = 60mm = 2.36"$$

$$\rho = 0.95 \frac{gr}{cc}$$

$$H = 5mm = 0.2"$$

$$N = 80RPM$$

Reemplazando dichos valores en la Ecuación 5:

$$Q_{total} = 2.3 \times 2.36^2 \times 0.2 \times 0.95 \times 80$$

$$Q_{total} = 194.7 \frac{lb}{hr} = 88 \frac{kg}{hr}$$

Que sería el valor teórico del flujo generado por el tornillo, sin tener en cuenta los mezcladores y el dado de extrusión. Se espera así, un flujo de 15% a 20% menor al valor teórico.

3.1.2 Cálculo de Tiempo de Residencia

Es la cantidad promedio de tiempo en la cual el material se encuentra dentro del cabezal [9]. El tiempo de residencia de una mezcla con un cabezal de longitud L puede ser expresado como (Ecuación 6)

$$T = \frac{L}{\bar{u}} \dots \dots \dots (6)$$

$\bar{u}$ = Velocidad promedio de la mezcla.

Se han determinado expresiones para secciones tubulares (Ecuación 7) y para secciones de hendiduras rectangulares (Ecuación 8).

$$T = \frac{\pi LR^2}{Q_{total}} \dots\dots\dots(7)$$

$$T = \frac{LWH}{Q_{total}} \dots\dots\dots(8)$$

En nuestro caso, tenemos una sección tubular por lo que se seleccionará la Ecuación. Para la longitud del canal se usará la longitud de la camisa mas la longitud del dado para dar un indicativo del tiempo de residencia total del fundido dentro de la extrusora. Se indica que en la Ecuación 7, debe reemplazarse el flujo másico como flujo volumétrico

Los valores geométricos en el tornillo serían:

$$L = 1950mm$$

Con respecto al flujo volumétrico, lo obtenemos al multiplicar el flujo másico por la densidad del material a procesarse; en nuestro caso trabajaremos con Polietileno de alta densidad por ser el material con el que mayormente se trabajará:

$$Q = 88 \frac{kg}{hr} \times \frac{m^3}{950kg} = 0.0926 \frac{m^3}{hr}$$

Como el radio del canal es variable, tomaremos un radio ponderado teniendo en cuenta que en los 350mm del dado de extrusión tenemos un radio de canal mayor en algunas zonas

$$R = 65mm$$

Con lo que la Ecuación 7 quedaría como:

$$\bar{t} = \frac{\pi L R^2}{Q_{total}} = \frac{\pi \times 1.950 \times 0.0325^2}{0.0926} = 0.0699hr = 4.1min$$

Que sería el valor del tiempo de residencia promedio en régimen continuo.

El tiempo medido en sitio, fue alrededor de 3.6 minutos, por lo que se tendría un error de alrededor del 12.5%, mismo que atribuimos a las irregularidades del cabezal de extrusión, en zonas donde el canal de extrusión es menor a 65mm, por lo que el tiempo de residencia se reduce un poco.

3.2 Cálculo de Transferencia de Calor

Para iniciar el análisis de transporte de calor a través de los calentadores eléctricos que posteriormente se seleccionarán, definiremos el problema como conducción de calor a través de un cilindro infinito (Figura 3.1). Esta suposición puede ser tomada en vista

que el cilindro cumple con la relación: $\frac{L}{D} \geq 10$

El material de la camisa en un acero al bajo cromo tipo V, de manera que se usará las debidas constantes necesarias en tablas físicas.

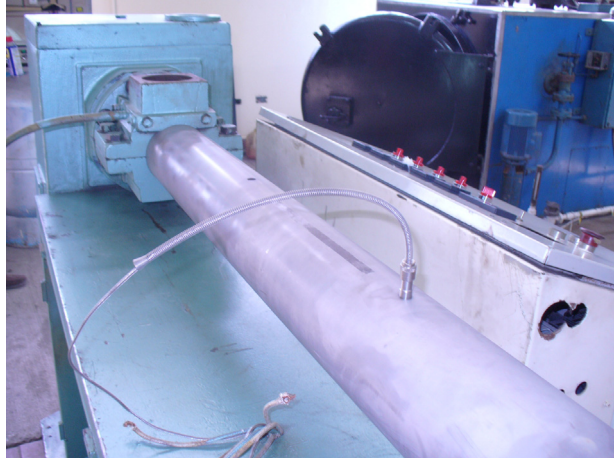
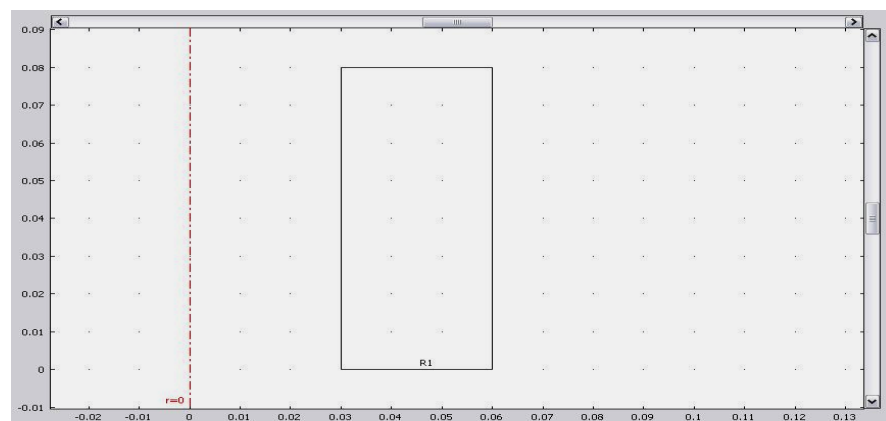


FIGURA 3.1 CAMISA DE LA EXTRUSORA

La geometría de la camisa, a través de la cual se realizará la transferencia de energía se muestra en la Fig. X.



(LA LÍNEA ROJA CON $R=0$ INDICA EL EJE DE LA CAMISA Y EL RECTÁNGULO LA SECCIÓN TRANSVERSAL)

FIGURA 3.2 ESQUEMA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL A ANALIZAR

Se realizará el cálculo por conducción transitoria, ya que es requerido que la camisa se caliente en un tiempo estimado de 20 minutos a la temperatura máxima de proceso de la resina con la que se esté trabajando; asumiremos que dicha temperatura ronda los 400°C.

3.2.1 Cálculo de Potencia Calorífica necesaria

Con las aclaraciones anteriores, primero se verificará que el gradiente de temperatura a lo largo de todo el diámetro útil de la camisa sea despreciable; esto es fácilmente calculable en cuanto se use el número de Biot. El sistema analizado tendría que cumplir con el requerimiento de ser menor a 0.1 de manera que el método de la resistencia despreciable sea válido para el análisis en mención. Matemáticamente (Ecuación 9):

$$Bi = \frac{hL_c}{k} \leq 0.1 \dots\dots\dots(9)$$

Como recomendación en la bibliografía, se puede encontrar que los coeficientes de convección libre están entre 5 y 25 para sistemas gaseosos [7]; para nuestro análisis escogeremos el valor mayor para de cierta manera compensar las pérdidas de calor al medio ambiente. Esto último se realizará simplemente por precaución ya que la camisa será cubierta con una caja de metal de manera que tendrá un cierto grado de aislamiento que la protegerá de las pérdidas energéticas. Teniendo como datos:

$$h = 25 \frac{W}{m^2 K}$$

$$L_c = R_e - R_i = 30mm$$

$$k = 48.9 \frac{W}{m \cdot K}$$

El número de Biot quedaría como:

$$Bi = \frac{hL_c}{k} = \frac{25 \times 0.03}{48.9} = 0.01534$$

De manera que la aproximación por el método de la resistencia despreciable es válida para el caso en mención.

Asumiendo que los gradientes de temperatura dentro del cilindro son despreciables, se puede calcular el flujo de calor necesario que deben suministrar los calentadores a fin de elevar la temperatura del cilindro, mediante la Ecuación 10:

$$Q_c = \rho V c \theta_i \left[1 - \exp \left(- \frac{t \cdot h A_s}{\rho V c} \right) \right] \dots \dots \dots (10)$$

Reemplazando los siguientes datos:

$$\rho = 7836 \frac{Kg}{m^3}$$

$$V = L \cdot \pi (R_e^2 - R_i^2) = 1.6 \cdot \pi \cdot (0.060^2 - 0.030^2) = 1.36 \times 10^{-2} m^3$$

$$c = 443 \frac{J}{Kg \cdot K}$$

$$\theta_i = T_i - T_\infty = 20 - 400 = -380^\circ K$$

$$A_s = \pi DL = \pi(0.060)(1.6) = 0.3016m^2$$

Luego el calor necesario quedaría como:

$$Q_c = (7836) \cdot (1.36 \times 10^{-2}) \cdot (443) \cdot (-380) \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{(1200) \cdot 25 \cdot 0.3016}{7836 \cdot 1.36 \times 10^{-2} \cdot 443}\right) \right]$$

De donde podemos obtener:

$$Q_c = 17810856.5 \cdot J$$

Teniendo en cuenta esa transferencia total de energía, que se colocarán 20 calentadores a los largo de la camisa y que el calentamiento se dará en un tiempo de 1200 seg. La potencia calorífica por calentador eléctrico sería:

$$Q_{calentador} = \frac{Q_c}{20 \times 1200} = \frac{17810856.5}{24000} = 742 \frac{W}{Calentador}$$

3.2.2 Selección de Calentadores

Para la selección propiamente dicha de los calentadores, tendremos en cuenta un factor de sobredimensionamiento debido a la resistencia de contacto entre el calentador y la camisa (F1), el cual no fue considerado. Asimismo, se multiplicará por otro factor considerando el envejecimiento de los calentadores con el tiempo (F2).

Por lo tanto la potencia del calentador a seleccionar debería quedar como la Ecuación 11:

$$Q_{cs} = Q_{calentador} \times F_1 \times F_2 = 742 \times 1.2 \times 1.4 = 1250W \dots\dots\dots(11)$$

Al seleccionar los calentadores se pudo notar que no existían de dicha potencia, por lo que se selecciona la inmediata superior de 1500W.

Siendo así, el sistema de calentamiento eléctrico de la camisa de la extrusora estaría formado por 20 calentadores de 1500W. Con esta potencia aseguramos un rápido calentamiento de la máquina con el fin de acelerar los procesos de fabricación. En la Figura 3.3 se puede observar la máquina con los calentadores montados y energizados.



FIGURA 3.3 EXTRUSORA MONTADA CON SUS RESPECTIVOS CALENTADORES

3.3 Operación de la Extrusora

En el campo de la extrusión de plásticos, es muy importante el hecho de conocer el desempeño de los cabezales de extrusión; esto principalmente a que una extrusora se desempeñará de cierta manera dependiendo de la restricción a que esté sometida. El valor máximo de la restricción en una extrusora depende de muchos factores, pero principalmente la geometría del cabezal o dado de extrusión.

En el desarrollo de esta tesis, nos apoyamos en la utilización de un sensor de presión para determinar la curva Q vs. P a diferentes velocidades del husillo, que es lo se conoce como curvas de operación en el campo de procesamiento de polímeros.

3.3.1 Obtención de Curvas de Operación

Se sabe que la productividad de las extrusoras depende de muchos factores, entre los que podemos mencionar el tipo de material, la temperatura de proceso, condiciones geométricas del tornillo y cabezal, entre otros [8]. Es decir, para el caso de nuestro equipo rehabilitado donde existe un único husillo y cabezal, existirá una curva de operación por cada tipo de material y a la vez por cada condición de proceso que usemos. Las condiciones de proceso particulares que usaremos con

respecto a temperatura serán el típico perfil de temperatura entre 170 y 220 grados centígrados para PEAD, la velocidad que se escogerá será 70rpm.

Por medio del uso de un sensor de presión (Fig. 3.4) y midiendo la cantidad de material que sale del extrusor en kg/hr. Mediremos la variación del caudal con respecto a la presión generada en el cabezal.



FIGURA 3.4 SENSOR DE PRESION DURANTE SU INSTALACION

Para el primer experimento se considerará la extrusión de resina PEAD puro. Los resultados se pueden observar en la Tabla.1:

TABLA 1

**RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DE CAUDAL-PRESIÓN
CON Y SIN CABEZAL USANDO RESINA PEAD
MFI=0.05GR/10MIN PURO**

P (Mpa)	Qext (kg/hr)	Qdado (kg/hr)
0	76	0
21,6	52	52
24,2	48	
50	0	

El primer punto corresponde a la medición de la productividad del extrusor sin estar conectado con el cabezal, como se puede observar corresponde a la mayor medición ya que en este caso el extrusor no está sometido a la restricción que causa el cabezal de extrusión. El punto menor corresponde a la presión de apagado por seguridad que se programó en la máquina la cual se fijo en 50MPa con el propósito de proteger la unión empernada de la boquilla final, la cual a una excesiva presión puede destrozar los pernos e incluso llegar a herir gravemente a cualquier operador del equipo. El punto de intersección (compartido por las dos curvas) corresponde al punto de operación hallado experimentalmente y finalmente existe un punto intermedio que se hallo restringiendo aun más la salida del material por medios manuales mecánicos (taponando 3 agujeros de la boquilla final).

Siendo así, se hallo que la productividad ideal para PEAD con $MFI=0.05\text{kg}/10\text{ min}$ de esta máquina a una velocidad de 70 rpm es de alrededor de 52 kg/hr que corresponde al valor máximo ya que estamos haciendo el experimento con un husillo y camisa nuevas por lo que las condiciones de desgaste son absolutamente despreciables. Este dato es de suma importancia ya que se puede notar cuál es la productividad de nuestra

máquina por resina y en condiciones de fabricación; un monitoreo continuo de esta variable es aconsejable para observar la evolución del desgaste del husillo y camisa especialmente, con la finalidad de evaluar la factibilidad de cambiar el sistema husillo – camisa cada cierto tiempo. En la Figura 3.5 puede observarse la curva de operación para el PEAD con las condiciones especificadas anteriormente.

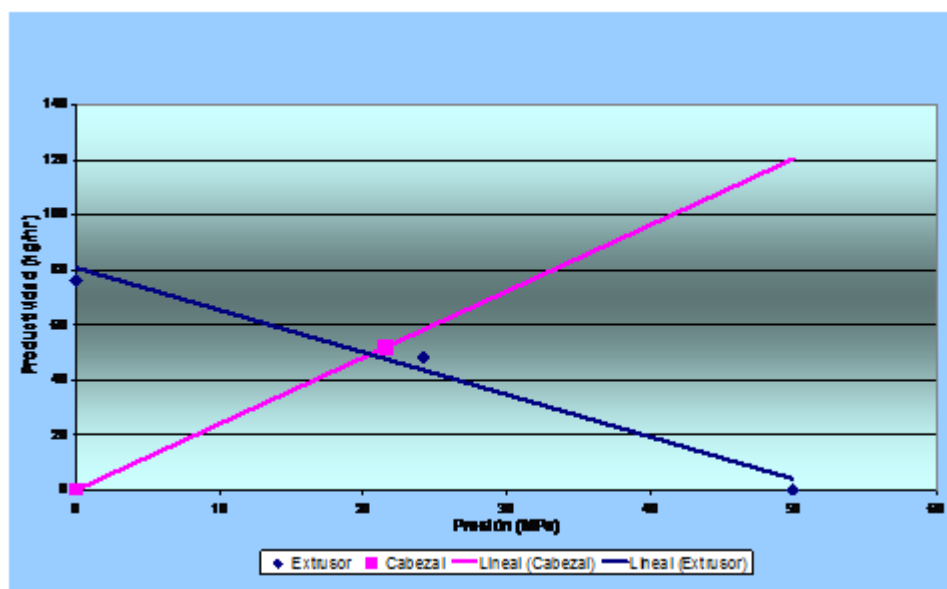


FIGURA 3.5 CURVA DE OPERACIÓN PARA PEAD PURO CON MFI=0.05GR/10MIN A UNA VELOCIDAD DE 60 RPM

El segundo experimento reviste un poco más de importancia debido a que se ha realizado un trabajo en compuestos de PEAD con Carbonato de Calcio, hallándose que la mezcla que posee las mejores propiedades mecánicas de Tensión e

Impacto fue el sistema híbrido con 25% de carga en peso. Siendo así, es interesante conocer cómo cambia la productividad de la máquina usando este material diferente al puro, especialmente por el hecho de que la adición de una carga aumenta la inercia del material, viéndose esto reflejado en el aumento de la viscosidad y el MFI [12]. El experimento se llevará de la misma forma del primero. Los resultados pueden observarse en la Tabla.2.

TABLA 2

RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DE CAUDAL-PRESIÓN CON Y SIN CABEZAL USANDO PEAD REFORZADO CON 25% EN PESO DE CARBONATO DE CALCIO, GRANULOMETRÍA 1.2 MICRAS.

P (Mpa)	Qext (kg/hr)	Qdado (kg/hr)
0	68	0
22,1	46,9	47,2
26,8	40	
50	0	

Donde podemos observar claramente la reducción de productividad, que es uno de los resultados más importantes de este trabajo, ya que con estos datos puede realizarse un balance entre el ahorro que supone el uso de cargas en la fabricación de productos plásticos y la pérdida de productividad que genera la misma utilización de estas cargas. Para el

sistema especificado se halló un punto de operación con una productividad de alrededor de 47 kg/hr como se puede observar en la Figura 3.6, lo que conlleva a una reducción de alrededor de un 9% de productividad con el uso de una carga del tipo especificado. Este dato técnico puede ser usado en trabajos futuros para un análisis de factibilidad de fabricación de productos reforzados con carbonato de calcio.

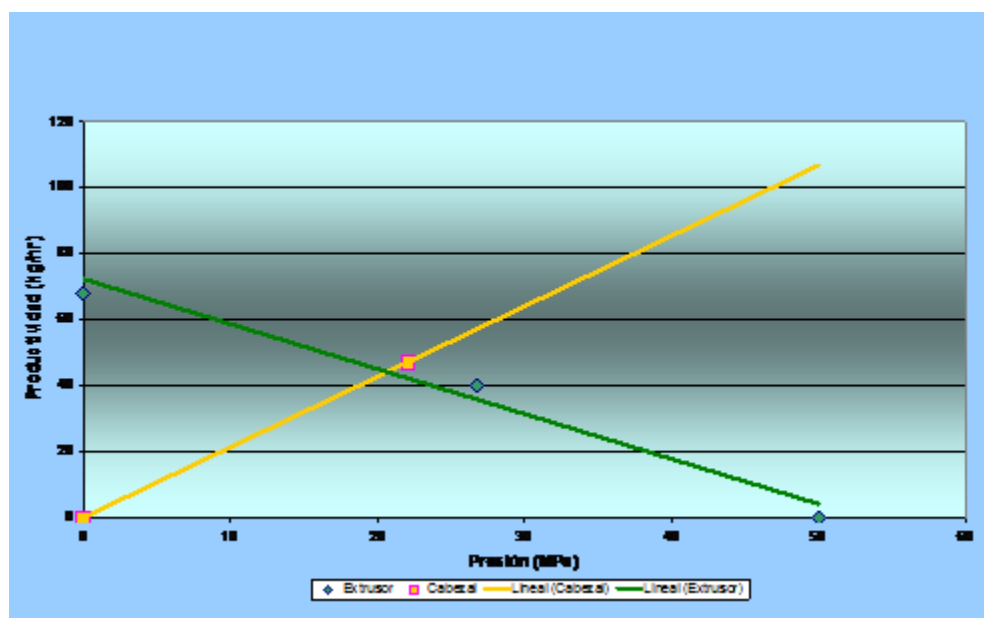


FIGURA 3.6 CURVA DE OPERACIÓN PARA PEAD CON MFI=0.05GR/10MIN REFORZADO CON 25% EN PESO DE CACO3 A UNA VELOCIDAD DE 60 RPM.

En la Figura 3.6 se puede observar el proceso de realización del experimento.

3.3.2 Manual de Operación

Existen tres pasos que se deben seguir para poder hacer funcionar a una extrusora: preparación de la maquina, operación actual y apagado.

Se deben revisar un número de puntos antes de encender una extrusora. Entre los principales puntos se debe tener en cuenta:

- Asegurarse que se tiene el compuesto requerido disponible.
- Revisar contaminación.
- Asegurarse de que hay suficiente material para extruir la cantidad de producto requerido.
- Asegurarse si el material debe secarse, y por cuánto tiempo.
- Si no se tiene la información de capacidad de secado disponible, puede ser posible hacer el proceso en una extrusora con ventilación.
- Si se utilizan diferentes tipos de plástico, utilizar primero los de baja temperatura que los de alta, los de colores más claros antes que los de colores oscuros, y los plásticos de alto nivel de mezcla antes que los de bajo.
- Algunos plásticos, especialmente los fluoropolímeros, dejan expuesta a la extrusora a un ambiente corrosivo; para estos plásticos, se deben utilizar materiales resistentes a la corrosión en el

tornillo, camisa, y en los otros componentes que se encuentran en contacto con la mezcla de plástico caliente derretida.

Se deben listar las importantes condiciones de proceso en una hoja de encendido; esta debe ser preparada antes de que se encienda la extrusora. Esta hoja debe contener los siguientes puntos:

- Cual extrusora va a ser utilizada.
- La temperatura de la camisa y del cabezal.
- El tornillo de extrusión.
- El panel de control.
- Las herramientas del cabezal para la extrusora.
- El nivel de vacío en los puertos de ventilación en un proceso de extrusión ventilada.
- Equipo necesario para el drenaje.
- La velocidad de funcionamiento.
- Las temperaturas de las partes frías.
- Las dimensiones y especificaciones del producto extruido.

La hoja de encendido de la extrusora debe tener también instrucciones especiales para el operador. En esta hoja debe estar claramente especificado para el operador, la información del material que se debe utilizar al inicio del proceso. Esto es muy importante para evitar que el operador cometa un error en el proceso de alimentación.

3.3.2.1 Preparación para el encendido

Antes de encender la extrusora, asegurarse que la velocidad del tornillo se encuentre en cero. Luego encender el breaker de la maquina. Colocar la temperatura apropiada para el plástico en la camisa y en el cabezal (Figura 3.7). Si se desconocen estas temperaturas, se deben utilizar las siguientes recomendaciones: Para materiales semicristalinos, colocar las temperaturas de la camisa del centro y del final en 50°C sobre el punto de cristalización de la mezcla. En el caso de que se utilice HDPE que se funde a 130°C, las temperaturas de la camisa del centro y del final deben colocarse en 180°C. Para plásticos amorfos, la temperatura de la camisa del centro y del final debe colocarse a 100°C sobre la temperatura de transición de cristalización.



FIGURA 3.7 PANEL DE TEMPERATURAS DE LA EXTRUSORA FIMCP-ESPOL.

Encender el enfriador para alimentar la tolva; esto es importante para prevenir problemas en el encendido. Revisar si las temperaturas de la camisa y del cabezal llegan a los puntos deseados. Si no se da este caso, el control de temperatura no puede estar funcionando correctamente.

Cuando la temperatura de la camisa y del cabezal haya alcanzado las temperaturas deseadas, dejar 20 a 40 minutos que el calor se transfiera a la extrusora. Mientras que ciertas zonas alcanzan el nivel de temperatura deseado, puede haber partes de la extrusora que aun no hayan llegado a esas temperaturas.

NO encender la extrusora antes de que se haya precalentado. Un arranque en “frío” puede ser muy peligroso debido a que se pueden producir muy altas presiones y pueden provocar un accidente. Las presiones pueden subir muy rápidamente y hacer explotar el cabezal. Esta es la razón por la cual la extrusora debe estar equipada con un dispositivo para sensor presión.

Si se enciende la extrusora con partes de plástico aun en su interior, las temperaturas producidas pueden provocar descomposición del plástico. Esto puede causar descoloración del plástico. En un caso más grave, se puede generar un gas, produciendo una presión tan alta que podría hacer explotar el cabezal con el plástico.

Tener cuidado con las partes de la extrusora que contiene componentes de plástico, debido a que con el calor producido pueden llegar a dañarse, por esto se recomienda encenderlas después de haber encendido la extrusora.

3.3.2.2 Encendido de la Extrusora

Si se maneja plástico susceptible a degradación, utilizar al comienzo plástico lo menos degradado posible. Este procedimiento recubrirá las superficies internas de la extrusora con capas más resistentes al calor y reducirá la oportunidad de mayor degradación.

Cuando una extrusora se encuentra apropiadamente precalentada, colocar la velocidad del tornillo en velocidades entre 5 y 10 rpm y abrir la garganta de alimentación para permitir el paso del material a la extrusora (Figura 3.8).



FIGURA 3.8 INTRODUCCIÓN DEL MATERIAL A LA EXTRUSORA

Cuidadosamente observar la carga que aguanta el motor y la presión que soporta; en el caso de que se sobrepasen estos parámetros del motor, apagar la extrusora inmediatamente. Una vez que el material sale del cabezal, el plástico puede ser guiado a través del equipo de evacuación y ser cortado.

En la mayoría de los casos, suelen existir atascamientos en la garganta, la tolva se llena hasta cierto nivel, y la extrusora arrastra tanto material como proviene de la tolva.

En algunos casos, se puede utilizar un controlador de alimentación, el plástico es introducido dentro de la garganta sin ningún tipo de acumulación. La tasa de alimentación regulada de la extrusora es siempre menor que a la de la capacidad del flujo de la maquina. Algunas veces puede ser beneficioso encender la maquina con este tipo de regulación. Esto puede prevenir sobrecargas del motor y problemas de alimentación; en este caso la salida del producto de la extrusora está determinada por la tasa de alimentación que proporciona el tornillo.

Si la carga y presión del motor se encuentran dentro de los parámetros normales, incrementar gradualmente la velocidad del tornillo, hasta alcanzar la velocidad deseada. Conforme se incrementa la velocidad del tornillo, la línea de producción también

tiene que irse incrementando de acuerdo a las dimensiones del producto requeridas.

3.3.2.3 Operación actual

Los parámetros más importantes a monitorear en la operación actual son la temperatura y presión de la mezcla, las dimensiones del producto, y la velocidad de encendido. Lo mejor es monitorear estos parámetros antes del proceso mediante una carta de control, o mejor aun con un sistema de adquisición de datos (DAS) con capacidad de análisis. Esta herramienta nos permite obtener las variaciones de los parámetros del proceso en función el tiempo. Determinan los límites de mayor y menor temperatura de la mezcla, la presión de la mezcla, las dimensiones del producto y velocidad de encendido.

La mejor calidad del producto, se logra alcanzar usualmente cuando se usa la completamente la línea de control (fig6.6). Esto requiere logra realizar la medición del producto y hace ajustes automáticos en caso de ser necesarios.

Otros parámetros importantes a monitorear en el proceso durante la extrusión son:

- Temperaturas de la camisa.

- Carga del motor.
- Velocidad del tornillo.
- Potencia generada por los calentadores.
- Tasa de enfriamiento en diferentes zonas de temperatura.
- Línea de tensión.
- Condiciones de enfriamiento en la salida.

Si la extrusora experimenta presión y fluctuaciones a la salida, quizás deba ajustar alguna condición en la línea de proceso para mejorar la estabilidad. Un parámetro de proceso que afecta seriamente la estabilidad de este, es la temperatura de la camisa en la garganta. Se puede cambiar la temperatura de la garganta, para minimizar las fluctuaciones en el cabezal.

3.3.2.4 Apagado

Antes de apagar la Extrusora, asegurarse de que se haya extruído la cantidad de material deseado y que cumpla con las especificaciones. El apagado se puede hacer de tres maneras:

1. Con el sistema lleno.
2. Sin material en el tornillo, pero si en el cabezal.
3. Con el sistema completamente vacío.

Si el sistema se encuentra lleno, es una buena idea cortar la alimentación de la tolva, para vaciar la garganta. Esto reduce la oportunidad de que se presenten problemas de alimentación cuando se encienda la maquina nuevamente. Después de que el tornillo se apaga, dejar la maquina en reposo durante 10 a 20 min.

Si se deja el sistema sin material en el tornillo, pero si en el cabezal, se reduce la posibilidad de que existan problemas al inicio de la alimentación cuando se la encienda nuevamente, y permite remover el tornillo del cabezal para realizar alguna inspección o mantenimiento.

Cuando el sistema queda completamente vacío, se debe limpiar el cabezal lo más rápido posible. En la mayoría de los casos el plástico es removido más fácilmente cuando se encuentra caliente. Si el plástico no se remueve rápidamente, deberá ser removido por quemado o algún tipo de procedimiento similar. Asegurarse de utilizar gafas de protección y guantes resistentes al calor cuando se vaya a remover el plástico caliente de las superficies metálicas.

3.3.2.4.1 Purga

Es posible dejar plástico en la camisa y/o en el cabezal si el plástico tiene buena estabilidad térmica. Sin embargo, si el plástico

tiene una estabilidad térmica pobre, el sistema deberá ser limpiado completamente. Se puede remover el tornillo con un empujador de tornillo, si es que este es muy largo, se puede usar un remolque para remover el tornillo de la extrusora. Hay que tener cuidado de no dañar el plato de distribución, debido a que este es una superficie crítica de sellado.

Cuando se remueve el tornillo, se debe limpiar este y la camisa. La camisa puede ser limpiada con una brocha larga de alambre o con un taladro eléctrico. El tornillo puede ser limpiado también con una brocha de alambre. El proceso de remover el tornillo puede hacérselo de una manera más fácil, se puede extruir una maya de cobre desde la garganta hacia el área de descarga de la camisa, sin el cabezal. Otro método para facilitar el removido del tornillo, es añadir cera cristalina o velas, en la garganta, y hacer girar el tornillo algunas veces.

Asegurarse de usar herramientas suaves de limpieza para el cabezal y la camisa, de lo contrario las superficies metálicas se pueden rayar; usualmente se utiliza latón para este propósito. Si el plástico es muy difícil de limpiar, se puede usar un agente de purga. Los agentes de purga trabajan por ambas acciones, tanto físicas como químicas. Los purgantes físicos, son plásticos de alta

viscosidad, que usualmente contiene filtros para proveer una acción limpiadora. Dos purgantes físicos comunes son, moldes de acrílico y compuestos basados en polietilenos.

Los purgantes químicos usualmente utilizan una reacción térmica para extraer los residuos de plástico de la extrusora. Puede producirse una reacción espumosa al mismo tiempo, la cual ayuda al plástico a expandirse y hacer su removida más fácil. Los agentes purgantes químicos, vienen en forma de polvos o en pellets concentrados. Después de cambiar la camisa, dejar unos 10 a 15 minutos en un ciclo de flujo de calentamiento para desintegrar parcialmente los residuos de plástico.

Existen ciertas combinaciones con estos purgantes que no se deben hacer, por ejemplo, el policarbonato no puede ser purgado con ABS o Nylon. Así mismo, Acetal no puede ir con PVC. Se debe consultar con el proveedor acerca de los materiales purgantes que pueden ser utilizados con cierta clase de plásticos, y seguir esas recomendaciones.

3.3.2.5 Sugerencias de Seguridad

En extrusión, las altas presiones y temperaturas, pueden provocar ciertas precauciones respecto a la seguridad. Es muy importante

tener procedimientos escritos, para el encendido, arranque, apagado y limpieza de la extrusora. Estos procedimientos deben ser comunicados claramente a todo el personal de operadores, y debe ser seguido estrictamente. Los peligros de seguridad más comunes en extrusión son el calor, las partes móviles, electricidad, pesos y altas presiones.

3.3.2.5.1 Calor

Cuando se trabaja con partes calientes, se deben utilizar guantes resistentes al calor y otras protecciones como lentes y zapatos de seguridad. Hay que ser muy cuidadoso con el plástico caliente. Debido a que el plástico se enfría muy lentamente, este puede causar quemaduras si se tiene contacto con la piel, las superficies calientes deben estar señaladas con barreras o avisos de seguridad.

3.3.2.5.2 Partes Móviles

Las partes móviles deben estar protegidas del contacto del operador con estas. Estas partes deben estar conectadas a un sensor el cual apague la maquina cuando se quite la protección. Todas las extrusoras deben estar equipadas con paradas de emergencia, que apaguen el tornillo. Medidas similares se deben

tomar para drenar la maquina. No se deben usar collares o prendas de vestir holgadas, ya que pueden ser capturadas por alguna parte en movimiento, y usar sujetadores de cabello o no tener cabello largo.

3.3.2.5.3 Electricidad

Cuando se va a instalar o construir un sistema eléctrico en las extrusoras, estos deben cumplir con códigos eléctricos. Toda instalación eléctrica debe mantenerse en buen estado. Deben evitar el contacto con partes de plástico caliente, con cables resistentes. Los calentadores deben estar sellados, todos los cables deben estar enterrados, y la integridad de la superficie debe ser revisada periódicamente.

Arreglar todas las filtraciones de agua y limpiar cualquier salpicadura de agua. Ser especialmente cuidadoso con los dispositivos de alto voltaje. En el manejo de películas y planchas, se debe estar alerta con la electricidad estática; se deben utilizar eliminadores de electricidad estática cuando sean necesarios. Debe existir un interruptor de parada de emergencia, junto a la garganta de alimentación o a la abertura del compartimiento. Las partes de cableado eléctrico que no necesiten herramientas para abrir, deben estar entrelazados con su fuente de energía.

3.3.2.5.4 Pesos

Los componentes de la extrusora como los tornillos y cabezales, son un poco pesados. Tratar el manejo de estos con maquinaria necesaria, en caso de necesitarla. No cargar los elementos por encima de la cabeza y no colocarlos sobre cajas o rodillos muy altos.

3.3.2.5.5 Presión

Bajo ciertas condiciones, se puede desarrollar una presión excesiva en la extrusora. Esto puede pasar si el tornillo de la extrusora no está girando. Algún plástico, así como Acetal y fluoruro de Polivinilo, liberan gases cuando el plástico es dejado en la maquina a altas temperaturas. Cuando la presión del gas no puede escapar, la camisa puede explotar, o el molde de plástico puede salir disparado por el cabezal, por la ventila o por la garganta de alimentación.

Es importante darse cuenta que las temperaturas de los plásticos dentro de una extrusora, pueden mantenerse por mucho más

tiempo después que se baja la temperatura de la extrusora, especialmente en extrusoras de gran diámetro.

Debido a que muchos accidentes pueden ocurrir cuando se produce excesiva presión, la extrusoras deben estar equipadas con dispositivos de liberación de presión. Estos pueden ser, un disco de ruptura, o un pin atado al cabezal. Es igualmente importante tener una medida de la temperatura de la mezcla, con una alarma de presión alta y apagado automático.

3.3.2.6 Inspección y Entrenamiento

Es responsabilidad del empleador, establecer y seguir el programa de inspecciones periódicas de la extrusora, para asegurarse que todas las medidas de seguridad están en condición de operación. El empleador debe también, entrenar a los operadores respecto a las operaciones de seguridad de manejo de la extrusora, antes de permitirles trabajar en una. Un programa de entrenamiento debe incluir los siguientes 4 pasos:

1. Decirles a los trabajadores como realizar su labor de forma segura.
2. Enseñarles la manera para hacerlo.
3. Incentivarlos a realizar preguntas.

4. Que demuestren que saben realizar las tareas de manera segura.

Tres reglas importantes del entrenamiento de seguridad:

1. Nunca asumir que los empleados saben hacer una nueva tarea.
2. Deben darles recordatorios frecuentes de cómo hacer las tareas en forma segura.
3. Nunca asumir que las reglas de seguridad ya están aprendidas.

Es una buena costumbre tener inspecciones frecuentes de seguridad. El objetivo es identificar, la mayor cantidad de peligros a la salud como sea posible antes de que se provoquen los accidentes.

CAPÍTULO 4

4. PLAN DE MANTENIMIENTO DE LA EXTRUSORA

Llevar un eficiente plan de mantenimiento, es un factor muy importante en el proceso de extrusión. EL mantenimiento preventivo es una poderosa herramienta para minimizar las pérdidas de tiempo. No nos indica que no vamos a tener problemas con al extrusora, pero si minimiza la oportunidad de mayores contratiempos que puedan producir paradas en la producción. Una herramienta muy importante en las actividades de mantenimiento, es tener un Software de Mantenimiento.

En el mercado existe un gran número de Software disponibles, incluyendo paquetes de propósitos generales, como es el PMEWS de KWN Coolware, y paquetes dirigidos especialmente para operaciones de procesamiento de plásticos.

Chequear el aceite

La condición del aceite lubricante, es uno de los indicadores más claros de la salud de la caja de engranes de la extrusora. La contaminación o un nivel bajo de aceite, pueden provocar fácilmente daño críticos en las partes de la maquina. No es común que las altas temperaturas y presiones del aceite caliente sean síntomas de detención del proceso. Es una buena costumbre medir la temperatura y presión del aceite para, tener alarmas para estos parámetros. Niveles altos en la presión y temperatura no necesariamente son indicadores de algún mal funcionamiento en la caja de engranes, debido a que pueden ser provocadas por algún filtro en mal estado, o simplemente por suciedad del aceite. El aceite de la maquina debe ser cambiado periódicamente, o al menos cada 1500 horas de trabajo de la maquina.

Cuando se cambia el aceite, es importante revisar el remanente. Si se encuentran partículas de bronce o de metal, puede ser un indicador de que está fallando algo en el anillo de seguridad, mientras que las partes metálicas pueden indicar de que hay un problema en los cojinetes o en

algún diente de los engranes. Es también importante monitorear la temperatura de los cojinetes en la carcasa de la caja de engranes, particularmente en la entrada, en el medio y a través del eje.

Una posibilidad de la alta temperatura en el aceite o en el sistema de refrigeración, es que hay poca transferencia de calor, respecto a las escalas correspondientes. Una escala comercial puede mejorar significativamente la eficiencia de la transferencia de calor.

Ruidos inusuales

Ruido excesivo en la entrada, en el medio o en los cojinetes del eje indican que alguna parte está defectuosa, y que solamente causará más daño si no es cambiada rápidamente. Lo mismo se aplica para sonidos inusuales en la caja de engranes, en la bomba de aceite o en las bandas.

Es importante saber que cojinete se debe cambiar, en caso de problemas con estos. Si se escucha un sonido cíclico, contabilizar el número de ciclos por revolución del eje de seguridad, el problema puede ser algún engrane intermedio, o algún engrane de alta velocidad o en el cojinete intermedio del eje. Si el ruido tiene ciclos de aproximadamente 20 ciclos por revolución del eje, indica un problema

en el eje de entrada de alta velocidad. El monitoreo de vibraciones puede darnos un análisis más detallado del sistema motriz.

Monitoreo de Vibraciones

La técnica de monitoreo de vibraciones, es muy útil para el análisis de los problemas en las maquinas. Los sistemas de análisis de vibraciones analizan los sonidos de los cojinetes de rodadura y de los engranes, para determinar los sonidos que están presentes, estos indican fallas independientes en los elementos de las maquinas. Estos sistemas se usan comúnmente en extrusoras muy largas.

Los sistemas de monitoreo de vibraciones, son útiles para al menos dos propósitos. Primero pueden alertar al personal de planta, sobre algún cojinete o engrane roto, antes de que una falla catastrófica ocurra, lo que ayuda a minimizar el costo de reparación y las paradas de la producción. Es posible detectar problemas en la caja de engranes un mes antes de que el problema sea fatal; Segundo, El monitoreo permite realizar las tareas de mantenimiento cuando son necesarias. No se pierde tiempo de producción en el desmonte de la caja de engranes cuando no es necesario reemplazar ninguna parte. Considerando el alto costo de las paradas de producción en extrusoras grandes, en el rango de 200 a 400 mm, puede ser

económico usar un sistema de monitoreo de vibraciones para minimizar las paradas en el sistema de producción.

El elemento sensor es un acelerómetro, este puede estar montado o pegado a la carcasa. El principal elemento del sistema de monitoreo de vibraciones, es el modulo de análisis.

Motores y Bandas

Los motores de corriente directa, necesitan más mantenimiento que los de corriente alterna. Los primeros síntomas de problemas en el motor, son ruido excesivo, daño en las bujías, decoloración en la carcasa, alta temperatura, flujo de aire inadecuado, y vibración. Muchos motores pueden estar tapados con polvo. Estar pendiente sobre la revisión de acumulación de polvo en la carcasa del motor, principalmente cuando se trabaja con PVC flexible. Si la maquina no está ventilada, se puede adherir una película pegajoso en el motor, reduciendo su eficiencia, y causando su falla posteriormente.

Una manera rápida de revisar la tensión en las bandas, es deflectándolas en media vuelta con el pulgar. Si la tensión de las bandas es correcta, no se debe deflectar más de 12 mm. Revisar todas las bandas en busca de, rajaduras, roturas o dobladuras, y reemplazar las correas dañadas; asegurarse de cambiar todo el juego de bandas. Una vez instaladas las nuevas bandas deben

ajustarse durante el primer mes de operación, hasta constatar el buen funcionamiento.

Partes Sueltas

Es usualmente buena idea, tener un tornillo extra disponible para cada extrusora. Es importante tener en bodega relés para el motor (para motores de corriente directa), bandas, y fusibles. Otras partes importantes que se deben tener disponibles son, aceite extra y filtros de aire, pantallas, calentadores del cabezal, sensores de temperatura de la camisa, y cabezal, solenoides, anillos de ruptura, sellos, mangueras y uniones.

Tornillo y Camisa

Los daños en el tronillo o en la camisa, comúnmente son una pérdida considerable en la producción. El desgaste del tornillo y la camisa, usualmente es reflejado como un incremento en la temperatura de la mezcla y fluctuaciones en la presión de descarga de la extrusora. Los tornillos usualmente se desgastan más rápidamente que las camisas. Cuando se trabaja con compuestos abrasivos, el tornillo y la camisa se deben revisar más frecuentemente.

La parte trasera del tornillo se asienta en un agujero de seguridad, en el ensamble de la caja de engranes, recuerde que también se debe limpiar este acoplamiento. La contaminación en este lugar, cause que el tornillo trabaje de una manera excéntrica, y que desgaste los acoplamientos, la sección de alimentación y la línea de la camisa. Se debe lubricar esta área antes de instalar el nuevo tornillo.

4.1 Plan de Mantenimiento Integral de mantenimiento de la Extrusora

Es de gran importancia para la educación y para la industria general, la introducción de las principales tareas de mantenimiento que se deben llevar a cabo con el fin de preservar el mayor tiempo posible los activos [11]. Dentro de este capítulo, en base a una revisión bibliográfica de algunos textos [11] [13] y experiencia, finalmente se decidió subdividir las tareas de mantenimiento en 3 partes: Mensual, Cuatrimestral y Anual. Estas tareas de mantenimiento tienen la intención de especificar las principales partes o elementos que suelen fallar a lo largo del ciclo de vida de las extrusoras; por otro lado, se complementan con los formularios de Requerimientos de Mantenimiento, que es un documento en el que se solicitarán materiales o insumos luego de realizar los chequeos o revisiones especificados en los Checklist.

Estas listas de mantenimiento deberán ser llenadas en las fechas especificadas de manera que se garantice la confiabilidad del equipo en todo momento.

4.1.1 Checklist Mensual.

Para el desarrollo de esta sección hemos considerado las siguientes tareas:

- a) Verificar que la bomba del reductor lleve aceite a todos los rodamientos.-** Es importante una revisión continua de la bomba de aceite del reductor de velocidad, ya que al interrumpirse esta tarea se corre el riesgo de tener falla en los rodamientos del reductor de velocidad. El cambio de rodamientos o cualquier elemento del reductor de velocidad exige gran cantidad de tiempo muerto de producción.
- b) Verificar visualmente la ausencia de materiales extraños en la camisa del motor.-** El fundido de pellets de plástico dentro de la carcasa del motor puede ocasionar daños en el aislamiento del motor.
- c) Asegurarse de que las bandas estén colocadas correctamente y con la tensión necesaria.-** Esto puede

ocasionar una baja en la eficiencia de transmisión de potencia y falla prematura de las bandas.

- d) Verificar que la temperatura de la zona de alimentación no exceda los 70 grados Celsius.-** Una excesiva temperatura en la zona de alimentación puede causar el fundido repentino del material y el bloqueo del canal de alimentación. Es por esto, que la mayoría de extrusoras se diseñan con canales de enfriamiento en la zona de alimentación.
- e) Asegurarse de que el nivel de agua de alimentación de la torre de enfriamiento este al nivel de la válvula de retención.-** Si la bomba de agua de la torre de enfriamiento no tiene agua que tomar, todo el sistema de enfriamiento de la máquina puede fallar. Por lo que es muy importante esta variable que nos garantiza la estabilidad y continuidad del proceso de extrusión.
- f) Verificar la productividad normal de la extrusora a una velocidad determinada.-** Verificar constantemente esta variable, puede llevarnos al análisis de fallas integral de la máquina. Es de suma importancia tomar el registro de la

productividad de la extrusora para las diferentes resinas con las que se trabaje, a fin de que sea el punto de referencia de posibles desgastes o fallos en el equipo.

g) Limpiar el filtro o toma de aire del ventilador del motor.-

Esto puede causar problemas de calentamiento en el motor eléctrico.

h) Verificar que el control de apagado por sobrepresión

funcione correctamente.- Por seguridad, es importante realizar este monitoreo cada mes, para verificar que el equipo se apague a la presión programada.

i) Verificar que la documentación de encendido y apagado

esté junto al equipo y perfectamente legible.- Revisar que la guía de encendido y apagado del equipo se encuentren disponibles para cualquier persona que use el equipo y asimismo que se encuentre en excelente estado.

j) Asegurarse que los sensores de las termocuplas estén

haciendo contacto de manera correcta.- Verificar que éstas hagan el contacto necesario para garantizar una medida más correcta de la temperatura.

En los anexos se puede observar el formulario del *Checklist Mensual*, así como el formulario de Requerimientos de Mantenimiento, en caso de necesitarse insumos o elementos de reposición. Estos documentos quedarán establecidos en los procedimientos de Mantenimiento de la Extrusora FIMCP-ESPOL

4.1.2 Checklist Cuatrimestral.

Las tareas encargadas de chequeo cuatrimestral son las siguientes:

a) Chequear el funcionamiento correcto del ventilador del motor eléctrico

Revisar esto para evitar el calentamiento excesivo del motor.

b) Verificar que no se produzcan chispas en las escobillas del motor

Si es que el motor es de corriente directa.

c) Chequear la temperatura del motor, no debe exceder los 65 grados Celsius

Si excede esta temperatura, probablemente se tenga problemas con el aislamiento del motor, falla en los rodamientos o problemas con el soplador.

d) Verificar que la temperatura de la zona de alimentación no exceda los 70 grados Celsius

El aumento excesivo de temperatura puede ocasionar el bloqueo de la zona de alimentación con material fundido; es muy importante el monitoreo constante de esta zona.

e) Asegurarse que la vibración del motor no sea excesiva.-

Una vibración excesiva, generalmente es señal de que los rodamientos están comenzando a tener problemas. Con esto se puede planificar para que el cambio de los mismos no interrumpa tareas de producción importantes.

f) Verificar si el canal de enfriamiento de la zona de alimentación de la camisa está limpio y está fluyendo agua.

Esta revisión se realiza para asegurar un buen flujo de agua a la camisa de la extrusora para garantizar un eficiente enfriamiento.

g) Verificar el amperaje de todos los calentadores eléctricos

Este amperaje tiene que ser el mismo indicado en la placa del calentador. Con esto se verifica que el calentador no esté degradado.

h) Verificar que la temperatura de los ventiladores de enfriamiento de la camisa no sea excesiva

Para garantizar el buen desempeño del sistema de calentamiento – enfriamiento de la extrusora.

i) Inspección visual de estado de los engranajes del reductor de velocidad

En busca de engranes picados o fallas puntuales en la superficie de los mismos.

j) Revisar el aceite del reductor de velocidad en busca de partículas extrañas

Para esto se debe tomar 2 muestras y realizar el análisis en busca de partículas metálicas o de otros materiales extraños.

k) Verificar y registrar el desgaste del tornillo y la camisa de la extrusora.

Esta tarea se debe realizar cada 4 meses y llevar un registro de la evolución del desgaste en función de los tipos de materiales con los que se ha venido trabajando con el

equipo. Esto ayudará a la compañía a ganar experiencia sobre cuando es el mejor momento para cambiar el husillo, de manera que se tenga equilibrio entre la economía y la eficiencia del proceso.

l) Lubricar el acople del tornillo con el eje hueco del reductor de velocidad

Se debe realizar esta labor cada vez que se desmonta el tornillo de extrusión para registrar el desgaste; la presencia de material extraño en esta zona puede causar excentricidad en el giro del husillo y aumentar el desgaste.

m) Revisar la placa rompedora en busca de fallas por fatiga

Monitorear si existe una deflexión considerable en este elemento que al fallar puede causar taponamiento del canal de flujo y mucho tiempo muerto de producción.

n) Verificar la respuesta correcta del sensor de presión al variar las lecturas

El tiempo de respuesta debe ser de 5 segundos como máximo.

o) Limpieza general del panel de control

Con el fin de evitar cortocircuitos o incrementar la resistencia de los elementos.

p) Revisar el ajuste de los empalmes eléctricos, contactores y fusibles

Para asegurar el correcto contacto de los elementos.

q) Verificar el correcto funcionamiento del ventilador del panel de control

Con el fin de evitar sobrecalentamiento del sistema de control.

r) Revisar el sistema de cableado de calentadores, termocuplas y sensor de presión

Generalmente este cableado suele aflojar sus uniones debido a la manipulación externa o pequeños accidentes en la reparación de otros elementos externos de la extrusora.

s) Limpieza general de la cisterna y torre de enfriamiento

Con el fin de evitar el taponamiento de las tuberías por impurezas biológicas o no biológicas. Se aconseja que luego de la limpieza, cada 4 meses, agregar aditivos para el agua que impiden el crecimiento de flora biológica.

t) Revisar el sistema de tuberías de agua de enfriamiento

Para reparar cualquier tipo de fuga o daño externo que tengan las tuberías de agua.

4.1.3 Checklist Anual.

Para el mantenimiento anual, se consideran oportunas las siguientes tareas:

a) Desmontaje de sellos y rodamientos del reductor de velocidad.

Cada año se aconseja desmontar el reductor de velocidad, para inspeccionar el estado de los rodamientos y sellos. En caso de observarse daños significativos, se deben reemplazar y asimismo llevar un registro del número de horas de trabajo de cada uno de los rodamientos a fin de llevar un estimado del tiempo en que se deben reemplazar para propósitos de mantenimiento predictivo.

b) Inspección de sellos y rodamientos de las bombas

Se aconseja una vez al año la inspección de las todas las bombas, especialmente la de la torre de enfriamiento.

c) Desmontaje de transmisión de motor de cortadora de pellets

Realizar esta tarea cada año para verificar el estado de las bandas y rodamientos.

d) Limpieza general de la bomba de aceite del reductor de velocidad

e) Cambio de aceite del reductor de velocidad

Según las especificaciones del fabricante.

f) Cambio de rodamientos del motor eléctrico y lubricación

Se aconseja realizar esta labor al menos una vez al año, ya que los rodamientos del motor son los que están más expuestos a las cargas cíclicas.

g) Verificar el ajuste de los terminales del motor y revisar el estado del aislamiento

h) Inspección visual del grado de desgaste en la zona de alimentación de la camisa de la extrusora.

i) Desmontaje y Registro de las medidas de la camisa y el husillo de extrusión.-

Inspeccionar también el husillo en busca de zonas picadas o imperfecciones en la superficie. Todas estas mediciones deben ser colocadas en un orden cronológico en la bitácora de la máquina.

j) Cambio de calentadores dañados.-

Luego de realizar la verificación del amperaje de la máquina, cambiar los calentadores que no cumplen con la lectura especificada en placa. Los puntos fríos causan una caída de presión excesiva, castigando de esta manera la productividad general de la máquina.

k) Cambio de agua de la cisterna de enfriamiento.

l) Lubricación de motores de ventiladores de enfriamiento de la camisa.

m) Limpieza del asentamiento de los sensores de presión y temperatura

El óxido depositado anualmente en la zona de asentamiento de los sensores puede afectar gravemente la exactitud de la medida realizada por lo que se recomienda que estos asentamientos sean limpiados y lijados una vez al año.

n) Verificar que todos los pernos del cabezal estén correctamente ajustados.-

Realizar un ajuste general y lubricación de las conexiones empernadas.

o) Reemplazar contactores dañados y verificar el ajuste de las conexiones del panel de control.

p) Calibración de sensor de velocidad, temperatura y presión según recomendaciones del fabricante.

q) Revisar el correcto funcionamiento de los breakers de seguridad de la máquina.-

El resumen de todas las tareas anuales de mantenimiento se encuentra en los anexos como un Checklist de Mantenimiento Anual.

Se recomienda que luego de cada chequeo, ya sea mensual, cuatrimestral o anual, se proceda al llenado del formulario de Requerimientos de Mantenimiento a fin de realizar los trámites necesarios para la compra de los insumos o elementos necesarios para garantizar la confiabilidad de la maquinaria. Todos estos documentos se pueden encontrar en los anexos de esta tesis.

CAPÍTULO 5

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de la realización de este trabajo de reconstrucción de una máquina extrusora para la capacitación industrial en la Escuela Politécnica del Litoral, concluimos principalmente que es posible realizar adaptaciones tecnológicas de maquinaria existente en el país para desarrollar compuestos plásticos de calidad, sin necesidad de incurrir en grandes inversiones.

5.1 Conclusiones

- Se logró la reconstrucción exitosa de la máquina extrusora de termoplásticos de inferior tecnología para elaborar compuestos con altas concentraciones de carga o aditivos
- La incorporación de dispositivos dispersivos y distributivos en un husillo permite fabricar mayor variedad de productos acorde a la exigencias del mercado actuales
- El procedimiento desarrollado para obtener curvas de rendimiento de termoplásticos con cargas o aditivos pueden ser aplicados en cualquier maquina.
- Una maquina operativa de baja nivel tecnológico puede ser fácilmente mejorada con una inversión de USD 10.000,00
- El rendimiento de la extrusora disminuyó un 9% al incorporarse un 25% de CaCO_3 a un polietileno de alta densidad.

5.2 Recomendaciones

- La elaboración de la curva de operación de una extrusora es una forma importante de verificar la productividad de la máquina a fin de determinar la viabilidad de los cambios de husillo. Es recomendable para cualquier compañía que se determinen estas

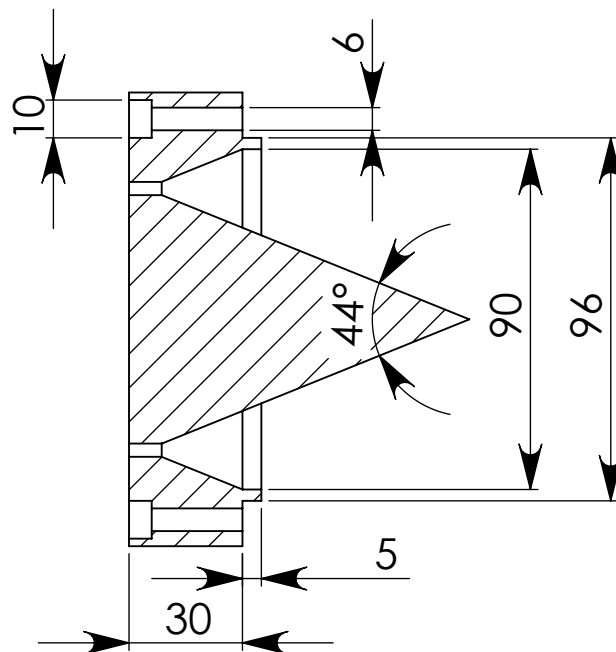
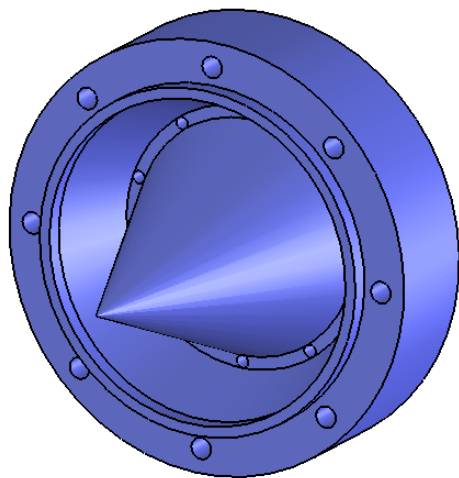
curvas para cada máquina y cabezal usado en la fabricación de productos plásticos.

- El uso de un método teórico para la selección de calentadores es de suma importancia para evitar sobredimensionamientos y gastos excesivos para procesos en los que no es necesaria una excesiva carga calorífica.
- La propuesta de un plan de mantenimiento de extrusoras es altamente recomendable para su aplicación en plantas de extrusión de plástico ante la ausencia de bibliografía en español sobre este tópico.
- Se recomienda la realización de trabajos futuros evaluando la factibilidad económica de la producción de compuestos plásticos con carbonato de calcio con los nuevos datos aportados en este trabajo acerca de la disminución de la productividad.

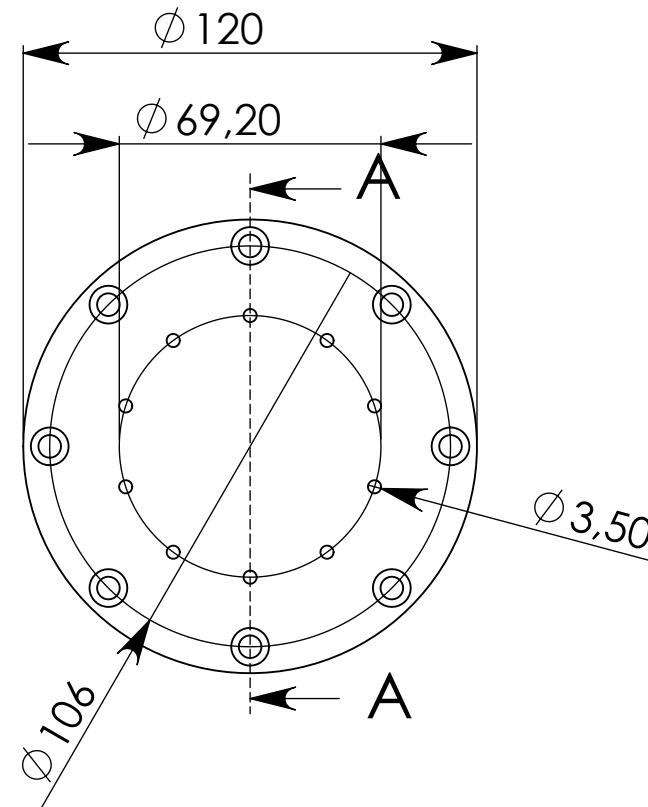
BIBLIOGRAFÍA

- [1] Rubin I., (2004), "Materiales Plásticos: Propiedades y Aplicaciones", Editorial Limusa Wiley.
- [2] Rauwendaal C., (2001), "Polymer Extrusion", Hanser.
- [3] Baird D., Collias D., (1998), "Polymer Processing: Principles and Design", John Wiley & Sons.
- [4] Rauwendaal C., (1998), "Understanding Extrusion", Hanser.
- [5] Morton-Jones, (2004), "Procesamiento de Plásticos", Limusa Wiley.
- [6] Womer T., (2002), "Diseño de Tornillo de Extrusión", Plastic Technology Magazine.
- [7] Incropera F., (1999), "Fundamentos de Transferencia de Calor", Prentice Hall
- [8] Harper C., Petrie E., (2003), "Plastic Materials and Processes: A Concise Encyclopedia", John Wiley & Sons.
- [9] Rao N., Schumacher G., (2004), "Design Formulas for Plastic Engineers", Hanser.
- [10] Rauwendaal C., (1995), "Extrusion", "Encyclopedia of Polymer Science and Technology", Vol. 2, John Wiley & Sons.
- [11] Maynard H., (2001), "Industrial Engineering Handbook", Hardcover.
- [12] Zambrano B., Rigail A., (2007), "Evaluación de las propiedades de compuestos de Polietileno y Carbonato de Calcio", Tesis de grado ESPOL
- [13] Noriega M. del Pilar, (2002), "Troubleshooting the Extrusion Process", Hanser

ANEXOS



SECCIÓN A-A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

Fino

DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

1mm-45 grados

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

2

ESPOL - FIMCP

TITLE:

Boquilla salida

NAME

SIGNATURE

DATE

DRAWN

Juan Ferret

CHK'D

Carlos Correa

APPV'D

Andrés Rigail

MFG

Q.A

MATERIAL:

Acero V8 Matriz

DWG NO.

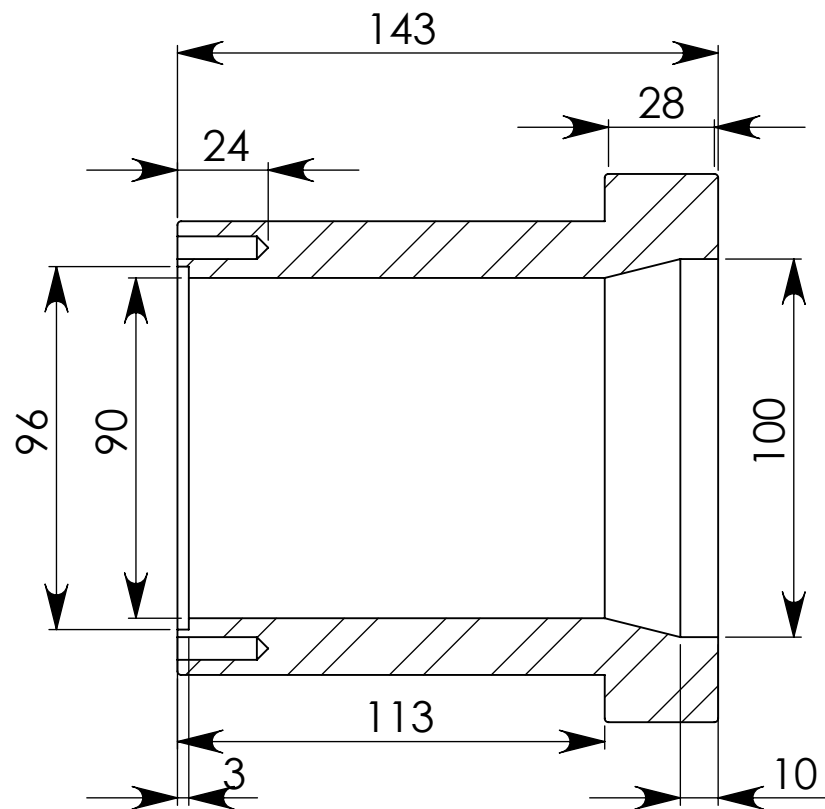
1

A4

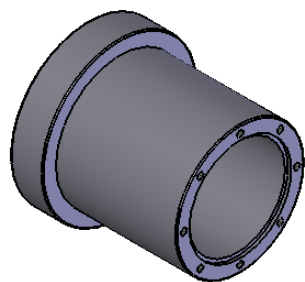
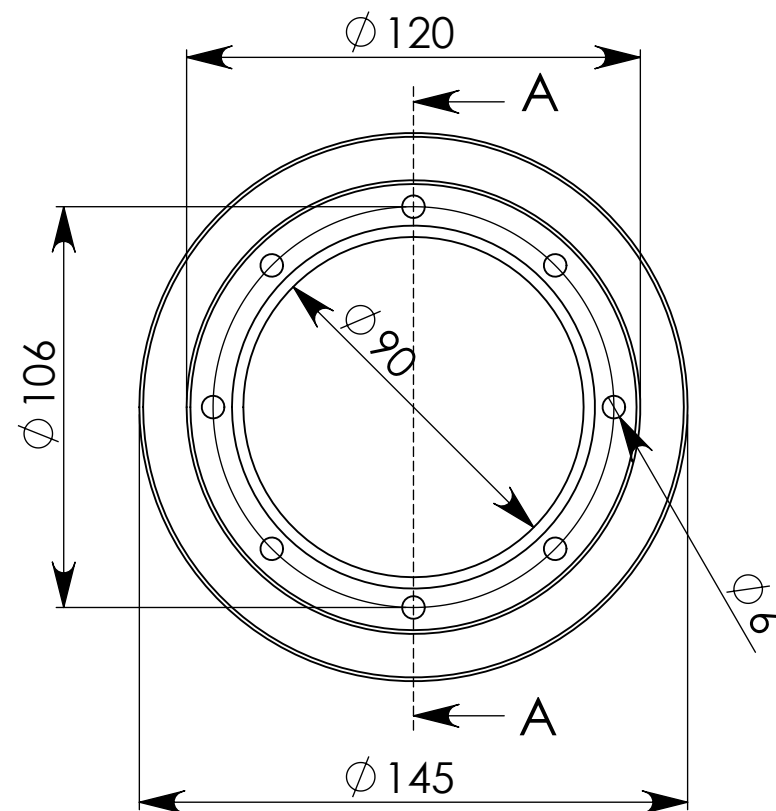
WEIGHT:

SCALE:1:2

SHEET 1 OF 1



SECCIÓN A-A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

1mm-45 grados

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

2

ESPOL-FIMCP

TITLE:

Boquilla

DWG NO.

2

A4

MATERIAL:

Acero V8

WEIGHT:

SCALE:1:2

SHEET 1 OF 1

1

2

3

4

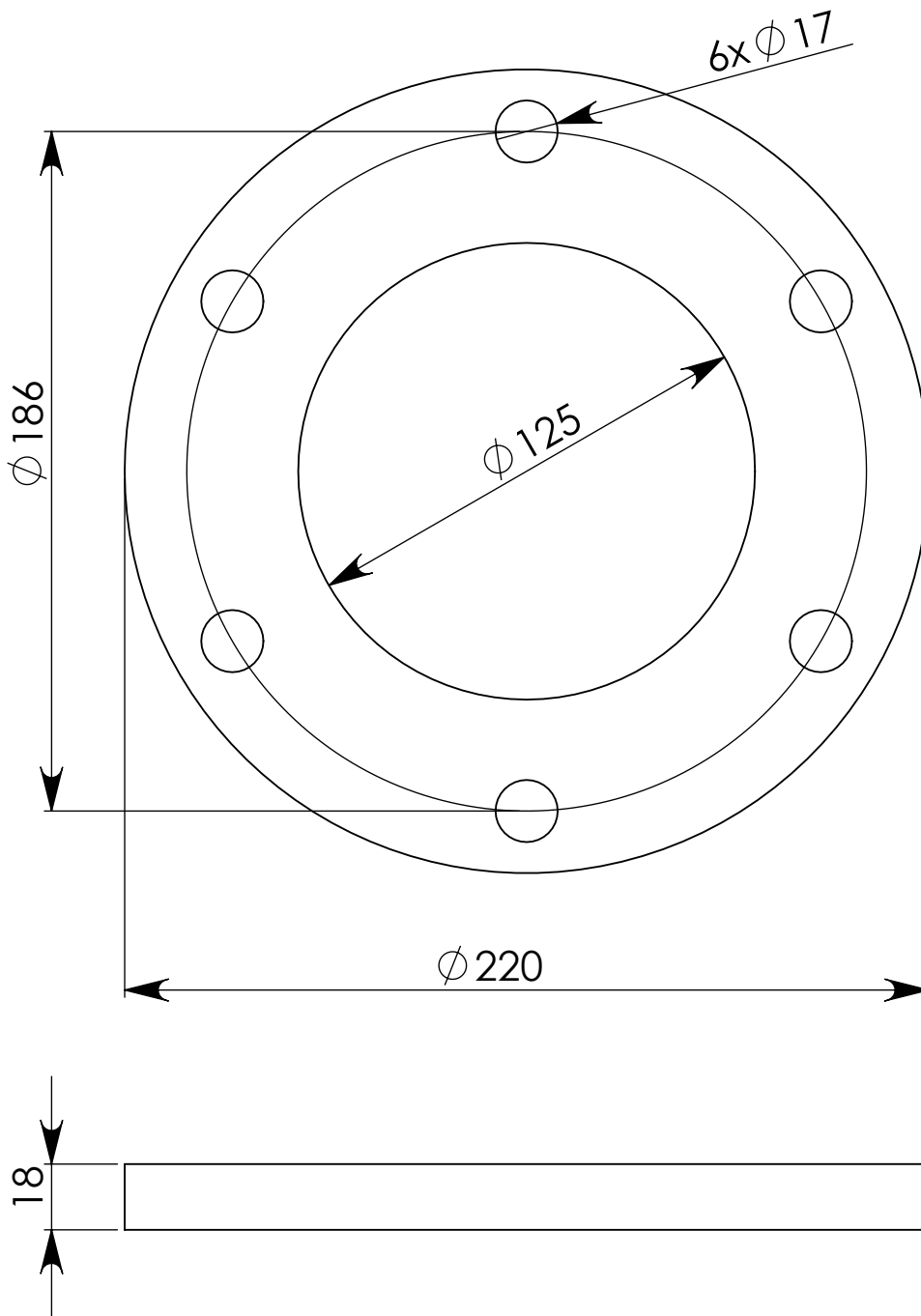
A

B

C

D

E



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:						FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES 1.5mm-45 grados		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION 2	
										ESPOL-FIMCP			
		NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE:						
F	DRAWN	Juan Ferret					Brida						
	CHK'D	Carlos Correa											
	APPV'D	Andrés Rigail											
	MFG												
	Q.A				MATERIAL:		DWG NO. 4				A4		
					AISI 1020								
				WEIGHT:		SCALE: 1:2				SHEET 1 OF 1			

1

2

3

4

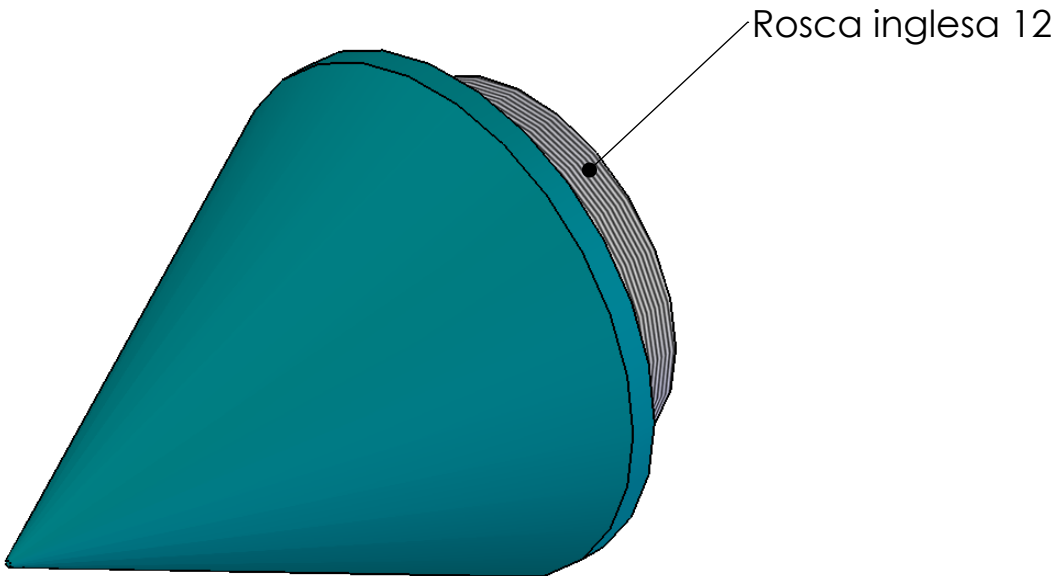
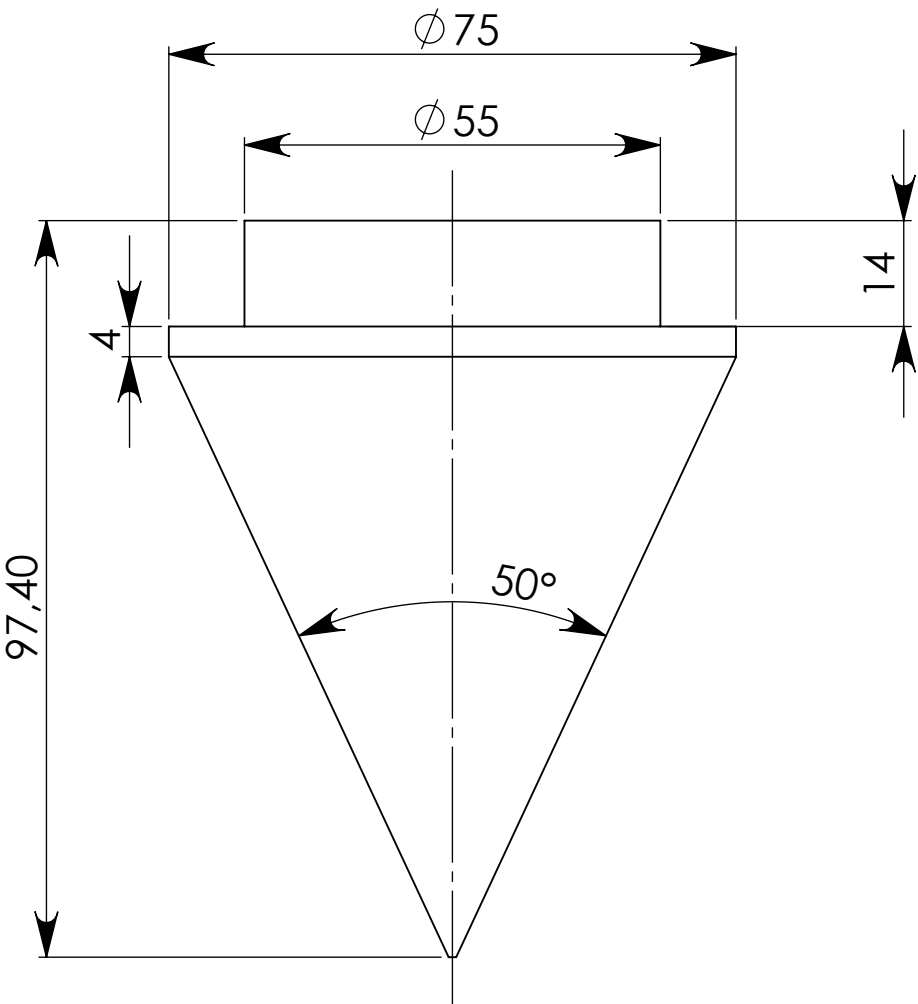
A

B

C

D

E



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

2

ESPOL-FIMCP

TITLE:

Entrada Araña

DWG NO.

5

A4

SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1

	NAME	SIGNATURE	DATE			
DRAWN	Juan Ferret					
CHK'D	Carlos Correa					
APPV'D	Andrés Rigail					
MFG						
Q.A						

MATERIAL:

V8 Matricería

WEIGHT:

1

2

3

4

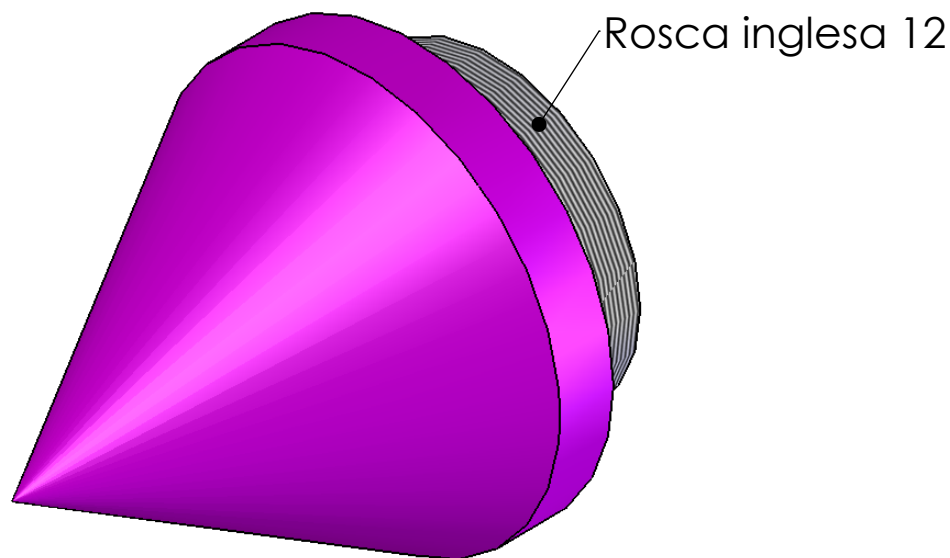
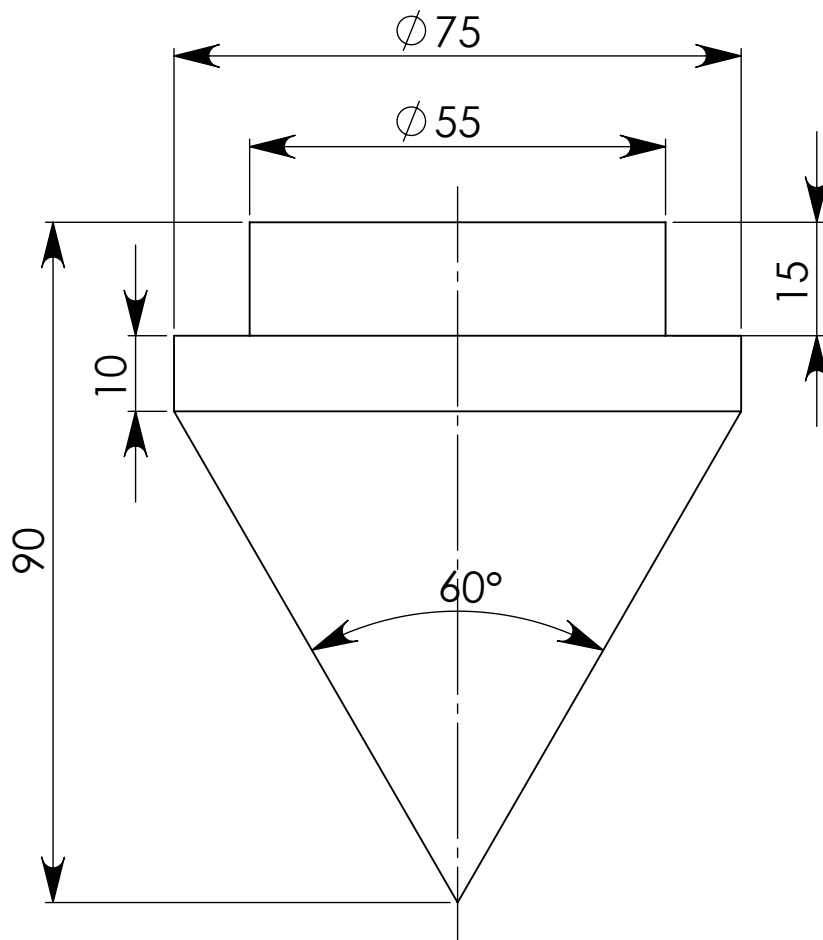
A

B

C

D

E



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

2

ESPOL-FIMCP

	NAME	SIGNATURE	DATE			
DRAWN	Juan Ferret					
CHK'D	Carlos Correa					
APPV'D	Andrés Rigail					
MFG						
Q.A						

TITLE:

Salida Araña

DWG NO.

6

A4

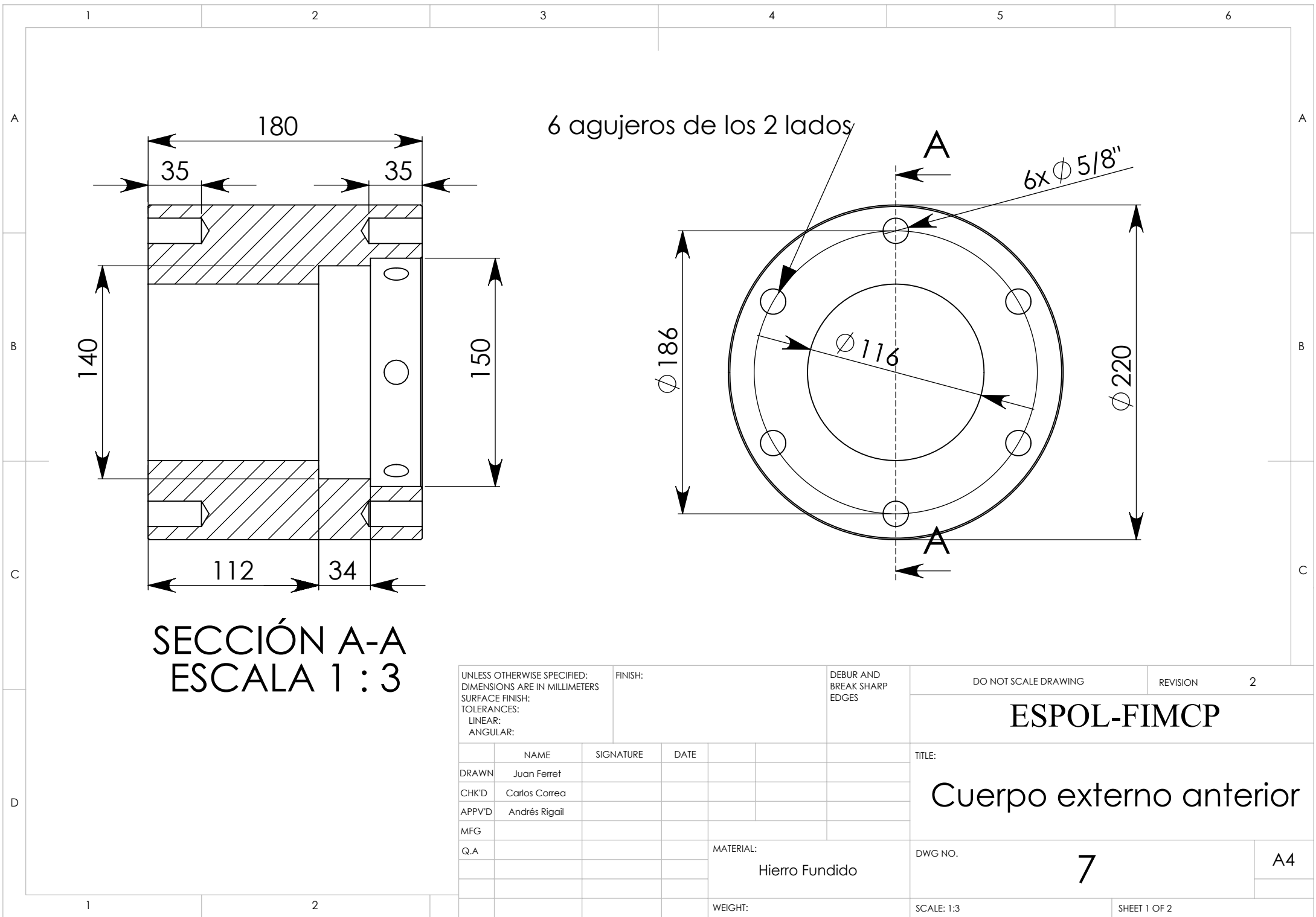
SCALE: 1:1

SHEET 1 OF 1

MATERIAL:

V8 Matricería

WEIGHT:



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 3

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION 2

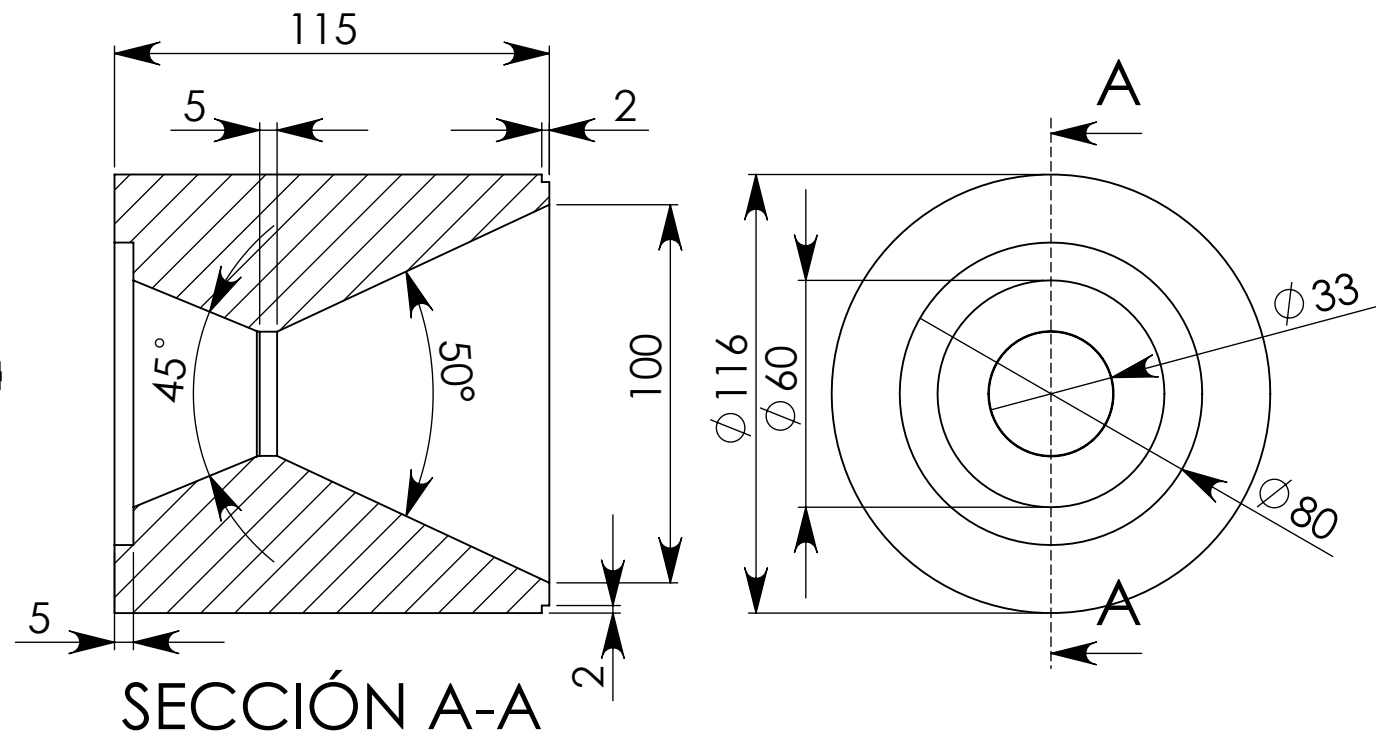
ESPOL-FIMCP

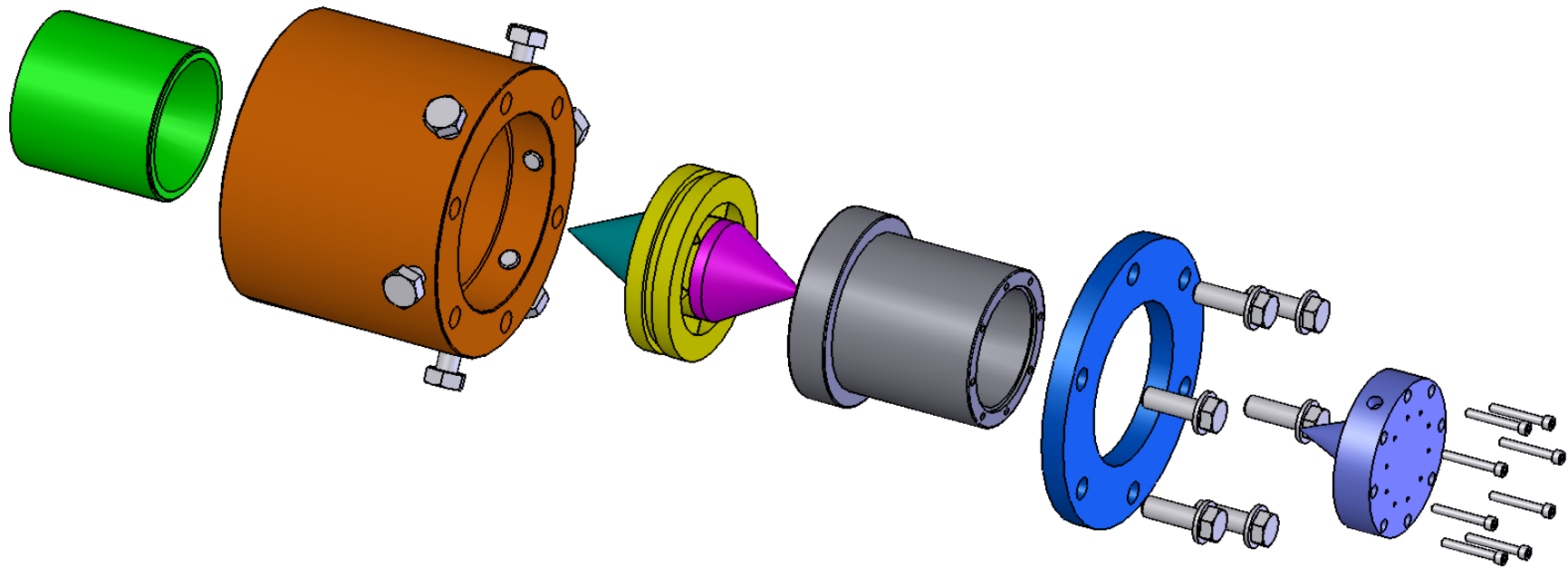
TITLE:
Cuerpo externo anterior

MATERIAL:
Hierro Fundido

DWG NO. 7 A4

WEIGHT: SCALE: 1:3 SHEET 1 OF 2





UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

Detalle de pernos
6 pernos hexagonales M6x20
6 pernos 5/8"x1" con arandelas
6 pernos 5/8"x1.5" con arandelas

DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

ESPOL-FIMCP

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN	Juan Ferret				
CHK'D	Carlos Correa				
APPV'D	Andrés Rigail				
MFG					
Q.A					

MATERIAL:
VARIOS

WEIGHT:

TITLE:
Cabezal ensamble total

DWG NO.

10

A4

SCALE:1:2

SHEET 1 OF 1



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
LABORATORIO DE PROCESAMIENTO DE POLIMEROS



PROCEDIMIENTOS PARA EL ENCENDIDO Y OPERACIÓN DE LA EXTRUSORA DE COMPUESTOS Y NANOCOMPUESTOS
--

ENCENDIDO Y OPERACIÓN

Orden no.	DESCRIPCION	Verificado
1	Verificar que el seguro de accionamiento del tornillo de extrusión esté activado	
2	Encender el breaker principal de la máquina	
3	Encender el sistema de calentamiento eléctrico, programar el perfil de temperaturas indicado por el Profesor o Instructor	
4	Dejar calentar al menos durante una hora para que el material que está dentro de la camisa se funda	
5	Encender la bomba redundante de la torre de enfriamiento	
6	Encender la bomba de la tina de enfriamiento de la extrusora	
7	Encender la cortadora de pellets	
8	Cargar la tolva de la extrusora con los materiales a extruir	
9	Verificar que el potenciómetro del tornillo de extrusión este en su nivel más bajo	
10	Quitar el seguro de accionamiento del tornillo de extrusión	
11	Encender la botonera negra de encendido del tornillo de extrusión	
12	Subir la velocidad del tornillo hasta la velocidad indicada por el Profesor o Instructor	
13	Conforme se vayan extruyendo los tallarines, colocarlos en la entrada del cortador de pellets para comenzar la operación continua	

Nota: Cualquier funcionamiento anormal del equipo, presionar la botonera roja de apagado del tornillo y solicitar ayuda al instructor

Nombre del Alumno

Instructor



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
LABORATORIO DE PROCESAMIENTO DE POLIMEROS



PROCEDIMIENTOS PARA APAGADO DE LA EXTRUSORA DE COMPUESTOS Y NANOCOMPUESTOS

APAGADO

Orden no.	DESCRIPCION	Verificado
1	Verificar que no quede material en la tolva.	
2	Reducir la velocidad del husillo de extrusión al mínimo usando el potenciómetro de velocidad	
3	Presionar la botonera roja de apagado del tornillo de extrusión	
4	Colocar el seguro de accionamiento del tornillo de extrusión	
5	Apagar la bomba de la tina de enfriamiento	
6	Apagar la bomba redundante de la torre de enfriamiento	
7	Apagar la cortadora de pellets	
8	Apagar el sistema de calentamiento eléctrico de la extrusora	
9	Bajar el breaker principal de la máquina	

Nota: Cualquier funcionamiento anormal del equipo, presionar la botonera roja de apagado del tornillo y solicitar ayuda al instructor

Nombre del Alumno

Instructor



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

LABORATORIO DE PROCESAMIENTO DE POLIMEROS



**PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA EXTRUSORA DE
COMPUESTOS PLÁSTICOS FIMCP-ESPOL**

Fecha:

Nombre:

MANTENIMIENTO MENSUAL

Orden no.	DESCRIPCION	Verificado
1	Verificar que la bomba del reductor lleve aceite a todos los rodamientos	
2	Verificar visualmente la ausencia de materiales extraños en la camisa del motor	
3	Asegurarse de que las bandas estén colocadas correctamente y con la tensión necesaria	
4	Verificar que la temperatura de la zona de alimentación no exceda los 70 grados celcius	
5	Asegurarse de que el nivel de agua de alimentación de la torre de enfriamiento este al nivel de la valvula de retención	
6	Verificar la productividad normal de la extrusora a una velocidad determinada	
7	Limpiar el filtro o toma de aire del ventilador del motor	
8	Verificar que el control de de sobrepresión funcione correctamente	
9	Verificar que la documentación de encendido y apagado esté junto al equipo y perfectamente legible	
10	Asegurarse que los sensores de las termocuplas estén haciendo contacto de manera correcta	

Observaciones:

Técnico de Mantenimiento

Jefe de Laboratorio



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

LABORATORIO DE PROCESAMIENTO DE POLIMEROS



**PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA EXTRUSORA DE
COMPUESTOS PLÁSTICOS FIMCP-ESPOL**

Fecha:

Nombre:

REQUERIMIENTOS DE INSUMOS PARA MANTENIMIENTO MENSUAL

Número	DESCRIPCION

Técnico de Mantenimiento

Jefe de Laboratorio



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
LABORATORIO DE PROCESAMIENTO DE POLIMEROS



CHECKLIST DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA EXTRUSORA DE COMPUESTOS PLÁSTICOS FIMCP-ESPOL
--

Fecha:

Nombre:

MANTENIMIENTO CUATRIMESTRAL

Orden no.	DESCRIPCION	Verificado
1	Chequear el funcionamiento correcto del ventilador del motor eléctrico	
2	Verificar que no se produzcan chispas en las escobillas del motor	
3	Chequear la temperatura del motor, no debe exceder los 65 grados celsius	
4	Verificar que la temperatura de la zona de alimentación no exceda los 80 grados celcius	
5	Asegurarse que la vibración del motor no sea excesiva	
6	Verificar si el canal de enfriamiento de la zona de alimentación de la camisa está limpio y está fluyendo agua.	
7	Verificar el amperaje de todos los calentadores eléctricos (Debe ser el mismo que indica la placa)	
8	Verificar que la temperatura de los ventiladores de enfriamiento de la camisa no sea excesiva.	
9	Inspección visual de estado de los engranajes del reductor de velocidad	
10	Revisar el aceite del reductor de velocidad en busca de particulas extrañas, reemplazar en caso de cumplirse el tiempo de vida	
11	Verificar el estado del conmutador en busca de imperfecciones en la superficie	
12	Verificar el registrar el desgaste del tornillo y la camisa de la extrusora	
13	Lubricar el acople del tornillo con el eje hueco del reductor de velocidad	
14	Revisar la placa rompedora en busca de fallas por fatiga	
15	Verificar la respuesta correcta del sensor de presión al variar las lecturas	
16	Limpieza general del panel de control	
17	Revisar el ajuste de los empalmes eléctricos, contactores y fusibles	
18	Verificar el correcto funcionamiento del ventilador del panel de control	

19	Revisar el sistema de cableado de calentadores, termocuplas y sensor de presión	
20	Limpieza general de la cisterna y torre de enfriamiento	
21	Revisar el sistema de tuberías de agua de enfriamiento en busca de fugas	

Observaciones:

Técnico de Mantenimiento

Jefe de Laboratorio



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

LABORATORIO DE PROCESAMIENTO DE POLIMEROS



**PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA EXTRUSORA DE
COMPUESTOS PLÁSTICOS FIMCP-ESPOL**

Fecha:

Nombre:

REQUERIMIENTOS DE INSUMOS PARA MANTENIMIENTO CUATRIMESTRAL

Número	DESCRIPCION

Técnico de Mantenimiento

Jefe de Laboratorio



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
LABORATORIO DE PROCESAMIENTO DE POLIMEROS



CHECKLIST DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA EXTRUSORA DE COMPUESTOS PLÁSTICOS FIMCP-ESPOL
--

Fecha:

Nombre:

MANTENIMIENTO ANUAL

Orden no.	DESCRIPCION	Verificado
1	Desmontaje de sellos y rodamientos del reductor de velocidad. Reemplazar rodamientos en caso de daños.	
2	Inspección de sellos de las bombas de la torre de enfriamiento y tina	
3	Desmontaje de transmisión de motor de cortadora de pellets. Cambiar rodamientos en caso de daños	
4	Limpieza general de la bomba de aceite del reductor de velocidad	
5	Cambio de aceite del reductor de velocidad	
6	Cambio de rodamientos del motor eléctrico y lubricación	
7	Verificar el ajuste de los terminales del motor	
8	Revisar el estado del aislamiento del motor	
9	Inspección visual del grado de desgaste en la zona de alimentación de la camisa de la extrusora	
10	Desmontaje y Registro de las medidas de la camisa y el husillo de extrusión	
11	Inspección visual en el tornillo de fallas de contacto puntuales.	
12	Cambio de calentadores dañados. Medir amperaje en todo el sistema	
13	Cambio de agua de la cisterna de enfriamiento	
14	Lubricación de motores de ventiladores de enfriamiento de la camisa	
15	Limpieza del asentamiento de los sensores de presión y temperatura	
16	Verificar que todos los pernos del cabezal estén correctamente ajustados	
17	Reemplazar contactores dañados y verificar el ajuste de las conexiones del panel de control	
18	Calibración de sensor de velocidad, temperatura y presión según recomendaciones del fabricante	

19	Verificar la resistencia de los potenciómetros. Cambiar en caso de ser excesiva	
20	Revisar el correcto funcionamiento de los breakers de seguridad de la máquina	

Observaciones:

Técnico de Mantenimiento

Jefe de Laboratorio



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

LABORATORIO DE PROCESAMIENTO DE POLIMEROS



**PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA EXTRUSORA DE
COMPUESTOS PLÁSTICOS FIMCP-ESPOL**

Fecha:

Nombre:

REQUERIMIENTOS DE INSUMOS PARA MANTENIMIENTO ANUAL

Número	DESCRIPCION

Técnico de Mantenimiento

Jefe de Laboratorio



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
LABORATORIO DE PROCESAMIENTO DE POLIMEROS



DETALLE DE COSTOS GENERADOS EN REHABILITACION DE LA EXTRUSORA DE COMPUESTOS FIMCP-ESPOL
--

DESCRIPCION	Subtotal
Tablero de control con calentadores de camisa de extrusora	\$ 3.858,00
Tornillo de extrusión con respectiva camisa	\$ 3.600,00
Calentadores adicionales para cabezal de extrusión	\$ 250,00
Rediseño y construcción de cabezal	\$ 280,00
Sensor de Presión e Instalación	\$ 1.435,00
Mantenimiento general de motor eléctrico y reductor	\$ 775,00
COSTO TOTAL*	\$ 10.198,00

* Incluye Mano de Obra e Impuestos de Ley