

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA PARA PLÁSTICOS

JIMMY JOANE GÓMEZ GÓMEZ

JORGE EDWIN GUTIÉRREZ BEDOYA

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍAS
ESCUELA DE TECNOLOGÍA MECÁNICA
PEREIRA - RISARALDA**

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA PARA PLÁSTICO

JIMMY JOANE GÓMEZ GÓMEZ

JORGE EDWIN GUTIÉRREZ BEDOYA

Proyecto de grado para optar al título de
Tecnólogo en Mecánica

Director del proyecto de grado:

**GONZALO TRUJILLO
TECNÓLOGO MECÁNICO**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍAS
ESCUELA DE TECNOLOGÍA MECÁNICA
PEREIRA - RISARALDA
NOVIEMBRE DE 2007**

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado.

Firma del jurado

Pereira 22 de noviembre del 2007

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer de manera muy especial a los profesores Gonzalo Trujillo y luz Adriana cañas por su invaluable apoyo en la ejecución de este trabajo, por sus sabios concejos y por todo el conocimiento que de manera desinteresada nos obsequiaron.

Este agradecimiento lo hago extensivo a todos los profesores y compañeros quienes nos brindaron conocimientos y ratos agradables

A nuestros padres: Matilde Gómez, Elvia rosa Bedoya, Luís Gustavo Gómez v, pedro pablo Gutiérrez y a mi hija Sara Gutiérrez. Por ser nuestro apoyo incondicional y a quienes les debemos todo.

Finalmente agradecemos a todos los familiares y amigos que directa o indirectamente contribuyeron a la realización de este gran proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	
INTRODUCCION	13
OBJETIVOS	14
1. MARCO TEORICO	15
2. EXTRUSIÓN DE PLÁSTICOS	16
2.1 CARACTERÍSTICAS DE UN EXTRUSOR DE TORNILLO SIMPLE	17
2.2 FUNCIONES DE UN EQUIPO DE EXTRUSIÓN	17
2.3 TÉCNICAS DE EXTRUSIÓN	18
2.4 TIPOS DE EXTRUSORAS	18
2.4.1 Extrusoras de un sólo husillo	18
2.4.2 Extrusoras de doble husillo	19
2.5 MATERIAL A PROCESAR: “POLIPROPILENO”	20
2.5.1 Polipropileno	20
2.5.2 Estructura del polipropileno	21
2.5.3 Propiedades del polipropileno	22
2.5.3.1 Dispersión de pesos moleculares	22
2.5.3.2 Viscosidad - Características reológicas	22
2.5.3.3 Cristalinidad - Propiedades mecánicas	22
2.5.4 Grados de polipropileno	23
2.5.4.1 Homopolímeros	23
2.5.4.2 Copolímeros al azar	23

2.5.4.3 Copolímeros de bloque	23
2.5.5 Identificación y características del polipropileno (PP)	23
2.5.6 Compuestos y mezclas	24
2.5.7 Procesos de fabricación de polipropileno	24
2.5.8 Destilación del Propileno	25
2.5.9 Aplicaciones del polipropileno	26
2.6 FUSIÓN DEL POLÍMERO	27
3. ELEMENTOS DE LA MÁQUINA Y CÁLCULOS DE DISEÑO	28
3.1 CÁLCULO DE HUSILLO	29
3.1.1 Parámetros tecnológicos	29
3.1.2 Producción del tornillo	32
3.1.2.1 Flujo de arrastre o de fricción (Q_D ó α)	33
3.1.2.2 Flujo de presión (Q_p ó β)	33
3.1.2.3 Flujo de filtración (Q_L ó γ)	34
3.1.2.4 Constante total de la cabeza (K)	34
3.1.3 Intervalos de velocidad de cortadura	36
3.1.4 viscosidad efectiva	37
3.1.5 Relación de longitud del husillo	38
3.1.6 Tolerancias del tornillo/cilindro	39
3.1.7 Zonas del husillo	40
3.1.8 Cálculo del número de filetes del husillo	40
3.1.9 Cálculo de revoluciones del husillo	41
3.1.10 Relación de compresión (β)	41
3.1.11 Cálculo de la potencia requerida	42

3.1.12 Presiones en la máquina extrusora	42
3.1.13 Peso del husillo	43
3.1.13.1 Volumen del alma del husillo en cada sección	43
3.1.13.2 Volumen de los filetes en cada zona	45
3.1.14 Cálculo de fuerzas del husillo	49
3.1.15 Selección de material para el husillo	54
3.1.16 Diseño del muñón	55
3.1.17 Diseño de la chaveta	60
3.1.18 Selección Mezclador	61
3.2 SOPORTE DE LA MÁQUINA	62
3.2.1 Factor de seguridad	63
3.2.2 Deformación	64
3.2.3 Tensión	64
3.3 SISTEMA ELÉCTRICO	65
3.3.1 Selección del motorreductor	65
3.3.2 Selección del variador de velocidad	66
3.3.3 Resistencias tipo abrazadera	67
3.3.4 Termocupla tipo J	68
3.3.5 Pirómetro análogo	69
3.3.6 Amperímetro	69
3.3.7 Relé en estado sólidó	70
3.3.8 Selección de caja eléctrica	72
3.4 DISEÑO DE LA TOLVA	72

3.4.1 Cálculo de altura de la tolva	73
3.4.2 Materiales para la tolva	73
3.4.3 Desarrollo del cono circular recto	74
3.5 Cálculos de tornillos para la brida	75
4. COSTOS DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PLÁSTICOS	81
5. CONCLUSIONES	82
6. RECOMENDACIONES	83
7. BIBLIOGRAFIA	84

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Características del husillo	16
Figura 2. Diseño genérico de una máquina extrusora	17
Figura 3. Detalle de un doble husillo de extrusión	19
Figura 4. Fórmula estructural del polipropileno	20
Figura 5. Fórmula estructural del polietileno. (a) Isotáctica, (b) Sindiotáctica, (c) Atáctica	21
Figura 6. Proceso de destilación del propileno	26
Figura 7. Inicio del proceso de fusión del polímero en el extrusor	27
Figura 8. Dimensiones de la camisa	28
Figura 9. Vista superior de la camisa	29
Figura 10. Sección de un cilindro con husillo de un canal. (a) Vista general, (b) Esquema del desarrollo	30
Figura 11. Diagrama de velocidades de flujo	32
Figura 12. Intervalos de velocidad de cortadura	37
Figura 13. Intervalos de viscosidad	38
Figura 14. Zonas del husillo	40
Figura 15. Triangulo rectángulo para hallar la longitud del filete	45
Figura 16. Sección del filete	46
Figura 17. Sección del filete en la zona cónica	47
Figura 18. Sección del filete en la zona de dosificación	48
Figura 19. Diagrama de fuerzas de un husillo	50
Figura 20. Diseño del muñón	56

Figura 21. Medida nominal de la chaveta en mm	60
Figura 22. Mezclador Axon Mixing Ring	62
Figura 23. Factor de seguridad en el soporte de la maquina	63
Figura 24. Deformación en el soporte de la maquina	64
Figura 25. Tensión en el soporte de la maquina	65
Figura 26. Motorreductor	66
Figura 27. Variador de velocidad	67
Figura 28. Resistencias tipo abrazadera	68
Figura 29. Termo cupla tipo j	69
Figura 30. Especificaciones del relé seleccionado	71
Figura 31. Esquemas eléctricos de la extrusora de plástico	71
Figura 32. Caja eléctrica	72
Figura 33. Calculo de altura h	73
Figura 34. Desarrollo del la tolva	74
Figura 35. Partes del tornillo	75

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Identificación y características del polipropileno (PP)	86
Anexo 2. Guía para el diseño de un husillo	88
Anexo 3. Parámetros geométricos del husillo en <i>mm</i>	90
Anexo 4. Tolerancias y Parámetros geométricos del husillo/cilindro	91
Anexo 5. Materiales para husillo y características y propiedades	93
Anexo 6. Modulo de elasticidad (<i>E</i>) de los materiales	95
Anexo 7. Tabla de Dureza Brinell para hallar el factor superficial <i>k_a</i>	96
Anexo 8. Factor de sensibilidad a las muescas para los aceros	97
Anexo 9. Factor de concentración de esfuerzos para un eje con un filete en torsión	98
Anexo 10. Valore de <i>K_f</i> para chaveteros	99
Anexo 11. Uniones con chavetas	100
Anexo 12. Material de la chaveta	101
Anexo 13. Tabla de selección de mezcladores	103
Anexo 14. Laminas de acero	104
Anexo 15. Características del motorreductor	105
Anexo 16. Características del variador de velocidad	112
Anexo 17. Dimensiones principales de las roscas de tornillos Unified Nacional Standard	113
Anexo 18. Especificaciones y resistencias métricas para pernos de acero	114
Anexo 19. Planos de la máquina extrusora	115

RESUMEN

Dada la importancia del tema de la extrusión y la poca atención que se le ha prestado a este tipo de proceso en nuestra región, quizás por desconocimiento o desinterés de académicos y empresarios, se ha querido emprender una campaña de información, inicialmente entre estudiantes interesados en el tema y posteriormente se hará extensiva a los empresarios. Este trabajo servirá como apoyo de tal campaña, en el hecho que se pretende, además de instruir en el tema de la extrusión, brindar la posibilidad de realizar trabajos prácticos a través de ensayos de laboratorio y en la misma vía, fortalecer los procesos de academia, extensión e investigación promulgados en el plan de desarrollo de la Universidad Tecnológica de Pereira.

Este trabajo se encargara de estudiar en forma teórica los conceptos relacionados con la extrusión y diseñar una máquina que nos permita la extrusión de termoplásticos, en nuestro caso el polipropileno (PP). El trabajo por tanto debe concluir cuando se tenga la información teórica, los planos tecnológicos y la lista de elementos para la construcción de la máquina.

El proyecto tiene como fin último poner a disposición de los interesados (estudiantes, académicos e industriales), una base teórica y la posibilidad de abordar estudios prácticos en un tema que día a día cobra mayor importancia en la industria.

INTRODUCCIÓN

Los plásticos los podemos encontrar en diversas aplicaciones de la vida moderna, son versátiles, fáciles de fabricar y muy económicos. El uso del plástico es cada día más común debido a que se pueden remplazar a muchos materiales como madera, metal, papel, caucho, cerámica, vidrio, etc.

Es muy difícil mirar hacia algún lado y no encontrar objetos fabricados con materiales plásticos, los cuales se han convertido en elementos de uso cotidiano en el mundo moderno.

El proceso de extrusión es uno de los más importantes en la industria de transformación del plástico. Entre los productos que se pueden manufacturar se encuentran: tubería, manguera, fibras, películas y un número ilimitado de perfiles. El proceso de extrusión se utiliza, además, “compounding”, es decir, para mezclar y formular compuestos de plástico y producir materia prima, como, por ejemplo, gránulos de concentrado o de compuesto.

El corazón de un extrusor es un husillo o tornillo que gira dentro de un barril o cilindro, y es capaz de bombejar (empujar) un material a una velocidad específica, bajo ciertas condiciones de operación.

Los materiales utilizados en el proceso de extrusión son, por lo general, **termoplásticos**. Estos materiales se suavizan cuando se calientan y se transforman en fluido, que posteriormente se endurecen cuando se enfrian y se transforman en sólidos.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar una máquina extrusora de plásticos para el laboratorio de polímeros de la escuela de tecnología mecánica de la Universidad Tecnológica de Pereira, a partir de la camisa existente en el taller de mecánico, utilizando los conocimientos adquiridos en las áreas de diseño y procesamiento de polímeros, con la ayuda de la cual se puede obtener datos confiables que conlleven a la escogencia de materiales según parámetros ya establecidos.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Proporcionar nuevas herramientas de estudio teórico-práctico que involucren conocimientos obtenidos durante la carrera en el área de polímeros, para mejorar la calidad de aprendizaje en el estudiantado.
- Realizar los cálculos de diseño para obtener una base en la construcción de los planos de la máquina extrusora para plásticos.
- Construir una serie de planos para que en una segunda etapa lo tomen como base para la construcción de la máquina.
- Hacer una lista de materiales que permitan conocer cuales serán los procesos de fabricación de la maquina y su forma de ensamble.

1. MARCO TEORICO

La extrusión de polímeros es un proceso industrial, basado en el mismo principio de la extrusión general, sin embargo la ingeniería de polímeros ha desarrollado parámetros específicos para el plástico, de manera que se estudia este proceso aparte de la extrusión de metales u otros materiales.

El polímero fundido (o en estado ahulado) es forzado a pasar a través de un Dado también llamado boquilla, por medio del empuje generado por la acción giratoria de un husillo (tornillo de Arquímedes) que gira concéntricamente en una cámara a temperaturas controladas llamada cañón, con una separación milimétrica entre ambos elementos. El material polimérico es alimentado por medio de una tolva en un extremo de la máquina y debido a la acción de empuje se funde, fluye y mezcla en el cañón y se obtiene por el otro lado con un perfil geométrico preestablecido.

MARCO GEOGRAFICO

Con este proyecto se pretende que la universidad, más exactamente la escuela de tecnología mecánica construya un laboratorio de polímeros para que la experimentación sobre materiales de ingeniería, por parte de los estudiantes. Por lo tanto el proyecto va a tener un rango de cobertura geográfico correspondiente a las instalaciones de la facultad de mecánica.

MARCO SOCIAL

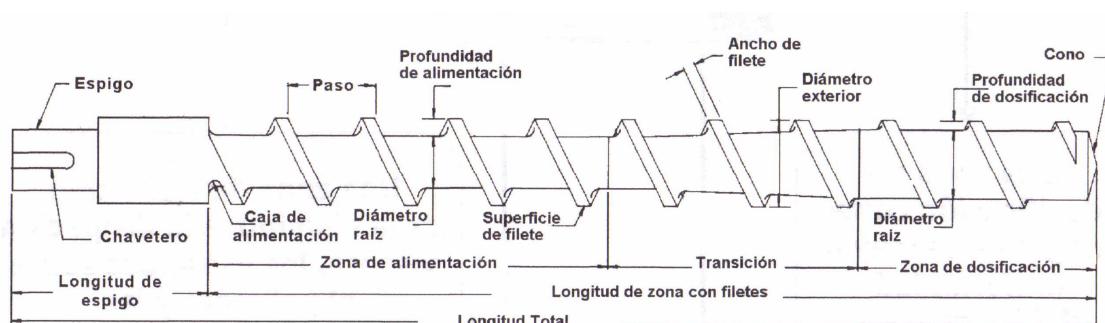
El proyecto esta enfocado para que luego de su terminación este sirva de ayuda para toda la comunidad universitaria que requiera de sus servicios pero especialmente este creado para el beneficio de la escuela de tecnología mecánica sus profesores y estudiantes.

2. EXTRUSIÓN DE PLÁSTICOS

La operación o procedimiento de extrusión es la acción de forzar el paso de un plástico o material fundido, por medio de presión, a través de un “dado” o “boquilla”. El procedimiento se ha utilizado durante muchos años para metales, como el aluminio, que fluyen plásticamente cuando se someten a una presión de deformación. En el procedimiento original para someter los polímeros a extrusión, se utilizaron máquinas similares impulsadas por un ariete o empujador mecánico. En el proceso moderno se utilizan tornillos para hacer fluir el polímero en el estado fundido o gomoso a lo largo de la camisa de la máquina. El tipo de dispositivo más utilizado es el de tornillo simple cuyas principales características se muestran en la figura 1. También se utilizan los extrusores de tornillos gemelos cuando se necesita una mezcla o las condiciones de transporte del material fundido son más exigentes.

El aparato está constituido principalmente por un tornillo de Arquímedes que se ajusta con precisión dentro de la camisa cilíndrica, apenas con el espacio suficiente para rotar. El polímero sólido se alimenta en un extremo y en el otro sale el material sometido a extrusión ya perfilado. Dentro de la máquina el polímero se funde y homogeniza.

Figura 1. Características del husillo



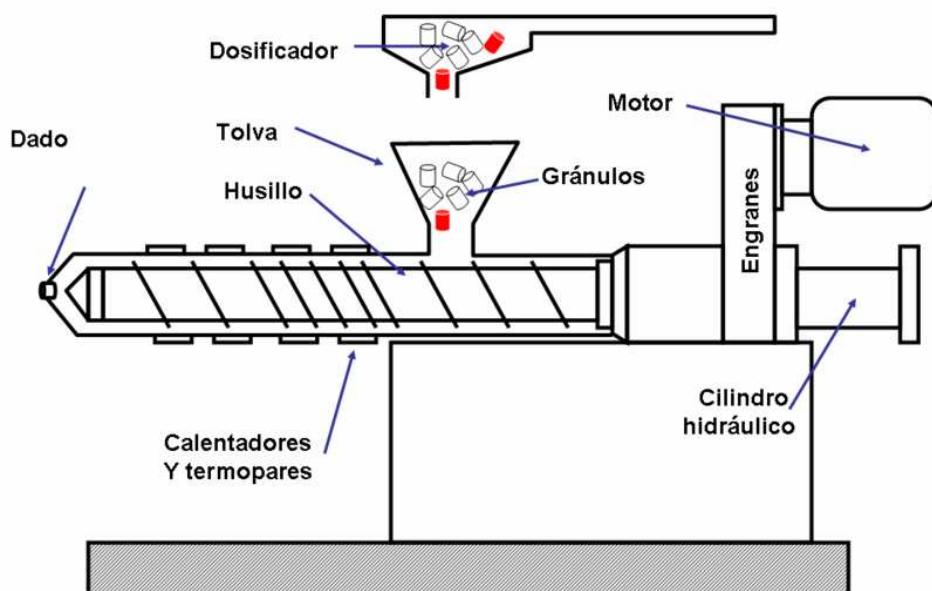
El proceso de extrusión es muy utilizado en la industria del plástico para producir longitudes continuas de materiales termoplásticos con secciones transversales constantes como:

- perfiles
- tubería
- mangueras
- fibras
- películas

2.1 CARACTERÍSTICAS DE UN EXTRUSOR DE TORNILLO SIMPLE

El tornillo de un extrusor tiene uno o dos “hilos” en espiral a lo largo de su eje. El diámetro medio hasta la parte externa del hilo es el mismo en toda la longitud para permitir un ajuste preciso en una camisa cilíndrica, con un claro apenas suficiente para dejarlo rotar. La “raíz” o núcleo es de diámetro variable, de manera que el canal en espiral varía en profundidad. En general, la profundidad del canal disminuye desde el extremo de alimentación hasta el extremo del dado, como se presenta en la figura 2, aunque existen modificaciones con fines especiales. Una consecuencia de que disminuya la profundidad del canal es el incremento de la presión a lo largo del extrusor y ésta es la que impulsa el material fundido a pasar a través del dado.

Figura 2. Diseño genérico de una máquina extrusora



2.2 FUNCIONES DE UN EQUIPO DE EXTRUSIÓN

Los equipos de extrusión cumplen diferentes funciones, dependiendo del fin especificado para su operación. En general, las principales funciones de una extrusora son:

- Recibir y almacenar el polímero
- Transportar el material sólido
- Calentar y comprimir el polímero
- Homogenizar
- Generar la presión necesaria para la obtención del producto final
- Extruir el semielaborado

2.3 TÉCNICAS DE EXTRUSIÓN

La clasificación general de las distintas técnicas para extrusión de polímeros son las siguientes:

- Extrusión con un sólo husillo
 - Extrusores convencionales o típicos
 - Extrusores con ventilación (o venteo) o desgasificación
 - Extrusores co-mezcladores
- Extrusores sin husillo
 - Bombas
 - Extrusores de discos
- Extrusores de husillo múltiple
 - Extrusores de doble husillo
 - Husillos que no engranan
 - Husillos que engranan
 - Rotación en el mismo sentido
 - Rotación en sentido inverso
 - Extrusores con más de dos husillos
 - Rodillos planetarios
 - De 4 husillos (construcción particular para cada máquina)

2.4 TIPOS DE EXTRUSORAS

Las extrusoras más comunes utilizan un sólo husillo en el cañón. Este husillo tiene comúnmente una cuerda, pero puede tener también dos y forma canales en los huecos entre los hilos y el centro del husillo, manteniendo el mismo diámetro desde la parte externa del hilo en toda la longitud del husillo en el cañón.

2.4.1 Extrusoras de un sólo husillo

La división más común para extrusoras de un sólo husillo consiste en cuatro zonas, desde la alimentación hasta la salida por el dado del material:

- Zona de alimentación: En esta parte ocurre el transporte de gránulos sólidos y comienza la elevación de temperatura del material.
- Zona de compresión: En esta zona, los gránulos de polímero son comprimidos y están sujetos a fricción y esfuerzos cortantes, se logra una fusión efectiva.
- Zona de distribución: Aquí se homogeniza el material fundido y ocurren las mezclas.

- Zona de mezcla: En esta parte que es opcional ocurre un mezclado intensivo de material, en muchos casos no se aconseja porque puede causar degradación del polímero.

Los husillos pueden tener también dentro de algunas de sus zonas principales elementos dispersivos y elementos distributivos.

- Distribución: Logra que todos los materiales se encuentren en igual proporción en la muestra.
- Dispersión: Logra que los componentes no se aglomeren sino que formen partículas del menor tamaño posible.

2.4.2 Extrusoras de doble husillo

Los extrusores de doble husillo proporcionan un empuje mucho mayor que el de un sólo husillo, aceleraciones de material mucho mayores, esfuerzos cortantes relativamente altos y mezclado intensivo. Para algunos materiales este proceso es demasiado agresivo, por lo cual resulta inadecuado, existe la creencia de que los concentrados de color se realizan por lo general en este tipo de extrusores, sin embargo, la mayoría de los pigmentos sufren degradación debido a las condiciones tan agresivas del proceso, por ello, muchos fabricantes de concentrados utilizan un cañón largo de un solo husillo. En la figura 3 se presenta un esquema de este dispositivo.

Existen dos tipos de extrusoras doble husillo: las que engranan y las que no engranan. De las primeras existen dos tipos, los co-rotativos y los contra-rotativos, según la dirección de giro.

Figura 3. Detalle de un doble husillo de extrusión



El flujo generado en un doble husillo que engrana y es contra rotativo genera un flujo en forma de **C** el cual tiene las características de un bombeo positivo, disminuyendo drásticamente la influencia de la viscosidad del material para su transporte y generando un bombeo muy eficiente. Las desventajas de este proceso es que los husillos son empujados por el material hacia las paredes del cañón, lo que evita el uso de altas velocidades; también existe el problema del mezclado ineficiente, mientras más rápido se transporta el material, menos eficiente es el mezclado.

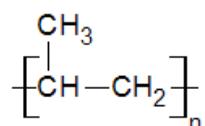
En los husillos que si engranan y son co-rotativos, el flujo tiene mayor dependencia en la viscosidad del material, aunque mucho menor que en los extrusores de un solo husillo. En este tipo de arreglo los husillos no son empujados hacia la pared del cañón, por ello se permiten altas velocidades, además el material pasa de un husillo a otro logrando un flujo alternante que ayuda a una mezcla más homogénea.

2.5 MATERIAL A PROCESAR: “POLIPROPILENO” [12]

2.5.1 Polipropileno

El polipropileno es un termoplástico semicristalino, que se produce polimerizando propileno en presencia de un catalizador estereo específico. El polipropileno tiene múltiples aplicaciones, por lo que es considerado como uno de los productos termoplásticos de mayor desarrollo en el futuro. Es un producto inerte, totalmente recicitable, su incineración no tiene ningún efecto contaminante, y su tecnología de producción es la de menor impacto ambiental. Esta es una característica atractiva frente a materiales alternativos.

Figura 4. Fórmula estructural del polipropileno



Hoy en día el polipropileno es uno de los termoplásticos más vendidos en el mundo, con una demanda anual estimada de 40 millones de toneladas. Sus incrementos anuales de consumo han sido próximos al 10% durante las últimas décadas, confirmando su grado de aceptación en los mercados.

La buena acogida que ha tenido ha estado directamente relacionada con su versatilidad, sus buenas propiedades físicas y la competitividad económica de sus procesos de producción. Varios puntos fuertes lo confirman como material idóneo para muchas aplicaciones:

- Baja densidad

- Alta dureza y resistente a la abrasión
- Alta rigidez
- Buena resistencia al calor
- Excelente resistencia química
- Excelente versatilidad

Por la excelente relación entre sus prestaciones y su precio, el polipropileno ha sustituido gradualmente a materiales como el vidrio, los metales o la madera, así como polímeros de amplio uso general (ABS y PVC).

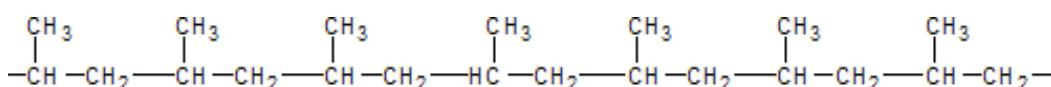
Las principales compañías petroleras del mundo producen polipropileno, bien sea por participación directa, o por medio de filiales. En el transcurso de los últimos años el volumen de negocio del polipropileno ha ido creciendo de manera significativa, tanto en el mundo como dentro del grupo.

2.5.2 Estructura del polipropileno

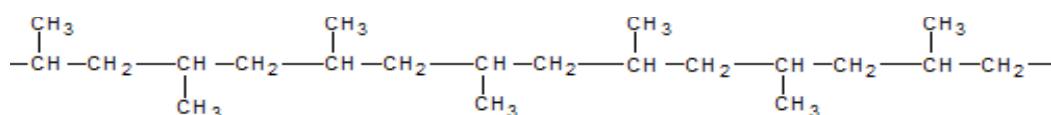
Estructuralmente el polipropileno es un polímero vinílico, similar al polietileno, sólo que a uno de los carbonos de la unidad monomérica se une un grupo metilo, como se presenta en la figura 5.

El polipropileno fabricado de manera industrial es un polímero lineal, cuya espina dorsal es una cadena de hidrocarburos saturados. Cada dos átomos de carbono de esta cadena principal, se encuentra ramificado un grupo metilo (CH_3). Esto permite distinguir tres formas isómeras del polipropileno:

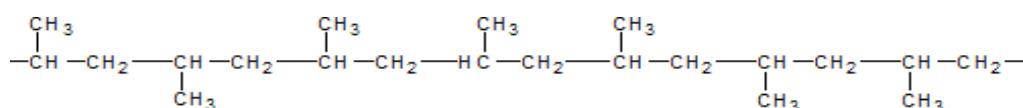
Figura 5. Fórmula estructural del polietileno. (a) Isotáctica, (b) Sindiotáctica, (c) Atáctica



(a)



(b)



(c)

Estas se diferencian por la posición de los grupos metilo (CH_3) con respecto a la estructura espacial de la cadena del polímero.

Las formas isotácticas y sindiotácticas, dada su gran regularidad, tienden a adquirir en estado sólido una disposición espacial ordenada, semicristalina, que confiere al material unas propiedades físicas excepcionales. La forma atáctica, en cambio, no tiene ningún tipo de cristalinidad. Los procesos industriales más empleados están dirigidos hacia la fabricación de polipropileno isotáctico que es el que ha despertado mayor interés comercial.

2.5.3 Propiedades del polipropileno

2.5.3.1 Dispersión de pesos moleculares

Como en la síntesis de otros polímeros, la longitud de las cadenas de polipropileno creadas en una misma partida no es uniforme. Se obtiene una dispersión de pesos moleculares más o menos amplia, que condiciona las propiedades mecánicas del grado producido. La distribución de pesos moleculares viene restringida por los procesos de fabricación, por las condiciones de operación, y sobre todo por los sistemas catalíticos empleados. En sistemas de catalización Ziegler Natta es común encontrar distribuciones consideradas anchas, comparadas con aquellas de los polímeros fabricados con las nuevas generaciones de catalizadores metalocénicos.

2.5.3.2 Viscosidad - Características reológicas

La viscosidad en fundido es, junto con la dispersión de pesos moleculares una de las características más importantes a la hora de la caracterización de los grados de polipropileno, ya que influye directamente sobre las condiciones de procesado, y por ello sobre la economía de los procesos. Una manera de caracterizar la viscosidad de los productos es por medio de un ensayo normalizado llamado índice de fluidez. Cuanto mayor es el índice de fluidez, menor es la viscosidad. Está relacionado de manera inversa con el peso molecular del polímero.

2.5.3.3 Cristalinidad - Propiedades mecánicas

Al tratarse de moléculas altamente lineales, las moléculas de polipropileno tienden a tomar en estado sólido una estructura ordenada, semicristalina. Las moléculas forman cadenas largas y estables, con altos pesos moleculares. Esta es la que le confiere sus propiedades mecánicas excepcionales, en particular en lo que respecta a la dureza, la resistencia a la tracción y la rigidez.

2.5.4 Grados de polipropileno

2.5.4.1 Homopolímeros

Se fabrican introduciendo propileno en un único reactor. Tienen en general una buena serie de propiedades mecánicas y por ello se les suele emplear para fabricar objetos con densidad baja, alta rigidez, alto punto de fusión y por ello, temperaturas de servicio altas.

2.5.4.2 Copolímeros al azar

Se fabrican introduciendo simultáneamente propileno y etileno en un mismo reactor (el contenido en etileno suele ser bajo). Este hecho hace que las cadenas de polímero estén formadas por mezclas al azar de unidades de etileno y de propileno. Tienen, como los homopolímeros, buenas propiedades en general, aunque destacan su mayor transparencia, su mejor resistencia al impacto y su menor punto de fusión. Estas propiedades condicionan las aplicaciones a las que están dirigidos, siendo una de las más conocidas los envases alimentarios.

2.5.4.3 Copolímeros de bloque

Se fabrican en dos etapas, produciendo inicialmente homopolímero en un primer reactor, y sobre éste un copolímero al azar en un segundo reactor. De esta manera se obtiene un producto mezcla, donde se encuentran dos fases diferenciadas pero estrechamente unidas. Por sus buenas propiedades de resistencia al impacto se les denomina también copolímeros de impacto. Tienen una rigidez inferior a la del homopolímero y se les destina a aplicaciones como parachoques, maletas o contenedores.

2.5.5 Identificación y características del polipropileno (PP)

Para el procesamiento de materiales plásticos se deben conocer algunas características básicas de las materias primas utilizadas. En el Anexo 1 se presenta la caracterización general del polipropileno. La importancia de cada uno de los datos de caracterización del material se presenta a continuación.

- Densidad**

Los plásticos tienen diferentes densidades. Una manera sencilla de clasificar los materiales sintéticos dependiendo del tipo o familia, es mediante su inmersión en agua. El polipropileno (PP) tiene menor densidad que el agua y por lo tanto flota en dicho medio.

- **Solubilidad en líquidos orgánicos**

Los plásticos en contacto con compuestos orgánicos pueden disolverse, hincharse o permanecer inertes. A partir de este comportamiento es posible su reconocimiento mediante pruebas rápidas con diferentes disolventes.

- **Comportamiento durante la fusión**

Si se descomponen los plásticos por fusión, se generan vapores que pueden ser ácidos o alcalinos. Mediante pruebas de fusión de los plásticos se puede tener un acercamiento a su clasificación como sigue:

- Fusión sin descomposición: no hay cambios de color.
- Fusión con descomposición: la masa fundida toma coloración negra o marrón.
- Descomposición sin fusión: la muestra cambia de color, sin perder la forma.

2.5.6 Compuestos y mezclas

Como otros termoplásticos, el polipropileno permite ser procesado y tratado fuera del reactor después del proceso de síntesis. Es común entonces verle empleado como material en mezclas con otros polímeros o con cargas minerales en altas proporciones (superiores al 10%) para formar materiales compuestos. Estos materiales tienen propiedades diferenciadas de aquellas del material de partida (mayor rigidez, o mejor resistencia al impacto, etc.).

Los diferentes grados de polipropileno suelen incorporar indistintamente diversos paquetes de aditivos (en proporciones inferiores al 1 %), cuya finalidad suele ser la mejora de la estabilidad termo-oxidativa de los productos, o de sus propiedades físicas (aumento de la transparencia, de la rigidez, o mejora del aspecto superficial). En este campo, los nuevos desarrollos son de gran importancia. El estudio de cargas y de fibras novedosas es otro factor de desarrollo importante que se potencia en la actualidad.

De acuerdo con esta clasificación, el polipropileno debe ser considerado como un grupo de polímeros, con propiedades físicas variadas, y no como un único producto. Es por ello que sus aplicaciones son tan variadas.

2.5.7 Procesos de fabricación de polipropileno

Aunque los procesos comerciales de obtención del polipropileno son variados, se les puede clasificar, dependiendo del medio de reacción y de la temperatura de operación, en tres tipos:

- Procesos en solución
- Procesos en suspensión
- Procesos en fase gas

En la actualidad muchas de las nuevas unidades de producción incorporan procesos híbridos, en los que se combina un reactor que opera en suspensión con otro que opera en fase gas.

Los procesos en solución, prácticamente en desuso, son aquellos en los que la polimerización tiene lugar en el seno de un disolvente hidrocarbonado a una temperatura de fusión superior a la del polímero. Entre sus ventajas han contado con la fácil transición entre grados, gracias a la pequeña dimensión de los reactores empleados.

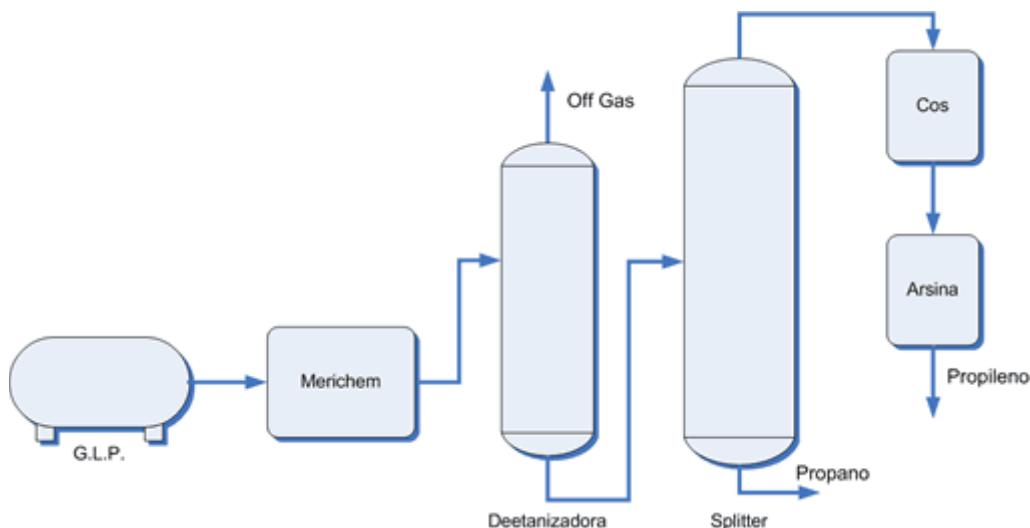
Los procesos en suspensión (slurry), están configurados para que la reacción tenga lugar en un hidrocarburo líquido, en el que el polipropileno es prácticamente insoluble, y a una temperatura inferior a la de fusión del polímero. Dentro de este tipo de procesos existen marcadas diferencias en la configuración de los reactores (de tipo bucle o autoclave) y en el tipo de diluyente utilizado, lo que afecta a las características de la operación y al rango de productos que se puede fabricar.

Los procesos en fase gas están caracterizados por la ausencia de disolvente en el reactor de polimerización. Tienen la ventaja de poderse emplear con facilidad en la producción de copolímeros con un alto contenido en etileno (en otros procesos se pueden presentar problemas al agregar altas concentraciones de etileno, puesto que se hace aumentar la solubilidad del polímero en el medio de reacción).

2.5.8 Destilación del Propileno

Unos de los métodos más utilizados para obtener el Propileno es la destilación a partir de G.L.P (Gas Licuado de Petróleo) con una proporción mayoritaria de componentes livianos (Propano, Propileno, etc.). En la figura 6 se presenta el proceso general de destilación del monómero.

Figura 6. Proceso de destilación del propileno



El proceso de destilación se compone de una serie de pasos que van eliminando los diferentes componentes no deseados hasta obtener Propileno.

Primero, se “dulcifica” la mezcla en la Merichem en la cual se separan componentes tales como Anhídrido carbónico o Mercaptanos.

Luego, se separan los componentes livianos en una columna de destilación “Deetanizadora”, tales como Metano, Etano o Nitrógeno.

Después de esto llega el paso más complejo, que es el de separar el Propileno del Propano, los cuales poseen un peso específico muy similar, por lo tanto se necesita una columna de destilación “Splitter” muy larga con gran cantidad de platos y con un sistema muy complejo de reflujo de condensado.

Para finalizar, se eliminan los últimos componentes residuales, como Arsina, y se obtiene el Propileno listo para polimerizar.

2.5.9 Aplicaciones del polipropileno

A partir de los procesos industriales se pueden preparar un sin fin de productos de polipropileno diferentes, cuyas propiedades varían según la longitud de las cadenas del polímero (peso molecular), de su polidispersidad, de los comonómeros eventualmente incorporados, etc. Estas características básicas definen las propiedades mecánicas del material y sus aplicaciones finales. Literalmente se habla de diferentes tipos o grados de polipropileno. Por todo esto, la gran diversidad de productos producidos con esta poliolefina le permite tener aplicaciones tan variadas como:

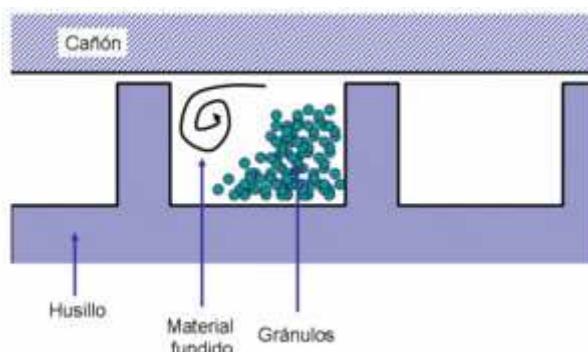
- Autopartes

- Baldes, recipientes, botellas
- Muebles
- Juguetes
- Películas para envases de alimentos
- Fibras y filamentos
- Bolsas y bolsones
- Fondo de alfombras
- Pañales, toallas higiénicas, ropa

2.6 FUSIÓN DEL POLÍMERO

El polímero funde por acción mecánica en combinación con la elevación de su temperatura por medio de calentamiento del cañón. La acción mecánica incluye los esfuerzos de corte y el arrastre, que empuja el polímero hacia la boquilla e implica un incremento en la presión, como se presenta en la figura 7.

Figura 7. Inicio del proceso de fusión del polímero en el extrusor



La primera fusión que se presenta en el sistema ocurre en la pared interna del cañón, en forma de una delgada película, resultado del incremento en la temperatura del material y posteriormente de la fricción. Cuando esta película crece, es desprendida de la pared del cañón por el giro del husillo, en un movimiento de ida y vuelta seguido de un barrido, formando un patrón semejante a un remolino o rotatorio sin perder el arrastre final. Esto continúa hasta que se funde todo el polímero.

La fusión y arrastre del material se comporta como sigue: si el material se adhiere al husillo y resbala sobre la pared del cañón, entonces el arrastre es cero, y el material gira con el husillo. Si en cambio, el material no resbala con la pared del cañón y resbala con el husillo, entonces el arrastre es máximo y ocurre el transporte de material.

En la realidad el polímero experimenta fricción tanto en la pared del cañón como en el husillo y las fuerzas de fricción determinan el arrastre que sufrirá el polímero.

3. ELEMENTOS DE LA MÁQUINA Y CÁLCULOS DE DISEÑO

Una máquina para procesamiento de plásticos requiere un análisis a partir de diferentes puntos de vista como lo son: el material a trabajar, el proceso a utilizar y la forma del producto.

Para el diseño de la máquina extrusora se ha tomado como referencia la camisa o barril existente en el “Taller de máquinas herramientas” de la Universidad Tecnológica de Pereira. En las figuras 8 y 9 se presenta este componente, el cual tiene un diámetro interno de 32mm y una longitud de 650 mm . Se aprobó el diseño de la máquina extrusora de plásticos de un solo husillo “monohusillo” tomando como referencia la pieza en mención.

Figura 8. Dimensiones de la camisa

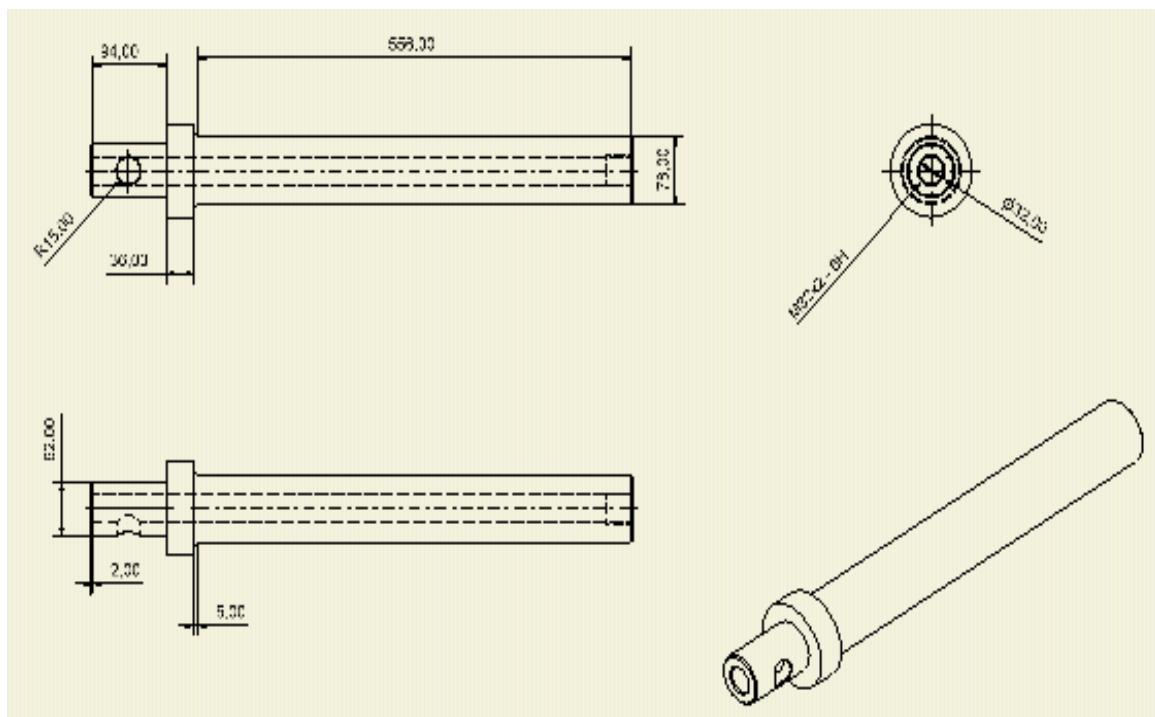


Figura 9. Vista superior de la camisa



3.1 CÁLCULO DE HUSILLO

En el Anexo 2 se presentan los parámetros a tener en cuenta a la hora de diseñar un husillo. Estos comprenden la composición molecular del material a trabajar, en nuestro caso el polipropileno (PP), el cual es un copolímero formado por reacciones de dos o más tipos de monómeros. Otros de los factores importantes son la temperatura de fusión y punto de transición vítrea del material a usar como materia prima.

3.1.1 Parámetros tecnológicos

Hablando en términos matemáticos el trabajo de una extrusora puede obtenerse aplicando conjuntamente las ecuaciones correspondientes a las leyes de conservación de la masa, energía y número de movimientos, con las cuales se describe el estado físico de un líquido a presión (en nuestro caso, la masa fundida).

En la figura 10 se muestra esquemáticamente un cilindro con husillo de un canal. Por razones contractivas la mayoría de extrusoras se fabrican con el husillo giratorio y el cilindro fijo, pero para mayor compresión podemos suponer que el cilindro es el que gira y el husillo es el que permanece inmóvil.

En el husillo se obtienen unas direcciones positivas en los ejes X, Y, Z del sistema de coordenadas fijas y los ejes auxiliares (L) vienen indicadas con flechas. El eje (Y) es perpendicular al plano seccionado, (Z) va dirigido en sentido longitudinal y (X) es transversal al canal helicoidal; (L) va dirigido longitudinalmente al husillo. El ángulo de hélice del canal helicoidal aumenta desde su valor mínimo, en el diámetro exterior, hasta el máximo, en el núcleo del husillo. Este ángulo se determina a partir de:

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{t}{\pi \times D} \quad (1)$$

Donde: (Ver figura 10)

D = Es el diámetro de la variable del canal

t = El paso del husillo

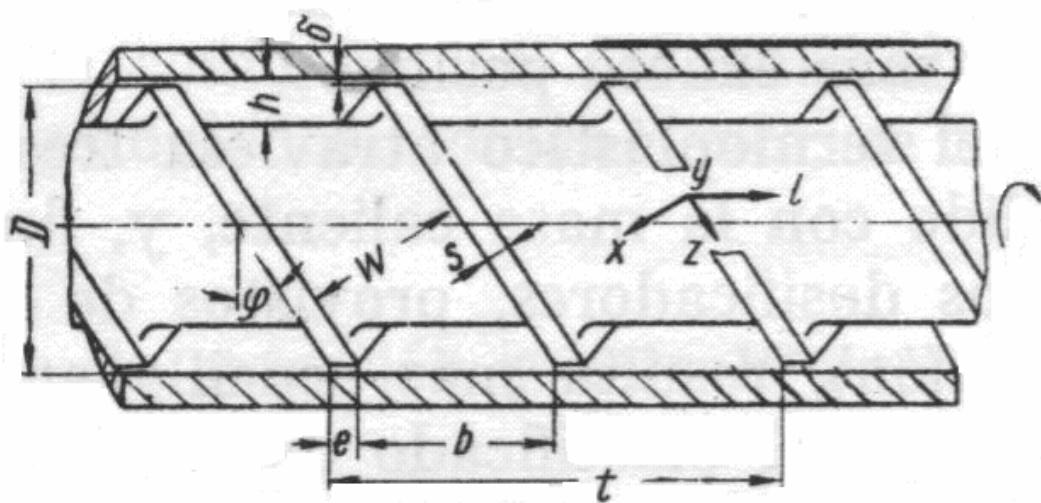
φ = Ángulo de hélice de canal

Teniendo en cuenta que $t = D$ tenemos:

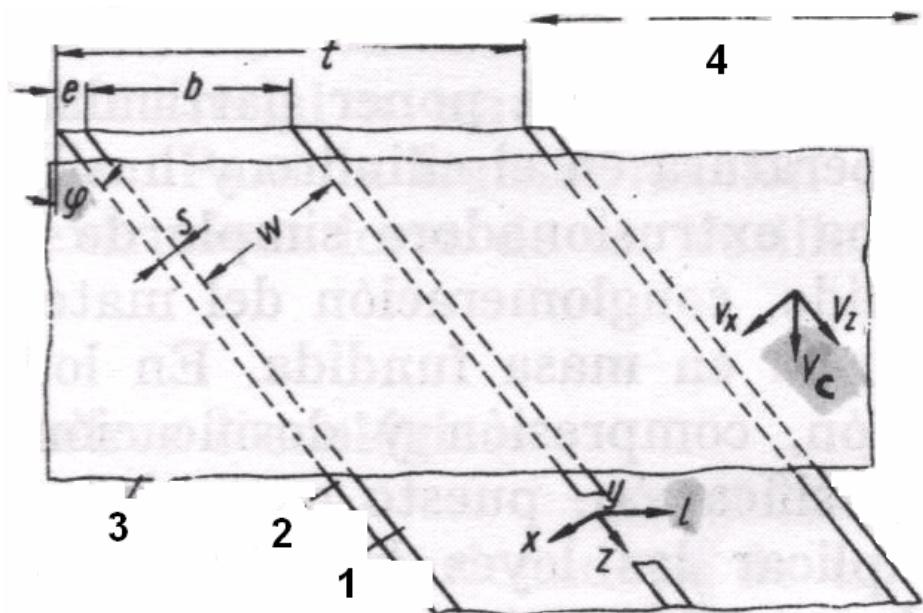
$$\varphi = \tan^{-1} \frac{1}{\pi} \quad \varphi = 17,65^\circ$$

De lo anterior podemos concluir que para husillos no muy especializados (en cuanto al tipo de material a procesar) siempre se utilizará el ángulo $\varphi = 17.65^\circ$ para cualquier tipo de diámetro cumpliéndose que $t = D$.

Figura 10. Sección de un cilindro con husillo de un canal. (a) Vista general, (b) Esquema del desarrollo



(a)



(b)

De la figura 10, donde se muestra el ángulo de inclinación de la hélice se presenta la siguiente notación:

h = Profundidad del canal;

V = Velocidad de cualquier partícula de la masa del canal en el punto X y Y;

W = Anchura del canal;

V_z = Componente de la velocidad tangencial o circunferencial a lo largo del canal;

V_c = Velocidad circunferencial del cilindro con relación al husillo

$V_c = \pi \times d \times \eta$;

L = Distancia en la dirección del eje en el punto considerado;

e = Anchura de la cresta del filete.

Con la finalidad de simplificar los cálculos, se tendrá en cuenta solo el valor mínimo del ángulo de la hélice, que corresponde al diámetro exterior del husillo, ya que en los husillos con poca profundidad del canal este ángulo varía muy poco. [8]

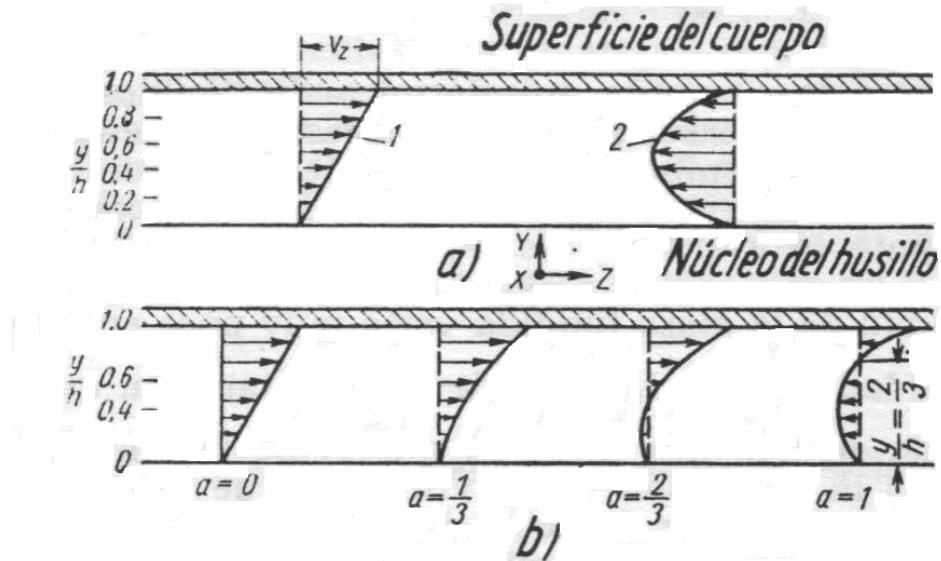
Prescindiendo de la curvatura del canal, éste puede ser desarrollado en un plano, tal como se ve en la figura 10(b). En este caso el cilindro se muestra en forma de un plano infinito 3 que se mueve frente a los canales 1 y filetes desarrollados 2 del husillo, en la dirección perpendicular al eje 4. La velocidad circunferencial del cilindro V_c se puede descomponer en dos componentes perpendiculares entre si V_z y V_x , dirigida longitudinal y transversalmente respecto al canal del husillo. La velocidad de la masa fundida en cualquier punto del canal se caracteriza por las componentes análogas V_z y V_x .

La velocidad V_x , conservando el flujo continuo, provoca el movimiento de la masa fundida en la dirección Y a una velocidad V_y . Esta velocidad es mayor en las paredes delanteras y traseras del canal, donde la masa fundida que corre en dirección transversal cambia el sentido de la corriente. Puesto que la componente V_y surge solamente a consecuencia del cambio de la velocidad V_x correspondiente a la corriente transversal, el efecto de V_x en la producción se puede despreciar. Por esta razón en lo sucesivo se considera que $V_y = 0$.

3.1.2 Producción del tornillo

La producción expresada como flujo volumétrico (Q), es el resultado de tres tipos diferentes de flujo. El flujo de arrastre (α), es el componente mayor provocado por el giro del tornillo. El flujo de presión (β), es el componente que se opone al flujo en el sistema y el flujo de filtración (γ), el cual reduce la producción por pérdidas de material entre las holguras del tornillo-barril. Por lo tanto, la producción en la zona de dosificación es equivalente a la producción total del tornillo. En la figura 11 se muestra un esquema de los perfiles para las distribuciones de velocidad de flujo.

Figura 11. Diagrama de velocidades de flujo



Según el investigador soviético Savgorodny [8], el flujo volumétrico Q se puede determinar con la siguiente expresión:

$$Q = \left(\frac{\alpha k}{k + \beta + \gamma} \right) \eta \quad (2)$$

Donde:

α : Flujo de arrastre;

β : Flujo de presión;

γ : Flujo de filtración;

k : Constante total de la forma geométrica de la cabeza perfiladora.

Cada uno de estos flujos está definido por una ecuación, que relaciona las dimensiones del husillo con algunas variables de la máquina. Todas las correlaciones utilizadas para estos cálculos se tomaron a partir del trabajo de Savgorodny [8]. En los siguientes subcapítulos se presenta la aplicación de cada una de ellas.

3.1.2.1 Flujo de arrastre o de fricción (Q_D ó α)

$$\alpha = \frac{\pi \times m \times D \times h \left(\frac{t}{m} - e \right) \cos^2 \varphi}{2} \quad (3)$$

Donde:

D = Diámetro del tornillo;

h = Profundidad del canal en la zona de bombeo;

φ = Ángulo de la hélice;

$\cos \varphi$ = Función trigonometría del coseno del ángulo;

m = Número de canales del husillo;

e = Anchura de la cresta del filete.

De esta manera, reemplazando los valores $m = 1$ y $e = 3.8mm$, en la ecuación 3 se tiene:

$$\alpha = \frac{3,1416 \times 1 \times 3,2cm \times 0,19cm \times 2,816cm \times \cos^2(17,65)}{2}$$

$$\alpha = 2,44216418873 cm^3$$

3.1.2.2 Flujo de presión (Q_p ó β)

$$\beta = \frac{m \times h^3 \left(\frac{t}{m} - e \right) \operatorname{sen} \varphi \times \cos \varphi}{12 \times L} \quad (4)$$

Donde

L = Longitud de husillo.

$$\beta = \frac{1 \times 0,19^3 \times 2,816 \text{ cm} \times \sin(17,65) \cos(17,65)}{12 \times 65 \text{ cm}}$$

$$\beta = 7,15467157369 \times 10^{-6} \text{ cm}^3$$

3.1.2.3 Flujo de filtración (Q_L ó γ)

$$\gamma = \frac{\pi^2 \times D^2 \times \delta^3 \times \tan \varphi}{10 \times e \times L} \quad (5)$$

Donde

δ = Holgura del filete;

$\tan \varphi$ = Función trigonométrica tangente del ángulo φ.

$$\gamma = \frac{3,1416^2 \times 3,2^2 \text{ cm} \times 0,0064^3 \text{ cm} \times \tan(17,65)}{10 \times 0,384 \text{ cm} \times 65 \text{ cm}}$$

$$\gamma = 3,37728058461 \times 10^{-8} \text{ cm}^3$$

En general la ecuación (5) no se considera en los cálculos pero tiene utilidad para comprobar la importancia del desgaste de los filetes, lo cual es necesario para el control de las pérdidas en la producción.

En la figura 11 se pueden apreciar los diagramas de velocidad de estos flujos. En la figura 11 (a) la velocidad varía en forma lineal con la profundidad del canal helicoidal; en la figura 11 (b) la velocidad varía según una ley parabólica. Sumando ambos diagramas se obtiene la velocidad real en cualquier punto (figura 11 (b)) cuando el material sale libremente $a = 0$; cuando la salida está cerrada $a = 1$.

3.1.2.4 Constante total de la cabeza (K)

Según el investigador soviético Savgorodny [8], para determinar la constante K (coeficiente de la forma geométrica) el cabezal se divide convencionalmente en sucesivas zonas de diferente configuración, estableciendo para cada una de estas zonas la constante K_i.

- Para un canal cilíndrico

$$K_1 = \frac{\pi \times d^4}{128 \times L} \quad (6)$$

Donde

d = Diámetro del canal del dado $d = 21mm$;
 L = Longitud del canal.

$$K_1 = \frac{3,1416 \times 2,1^4 cm}{128 \times 5cm}$$

$$K_1 = 9,54656376348 \times 10^2$$

- Para un canal cónico

$$K_2 = \frac{3 \times \pi \times d_0^3 \times d_1^3}{128 \times L(d_0^2 + (d_0 \times d_1) + d_1^2)} \quad (7)$$

Donde

d_0 = Diámetro de entrada del material en un canal anular cilíndrico;
 d_1 = Diámetro de salida del material en un canal anular cilíndrico.

$$K_2 = \frac{3 \times 3.1416 \times 2.1^3 cm \times 0.2^3 cm}{128 \times 5cm(2.1^2 cm + (2.1cm \times 0.2) + 0.2^2)}$$

$$K_2 = 2.24032003836 \times 10^{-4}$$

La constante común de la cabeza perfiladora se puede determinar como la suma de las resistencias experimentadas en las diferentes zonas.

$$K = \frac{1}{\sum \frac{1}{k_1} + \sum \frac{1}{k_2} + \dots + \sum \frac{1}{k_i}} \quad (8)$$

$$K = 2,24031951262 \times 10^{-4}$$

Para los cálculos prácticos resulta cómodo emplear la ecuación (2) para poder obtener el flujo volumétrico

$$Q = \left(\frac{2,44216418873 \text{ cm}^3 \times 2,24031951262 \times 10^{-4}}{2,24031951262 \times 10^{-4} + 7,15467157369 \times 10^{-6} \text{ cm}^3 + 3,37728058461 \times 10^{-8} \text{ cm}^3} \right) 113,39 \text{ rpm}$$

$$Q = 269,751290738 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

De la ecuación (2) obtenemos la producción del tornillo, pero la consistencia dimensional exige que los datos se presenten en $\frac{\text{kg}}{\text{h}}$. Siendo la densidad específica del polipropileno $0,0009 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$ (Ver Anexo1), se tiene:

$$0,0009 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \times 269,751290738 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} \times \frac{60}{1\text{h}} = 14,6 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

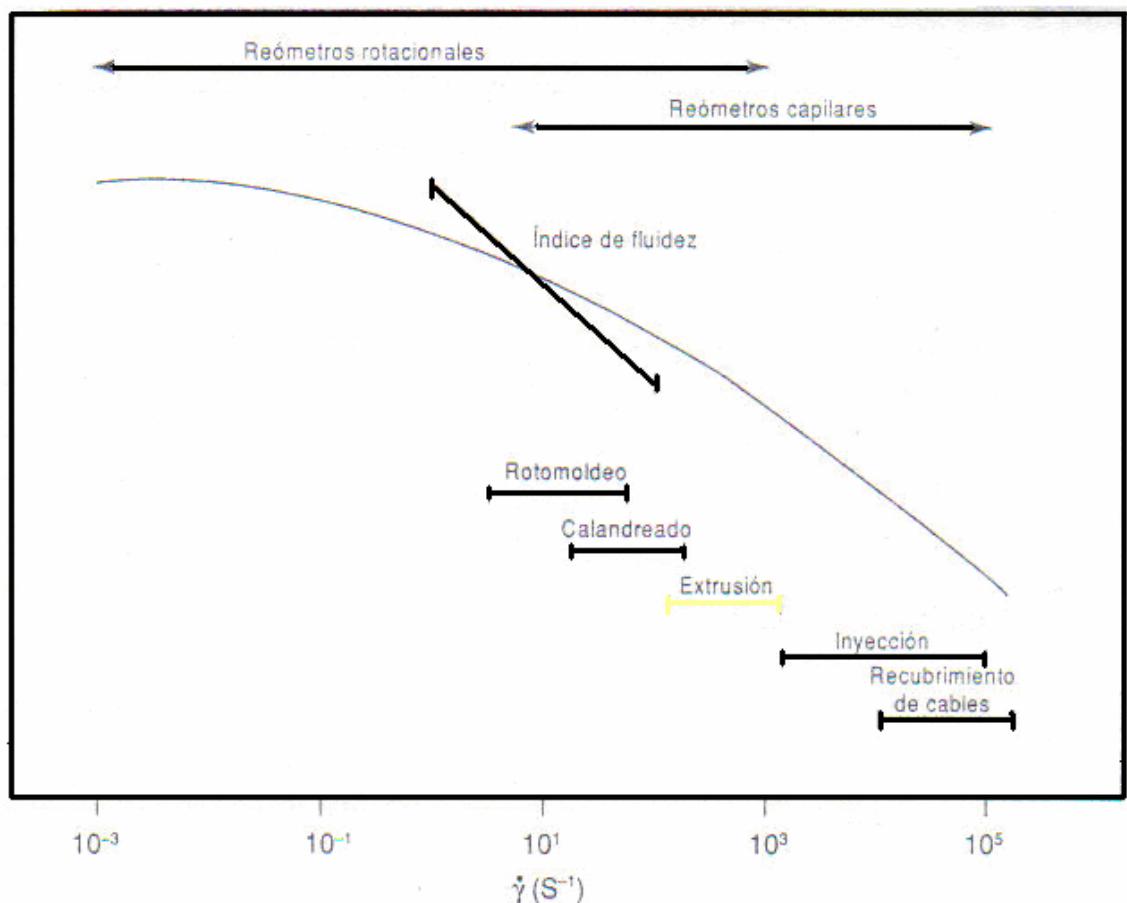
Esto indica que la producción de la máquina de extrusión será de 14,6 kilogramos de material por hora de operación.

3.1.3 Intervalos de velocidad de cortadura

Experimentalmente, se ha encontrado que la mayoría de los plásticos fundidos poseen un comportamiento reológico razonablemente pseudoplástico. Se dice que el intervalo de la velocidad de cortadura “ $\log \dot{\gamma}$ ”, para el cual aplica el proceso de extrusión, se encuentra limitado según lo presentado en la figura 12, ya que cuando este intervalo es mayor, se obtienen curvas con pendientes decrecientes.

En dicha figura los intervalos de velocidad de corte accesibles dependen de los diferentes tipos de reómetros. Para el plastómetro de extrusión con diferentes tipos de procesamiento, se opera entre 100 y 1000 s^{-1} .

Figura12. Intervalos de velocidad de cortadura

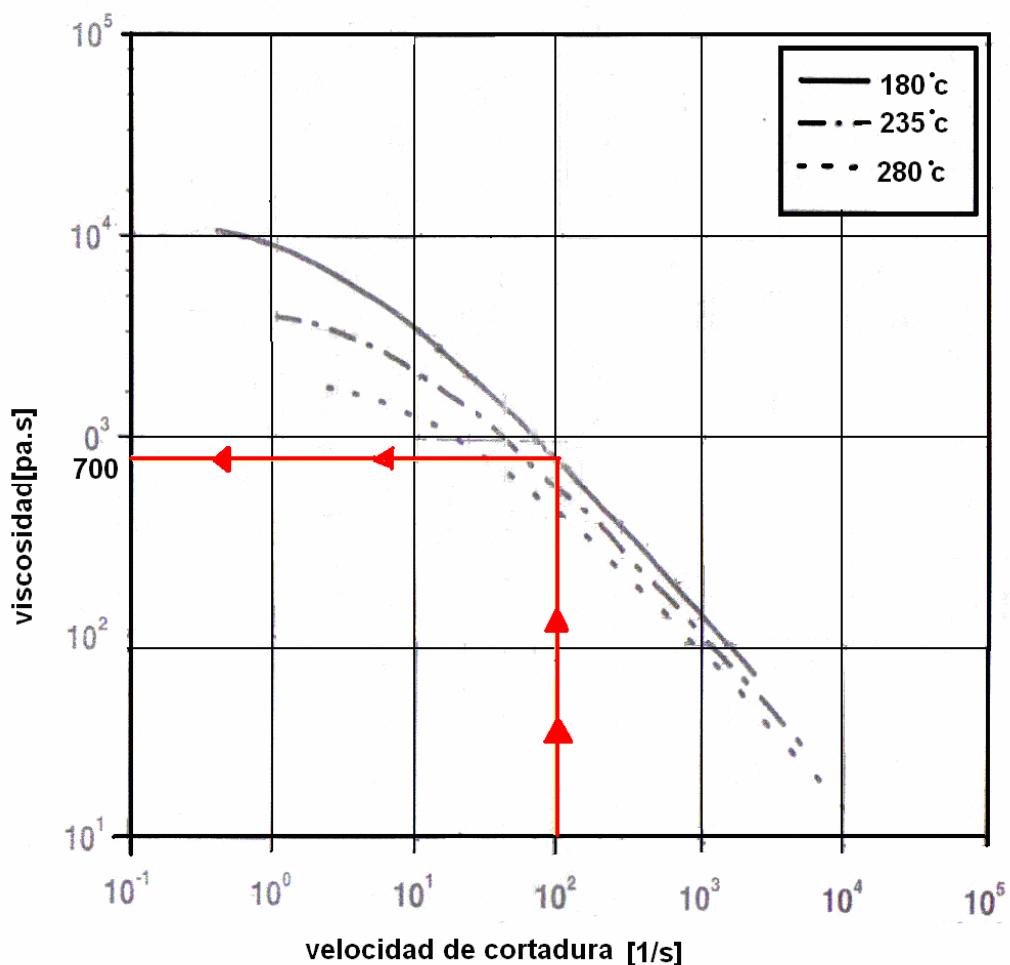


3.1.4 viscosidad efectiva

La viscosidad efectiva (η) se determina en función de la velocidad de cortadura por medio de diagramas, preparados para los diferentes materiales, en función de la temperatura, ya que la viscosidad de los termoplásticos depende este factor y del peso molecular, decreciendo al calentar el material y al disminuir su peso molecular.

De las figuras 12 y 13 se toman los datos correspondientes a una velocidad de cortadura ($\dot{\gamma}$) de $100(s^{-1})$ y viscosidad efectiva (η) a una temperatura de trabajo aproximada de 180°C . Con esto se obtiene un valor de viscosidad efectiva de 700 p.a.s

Figura 13. Intervalos de viscosidad



3.1.5 Relación de longitud del husillo

El husillo es el órgano fundamental de trabajo de una máquina extrusora. Tanto la producción como la aplicación de la extrusora dependen del diámetro del husillo, de la relación de longitud al diámetro ($L: D$), de la velocidad de giro y de las particularidades geométricas del canal helicoidal, perfil de vértices de los filetes y del cabezal, número de zonas, etc.

Generalmente, para la transformación del plástico se emplean extrusoras con husillo de diámetros que parten de 9 a 500 mm y relaciones ($L: D$) = $(6 \div 40):1$. Es más corriente sin embargo una relación ($L: D$) = $(20 \div 25):1$.

Según el material a transformar y en parte según la forma y finalidad de los artículos a fabricar, en este caso se fabricará una máquina a escala laboratorio, por lo cual se construirá de un solo canal.

Para la transformación de polipropileno (PP) se recomienda husillos que concuerden con los parámetros experimentales expuestos en el Anexo 3.

Tomamos como medida para el diámetro 32 mm ya que esta medida corresponde al diámetro interior de la camisa tomada inicialmente como base para el diseño. En el Anexo 3 se presentan en forma tabulada los parámetros geométricos del husillo, sin embargo a continuación se comprueban estos valores por medio de las ecuaciones 9 y 10, presentadas por Savgorodny [8].

- Paso del husillo (t)

$$\begin{aligned} t &= \pi \times D \times \tan \varphi \\ t &= 3,1416 \times 32\text{mm} \times \tan(17,6) \\ t &= 32\text{mm} \end{aligned} \tag{9}$$

- Ancho del filete (e)

$$\begin{aligned} e &= 0,12 \times D \\ e &= 0,12 \times 32\text{mm} \\ e &= 3,8\text{mm} \end{aligned} \tag{10}$$

Según estos resultados los valores corresponden con los presentados en el anexo en mención.

3.1.6 Tolerancias del tornillo/cilindro

Tiene mucha importancia en el trabajo de una extrusora la medida de la holgura entre la cresta del filete del husillo y la superficie interior del cilindro. Cuando la holgura es grande el material se mezcla con mayor efectividad, pero disminuye el avance del mismo por aumentar el flujo inverso del material. Generalmente se suele emplear husillos de diámetro constante, manteniendo una holgura entre el husillo y el cilindro de $0,002D$.

Lo anterior se demuestra con los planteamientos expuestos en las tablas del ICIPC (Instituto colombiano para la industria del plástico, ver Anexo 4).

Las ecuaciones presentadas por Savgorodny [8] para la determinación de estas tolerancias son:

$$\begin{aligned} \delta &= 0,002 \times D \\ \delta &= 0,002 \times 32\text{mm} \\ \delta &= 0,064\text{mm} \end{aligned} \tag{11}$$

Para las holguras del radio de filete se toma, a menos que se especifique, el radio de raíz. La holgura no debe ser menor que $\frac{1}{2}$ de la profundidad del filete hasta 1”.

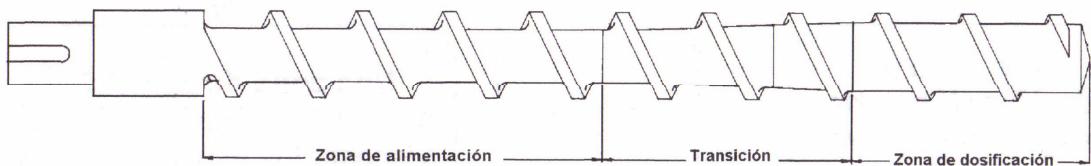
Cuando se especifica, se deben observar las siguientes tolerancias: $\pm 0,030"$ $\pm 0,75\text{mm}$.

En el caso del paralelismo y perpendicularidad todos los filetes serán perpendiculares al eje del husillo desde el radio de raíz al O.D en ambos lados, a menos que se especifique lo contrario. Otras superficies perpendiculares al eje del husillo pueden chequearse usando una superficie de una placa y un indicador de mesa de altura ajustable o una escuadra de presión. Se deben observar las siguientes tolerancias: todos los tamaños $\pm 0,006$ grados.

3.1.7 Zonas del husillo

La configuración geométrica del husillo depende fundamentalmente del material a transformar, para nuestro caso el polipropileno (PP). En la figura 14 se observa un husillo compuestos por tres zonas exactamente definidas cuyas longitudes corresponden a: alimentación 10D, compresión 6D y dosificación 4D. Para la transformación del polipropileno (PP) se recomiendan husillo de 20D de manera que comprenda las tres zonas mencionadas.

Figura 14. Zonas del husillo



3.1.8 Cálculo del número de filetes del husillo

El número de filetes se calcula por medio de la relación de longitud diametral que comprende el diámetro del husillo y el número de filetes. El cual se sugiere para extrusoras que trabajen con polipropileno (PP).

$$\frac{L}{D} : \text{Relación longitud/diámetro para determinación de número de filetes} \quad (12)$$

Debido a que $L = 650\text{mm}$ y $D = 32\text{mm}$

$$\frac{650\text{mm}}{32\text{mm}} = 20 \text{ Filetes}$$

3.1.9 Cálculo de revoluciones del husillo

Conociendo la velocidad de cortadura ($\dot{\gamma}$), el diámetro del husillo y la profundidad del canal podemos determinar fácilmente el número de revoluciones del husillo para las condiciones indicadas. La ecuación 13 presenta la correlación aplicada para tal fin.

$$\dot{\gamma} = \frac{\pi \times D \times \eta}{h_2 \times 1s} \quad (13)$$

$$100 \frac{1}{s} = \frac{3,1416 \times 32mm \times \eta}{1,9mm \times s}$$

$$\eta = \frac{100 \frac{1}{s} \times 1,9mm \times s}{3,1416 \times 32mm \times 1mm}$$

$$\eta = 1,8899 \frac{rev}{s} \times \frac{60s}{1min}$$

$$\eta = 113,39 rpm$$

3.1.10 Relación de compresión (β)

La relación de compresión es probablemente el término más usado en la terminología de diseño de tornillos, el cual es importante para determinar problemas de degradación asociados a la profundidad del canal o a la alta velocidad de rotación. La relación de compresión esta dada por:

$$\beta = \frac{h_1}{h_2} \quad (14)$$

$$\beta = \frac{6mm}{1,9mm}$$

$$\beta = 3$$

La relación de compresión (β) calculada se encuentra en 3 y coincide con la recomendada por los expertos en el procesamiento de plásticos.

3.1.11 Cálculo de la potencia requerida

La potencia es la rapidez con que se efectúa un trabajo, es decir, el trabajo por unidad de tiempo (Potencia = Trabajo / tiempo). Tomando los conceptos básicos de física sabemos que Trabajo = fuerza x distancia, que son precisamente las unidades del torque. Además sabemos que la velocidad rotacional de un motor se mide en rpm (cuyas unidades son 1/min). Entonces si multiplicamos el torque por las rpm del motor tenemos $F \times D / 60\text{seg}$ que es precisamente la potencia.

Conociendo el diámetro del husillo, el factor de proporcionalidad ($K = 66,7$) y el número de revoluciones podemos obtener la potencia dada por [8]:

$$\eta = \frac{K^2 \times N}{\pi \times D^3} \quad (15)$$

Donde

η = Número de revoluciones;

K = Factor de proporcionalidad;

D = Diámetro del husillo;

N = Potencia.

$$N = \frac{\eta \times \pi \times D^3}{K^2}$$

$$N = \frac{113,39 \text{ rpm} \times 3,1416 \times 32^3 \text{ mm}}{66,7^2}$$

$$N = 2,623 \text{ Kw}$$

3.1.12 Presiones en la máquina extrusora

La presión en las máquinas de extrusión se genera en la parte delantera del husillo cumpliendo un papel importante en el proceso y en el acabado del material, de igual manera es importante por que de ella se derivan diferentes cálculos para el diseño de dicha máquina.

- **Presión máxima [8]**

Por efectos de cálculo se toma a $Q = 0$, es decir no hay flujo de arrastre

$$p_{MAX} = \frac{6 \times \pi \times D \times L \times N \times \mu}{h^2 \times \tan \varphi} \quad (16)$$

Donde

- D = Diámetro del husillo;
- L = Longitud del husillo;
- N = Potencia;
- μ = Viscosidad efectiva.

$$P_{MAX} = \frac{6 \times 3,1516 \times 0,032m \times 0,128m \times 1,9 \frac{rev}{s} \times 700 Pa.s}{0,0019^2 \times \tan(17,65)}$$

$$P_{MAX} = 89,4 \frac{MN}{m^2}$$

- **Presión de operación [8]**

$$p_{op} = \frac{2 \times \pi \times \mu \times D^2 \times \eta \times h \times \sin \varphi \times \cos \varphi}{\left(\frac{R^4}{2 \times L_d} \right) + \left(\frac{D \times h^3 \times \sin^2 \varphi}{3 \times L} \right)} \quad (17)$$

Reemplazando los valores tenemos:

$$p_{op} = \frac{2 \times 3,1416 \times 700 \frac{N}{m^2} \cdot s \times 0,032^2 m \times 1,9 \frac{rev}{s} \times 0,0019 m \times \sin(17,65) \times \cos(17,65)}{\left(\frac{0,001^4 m}{2 \times 0,006m} \right) + \left(\frac{(0,032m \times 0,0019^3 m \times \sin^2(17,65))}{3 \times 0,65m} \right)}$$

$$p_{op} = 50,145 \frac{MN}{m^2}$$

3.1.13 Peso del husillo

Es importante calcular el peso de este dispositivo ya que de él se derivan los cálculos para hallar las fuerzas que se generan en el husillo.

3.1.13.1 Volumen del alma del husillo en cada sección

- Zona de alimentación

Se tienen los siguientes datos:

$$L = \text{Longitud de la zona de alimentación (0,320m)}$$

$$r = \text{Radio del alma del husillo (}0,01m\text{)}$$

Con los datos anteriores se halla el área:

$$A = \pi \times r^2$$

$$A = 3,1416 \times 0,01^2 m$$

$$A = 3,1416 \times 10^{-4} m^2$$

Con el valor determinado del área y la longitud se halla el volumen:

$$V_1 = A \times L$$

$$V_1 = 3,1416 \times 10^{-4} m^2 \times 0,320m$$

$$V_1 = 1,0053 \times 10^{-4} m^3$$

- Zona de transición

En esta zona se determina el volumen por medio de la siguiente fórmula:

$$V_2 = \frac{\pi}{3} \times h(r^2 + r \times R + R^2) \quad (18)$$

$$V_2 = \frac{3,1416}{3} \times 0,192m(0,01^2 m + (0,01m \times 0,0141m) + 0,0141^2 m)$$

$$V_2 = 8,843 \times 10^{-5} m^3$$

- Zona de dosificación

En esta zona se determina el volumen de la misma forma que en la zona de alimentación:

$$L = \text{Longitud de la zona de alimentación (}0,128m\text{)}$$

$$r = \text{Radio del alma del husillo (}0,0141m\text{)}$$

$$A = \pi \times r^2$$

$$A = 3,1416 \times 0,0141^2 m$$

$$A = 6,2458 \times 10^{-4} m^2$$

Con el resultado del área y la longitud podemos hallar el volumen

$$V_3 = A \times L$$

$$V_3 = 6,2458 \times 10^{-4} m^2 \times 0,128m$$

$$V_3 = 7,9946 \times 10^{-5} m^3$$

Después de tener los tres valores del volumen del alma del husillo decimos que

$$V_{TOTALDELALMA} = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V_{TOTALDELALMA} = 1,0053 \times 10^{-4} m^3 + 8,843 \times 10^{-5} m^3 + 7,9946 \times 10^{-5} m^3$$

$$V_{TOTALDELALMA} = 2,6891 \times 10^{-4} m^3$$

3.1.13.2 Volumen de los filetes en cada zona

- Zona de alimentación

Se tienen los siguientes datos

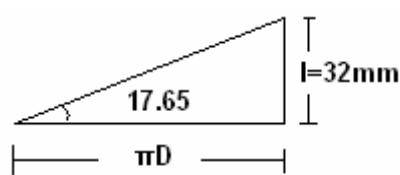
$$e = \text{Ancho del filete} (0,00384m)$$

$$h_1 = \text{Profundidad de canal en la zona de alimentación} (0,006m)$$

$$L = \text{Longitud del filete}$$

En la figura 15 se presenta el esquema para determinar la longitud del filete a partir de procedimiento trigonométrico y obtenemos la ecuación 19.

Figura 15. Triángulo rectángulo para hallar la longitud del filete

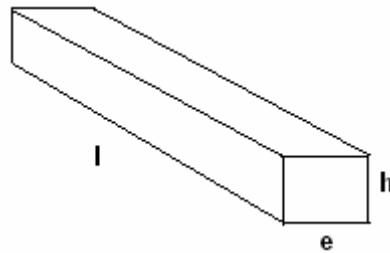


$$L = \sqrt{(\pi \times D)^2 + l^2} \quad (19)$$

$$L = 0,1055m$$

A partir del valor de longitud determinado se procede a determinar el volumen del filete mostrado esquemáticamente en la figura 16.

Figura 16. Sección del filete



De la figura 17 concluimos que el volumen es:

$$V_1 = L \times e \times h$$

$$V_1 = 0,1055m \times 0,00384 \times 0,006m$$

$$V_1 = 2,43072 \times 10^{-6} m^3$$

Para hallar el volumen total en la zona de alimentación se multiplica por el número de filetes que hay en dicha franja:

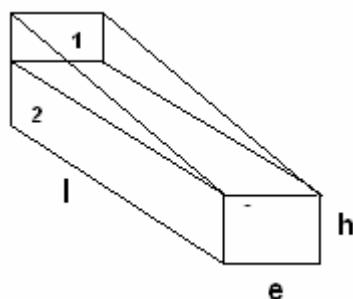
$$V_{T1} = 2,43072 \times 10^{-6} m^3 \times 10$$

$$V_{T1} = 2,43072 \times 10^{-5} m^3$$

- Zona de transición

Para hallar el volumen en la zona de transición debemos dividir el filete en dos partes, una rectangular y una triangular, respectivamente. Esto con el fin de poder determinar su verdadero valor (Ver figura 17).

Figura 17. Sección del filete en la zona cónica



Para la zona rectangular tenemos

$$V_{2-1} = L \times e \times h$$

$$V_{2-1} = 0,1055m \times 0,00384 \times 0,006m$$

$$V_{2-1} = 2,43072 \times 10^{-6} m^3$$

De igual manera se toma el volumen obtenido en esta zona y se multiplica por el número de filetes

$$V_{T2-1} = 2,43072 \times 10^{-6} m^3 \times 6$$

$$V_{T2-1} = 1,4584 \times 10^{-5} m^3$$

Para la zona triangular tenemos:

$$A_{\wedge} = \frac{b \times h}{2} \quad (20)$$

$$A_{\wedge} = \frac{0,1055m \times 0,0041m}{2}$$

$$A_{\wedge} = 2,16275 \times 10^{-4} m^2$$

Con el resultado del área y la longitud podemos hallar el volumen:

$$V_{2-2} = 2,16275 \times 10^{-4} m^2 \times 0,1055m$$

$$V_{2-2} = 2,2817 \times 10^{-5} m^3$$

De igual manera se toma el volumen obtenido en esta zona y se multiplica por el número de filetes:

$$V_{T2-2} = 2,2817 \times 10^{-5} m^3 \times 6$$

$$V_{T2-2} = 1,36902 \times 10^{-4} m^3$$

Conociendo el volumen total en las dos zonas podemos deducir que:

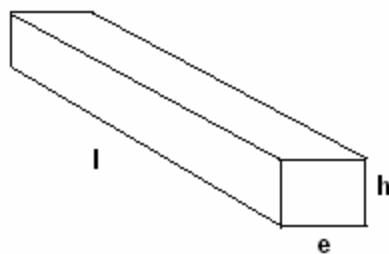
$$V_2 = V_{T2-1} + V_{T2-2}$$

$$V_{T2} = 1,51486 \times 10^{-4} m^3$$

- Zona de dosificación

Los cálculos de volumen en esta zona son iguales a los de la zona de alimentación pero con una variación en el valor de la profundidad del canal, donde $h_2 = 0,0019m$.

Figura 18. Sección del filete en la zona de dosificación



$$V_3 = L \times e \times h$$

$$V_3 = 0,1055m \times 0,00384 \times 0,0019m$$

$$V_3 = 7,69728 \times 10^{-7} m^3$$

De igual manera para hallar el volumen total en la zona de dosificación se multiplica por el número de filetes que hay en dicha franja:

$$V_{T3} = 7,69728 \times 10^{-7} m^3 \times 4$$

$$V_{T3} = 3,078912 \times 10^{-6} m^3$$

Después de tener los tres valores del volumen de los filetes del husillo decimos que:

$$V_{TOTALFILETES} = V_{T1} + V_{T2} + V_{T3}$$

$$V_{TOTALFILETES} = 2,43072 \times 10^{-5} m^3 + 1,51486 \times 10^{-4} m^3 + 3,078912 \times 10^{-6} m^3$$

$$V_{TOTALFILETES} = 1,789 \times 10^{-4} m^3$$

De esta manera se suman los valores del volumen del alma del husillo con los valores de filete del husillo y tendremos el volumen total:

$$V_{TOTAL} = V_{TOTALDELALMA} + V_{TOTALFILETE}$$

$$V_{TOTAL} = 2,6891 \times 10^{-4} m^3 + 1,789 \times 10^{-4} m^3$$

$$V_{TOTAL} = 4,4781 \times 10^{-4} m^3$$

Con el volumen total podemos hallar el peso del husillo teniendo en cuenta que el material es un acero 4140 cuya selección se especifica en un capítulo posterior. Así obtenemos la densidad del material a partir del Anexo 5, con un valor de $7700 \frac{kg}{m^3}$.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (21)$$

$$m = \rho \times V$$

$$m = 7700 \frac{kg}{m^3} \times 4,4781 \times 10^{-4} m^3$$

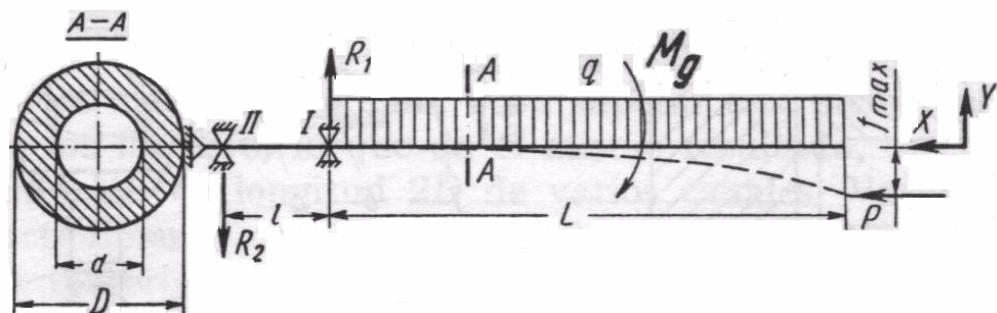
$$m = 3,44 kg$$

3.1.14 Cálculo de fuerzas del husillo

La misión fundamental de un cálculo de resistencia consiste en comprobar las dimensiones previamente determinadas del husillo y determinar la flecha máxima admisible.

Sobre el husillo actúa la fuerza axial P , el momento de giro M_g y la carga uniformemente repartida q , originada por el propio peso del husillo. La fuerza P y q provocan la flecha f del husillo como se presenta en la figura 19.

Figura 19. Diagrama de fuerzas de un husillo



Como paso inicial para calcular las fuerzas en el husillo se calcula el torque que indica la fuerza aplicada en una palanca para lograr la rotación de un elemento sobre un eje determinado. Al aplicar fuerza en el extremo de una llave se aplica un torque que hace girar el husillo. En términos científicos el torque es la fuerza aplicada multiplicada por el largo de la palanca (Torque = $F \times D$) y la medimos en Newton. Metro.

Para nuestro caso aplicaremos la fórmula empírica dada por Savgorodny [8] que involucra una constante (K), cuyo valor en el sistema internacional es $K = 9550 \text{ Newton.metro}$ y en el sistema inglés es.

$$Mg = 9550 \frac{N}{\eta} \quad (22)$$

Donde:

N = Potencia del motor en Kw;

η = Número de revoluciones del husillo;

$$Mg = 9550 \frac{2,623Kw}{113,39}$$

$$Mg = 220 \text{ [N.m]}$$

El segundo factor a calcular es u que es la relación existente entre los diámetros del husillo.

$$u = \frac{d}{D} \quad (23)$$

$$u = \frac{0,020m}{0,0282m}$$

$$u = 0,7092$$

El siguiente cálculo involucra la determinación de F que es la superficie transversal del husillo seccionado por A-A como se presenta en la figura 19:

$$F = \frac{\pi \times D^2}{4} (1 - u^2) \quad (24)$$

$$F = \frac{3,1416 \times 0,032^2 m}{4} (1 - 0,7092^2)$$

$$F = 3,9972 \times 10^{-4} m^2$$

Enseguida se calcula el momento de inercia J de la sección transversal A-A de la figura 19:

$$J = \frac{\pi \times D^4}{64} (1 - u^4) \quad (25)$$

$$J = \frac{3,1415 \times 0,032^4 m}{64} (1 - 0,7092^4)$$

$$J = 3,8449 \times 10^{-8} m^4$$

El siguiente paso es el cálculo del radio de inercia R_i de la sección

$$R_i = \sqrt{\frac{J}{F}} \quad (26)$$

$$R_i = \sqrt{\frac{3,8449 \times 10^{-8} m^4}{3,9972 \times 10^{-4} m^2}}$$

$$R_i = 9,8077 \times 10^{-3} m$$

La determinación de la esbeltez del husillo λ se realiza con la siguiente expresión, donde la constante $\alpha = 2$ según parámetros preestablecidos para el manejo de polipropileno.

$$\lambda = \frac{\alpha \times L}{R_i} \quad (27)$$

$$\lambda = \frac{2 \times 0,65m}{9,8077 \times 10^{-3} m}$$

$$\lambda = 132,5$$

Los valores iniciales para el cálculo de fuerzas en el husillo se determinan fácilmente mediante la siguiente fórmula:

$$P = F \times p \text{ [Newton]} \quad (28)$$

Donde:

F = Superficie de la sección transversal del husillo, sobre la que ejerce su presión el material (m^2);

p = Presión específica del material en la parte delantera del cilindro

$$\left(\frac{N}{m^2} \right).$$

$$P = 3,9972 \times 10^{-4} m^2 \times 89,4 \frac{MN}{m^2}$$

$$P = 35734,968 N$$

La tensión tangencial máxima sobre la superficie del husillo está dada por:

$$\tau = \frac{16 \times M_g}{\pi \times D^3 (1 - u^4)} \quad (29)$$

$$\tau = \frac{16 \times 220 N.m}{3,1516 \times 0,032^3 m (1 - 0,70922^4)}$$

$$\tau = 45,8 \frac{MN}{m^2}$$

Puesto que las tensiones normales son provocadas por la fuerza axial P y la carga repartida q , las tensiones máximas surgirán en el apoyo del árbol:

$$q = \frac{\text{Peso del tornillo}}{\text{Longitud del tornillo}} \quad (30)$$

$$q = \frac{3,44\text{kg}}{0,65\text{m}}$$

$$q = 5,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

La tensión normal σ está dada por la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{P}{F} + \frac{M_f}{W_0} \quad (31)$$

Donde:

M_f : Momento de flexión máximo

$$M_f = \frac{q \times L^2}{2} \quad (32)$$

$$M_f = \frac{5,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times 0,65\text{m}}{2}$$

$$M_f = 1.118$$

El momento de residencia respecto al eje neutro W_0 se puede determinar utilizando la siguiente correlación:

$$W_0 = \frac{\pi \times D^3}{32} (1 - u^4) \quad (33)$$

$$W_0 = \frac{3.1416 \times 0.032^3}{32} (1 - 0.70922^4)$$

$$W_0 = 2.4031 \times 10^{-6}$$

Reemplazando los datos obtenidos en la ecuación 31 se halla la tensión normal σ como sigue:

$$\sigma = \frac{35734,968N}{3,9972 \times 10^{-4} m^2} + \frac{1,118}{2,4031 \times 10^{-6}}$$

$$\sigma = 89,9 \frac{MN}{m^2}$$

La solidez del husillo aplicando la tercera teoría de resistencia, será:

$$\sigma_r = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \quad (34)$$

$$\sigma = \sqrt{(89,9)^2 + 4(45,8)^2} \frac{MN}{m^2}$$

$$\sigma = 128,3 \frac{MN}{m^2}$$

La flecha máxima del husillo al aplicar la carga repartida se determina a partir de:

$$f_{Max} = \frac{q \times L^4}{8 \times E \times J} \quad (35)$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad del material (Ver Anexo 6)

$$f_{Max} = \frac{5,3 \frac{kg}{m} \times 0,65^4 m}{8 \times 207 \times 10^9 pa \times 3,8449 \times 10^{-8} m^4}$$

$$f_{Max} = 1,484 \times 10^{-5} m$$

A partir de este valor se puede concluir que el husillo tendrá una flecha muy reducida lo que se traduce en una mínima deflexión del mismo como producto de los esfuerzos implicados.

3.1.15 Selección de material para el husillo

A la hora de seleccionar el material para el husillo se deben tener en cuenta las condiciones de operación del mismo y los factores químicos y mecánicos que

afectarían la pieza, ya que ésta estará sometida a un ambiente agresivo dado por elementos corrosivos además de los elevados esfuerzos.

Analizando diferentes opciones se optó por seleccionar un acero 4140, el cual ofrece una serie de ventajas teniendo en cuenta las consideraciones anteriores.

El acero 4140 posee alta templabilidad en aceite. Su alto contenido de Cromo le proporciona buenos valores de dureza además de un excelente comportamiento a la corrosión, el Molibdeno ofrece igualmente valores favorables de resistencia, haciéndolo escencialmente útil en el formado de este tipo de partes. Por sus propias características, responde a todos los tratamientos térmicos y es de muy fácil maquinabilidad aún después de ser tratado. Resiste temperaturas de más de 540°C (1000°F) sin perder ninguna de sus cualidades aún después de haber sido sometido a un ritmo de trabajo excesivo y a altas temperaturas. Tomando en cuenta sus características y ventajas es de una resistencia y fuerza admirables que lo hacen el de mayor uso entre los grados aleados.

Los usos más habituales de este material son la fabricación de perforadoras, cortadoras, tornillos, acoplos, mesas rotatorias, junturas, ruedas, válvulas, tornillos para alta temperatura, ruedas dentadas, pistones, eslabones para cadena, etc.

- **Maquinabilidad**

La maquinabilidad de este acero es de aproximadamente un 65% basándose en el acero AISI 1213 al 100%.

- **Soldabilidad**

A pesar de las dificultades que presenta ante el proceso de soldadura, es posible realizarla mediante un tipo de soldadura especial, teniendo cuidado de precalentar y post calentar para un eficiente relevo de tensiones.

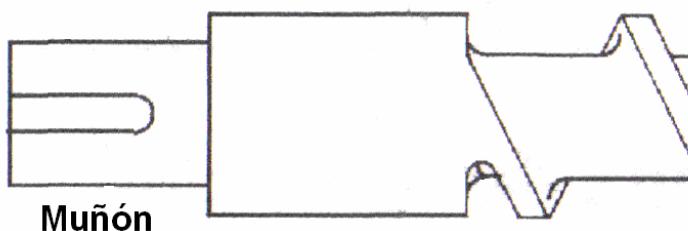
En el Anexo 5 se presentan diferentes materiales como posibles candidatos para la fabricación de husillos. Teniendo en cuenta las características mencionadas anteriormente se optó por el acero 4140 ya que las demás opciones implican mayores costos, principalmente por la necesidad de su importación.

3.1.16 Diseño del muñón

El muñón es la parte trasera del husillo, donde se logrará el acople con el motor para poder dar movimiento y plastificar el material. En la figura 20 se presenta un esquema de esta parte del sistema. A continuación se presentarán los cálculos pertinentes para comprobar la resistencia y los concentradores de

esfuerzos del muñón, los cuales tendrán una reducción de un milímetro radial a partir del diámetro inicial del husillo.

Figura 20. Diseño del muñón



- El eje es de acero 4140 templado y revenido a 800°F. En el Anexo 6 se presentan las principales propiedades mecánicas de este material a diferentes estados de tratamiento térmico. A partir de estos datos tenemos:

- Resistencia de fluencia en tracción

$$S_y = 165 \text{ ksi} (1138 \text{ MPa})$$

- Esfuerzo último en tracción

$$S_u = 181 \text{ ksi} (1248 \text{ MPa})$$

- Elongación 13% (Dúctil)

- Dureza Brinell 370HB

- De cálculos realizados anteriormente se retoman los siguientes valores para ser aplicados en esta etapa de diseño:

- El torque se ha determinado por medio de la ecuación 22 obteniendo un valor de 220 N.m

- El diámetro del muñón es de 31 mm por las consideraciones mencionadas.

- Las revoluciones se obtuvieron por medio de la ecuación 13 reportando un valor de $\eta = 113,39 \text{ rpm}$

- La potencia, obtenida con la ecuación 15, tiene un valor de $N = 2,623 \text{ Kw}$

- A continuación se presentarán las consideraciones de diseño para el concentrador de esfuerzos que aparece debido a la reducción de diámetro del muñón con respecto al husillo:

Debido a que el porcentaje de elongación es del 13%, hablamos de un material dúctil, por lo tanto, para hallar el factor de seguridad se utilizarán las ecuaciones de Saderberg para este tipo de materiales.

$$N = \frac{S_n}{S_a K_f} \quad (36)$$

Donde:

S_n = Resistencia a la fatiga

S_a = Esfuerzo alternativo

K_f = Coeficiente de reducción de esfuerzo a la fatiga

$$S_n = K \times K_{car} \times S_n^1 \quad (37)$$

Para la ecuación 37 tenemos:

K = Operación de pieza (maquinado y forma)

K_{car} = Coeficiente debido a la carga que soportara la pieza

S_n^1 = Oposición del material a dejarse fatigar

$$S_n^1 = 0,5 \times S_u$$

$$S_n^1 = 0,5 \times 1248 MPa$$

$$S_n^1 = 624 MPa$$

Se define $K_{car} = 0,6$ ya que soportará cargas a torsión pura

$$S_a = \frac{T_a \times r}{J} = \frac{T_a \times r}{\frac{\pi}{32} (d)^4} \quad (38)$$

Para la ecuación 38 tenemos:

T_a = Torque (220N.m)

r = Radio del muñón

d = Diámetro del muñón (31mm)

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \quad (39)$$

Para la ecuación 39 tenemos:

q = Sensibilidad al entalle.

$q = 0,79$ (Según Anexo 8)

K_t = Coeficiente de esfuerzos

$K_t = 1,24$ (Según anexo 9)

$$K = K_a \times K_b \times K_c \times K_d \times K_{ev} \quad (40)$$

Donde:

K_a = Coeficiente de superficie

$K_a = 0,9$ ya que la pieza tiene como acabado un rectificado fino (Ver Anexo 7)

K_b = Coeficiente de tamaño

$$K_b = 0,869 \times (0,031m)^{-0,097}$$

$$K_b = 1,2172$$

K_c = Coeficiente de confiabilidad

$K_c = 0,759$ Para una confiabilidad del 99,9% en el diseño

K_d = Coeficiente de temperatura

$K_d = 1$ Ya que el rango de temperatura para este caso es inferior a 550°C

K_{ev} = Coeficiente de efectos varios

$K_{ev} = 1$ Para el proceso de esta máquina no se esperan mayores percances

De esta manera tomamos la ecuación 40 y reemplazando los valores definidos anteriormente decimos que:

$$K = 0,9 \times 1,2172 \times 0,759 \times 1 \times 1$$

$$K = 0,831$$

Retomando la ecuación 37 tenemos que:

$$S_n = 0,831 \times 0,6 \times 624 MPa$$

$$S_n = 311,13 MPa$$

Para hallar K_f aplicamos la ecuación 39 reemplazando los valores correspondientes así:

$$K_f = 1 + q(K_t - 1)$$

$$K_f = 1 + (0,79)(1,24 - 1)$$

$$K_f = 1,1896$$

Recurriendo a la ecuación 38 del esfuerzo alternativo

$$S_a = \frac{T_a \times r}{\frac{\pi}{32} (d)^4}$$

$$S_a = \frac{220N.m(0,0155m)}{\frac{3,1416}{32}(0,031)^4}$$

$$S_a = 37,77 MPa$$

Para hallar el factor de seguridad utilizamos la ecuación 36:

$$N = \frac{S_n}{S_a K_f}$$

$$N = \frac{311,13 Mpa}{(37,77 Mpa)(1,1896)}$$

$$N = 9,92$$

- Para consideraciones de diseño para el concentrador de esfuerzo debido a la chaveta, debemos tener en cuenta que de todas las constantes a aplicar en las ecuaciones, la única que cambia es el K_t , que representa el factor de concentración de esfuerzos. Aplicando el mismo procedimiento cambiando el valor de K_t se tiene:

$$N = \frac{S_n}{S_a K_f}$$

El único valor que varía es K_t :

$$K_t = 1,6 \text{ (Ver Anexo10)}$$

Donde podemos decir que:

$$K_f = 1 + (0,79)(1,6 - 1)$$

$$K_f = 1,474$$

Teniendo así

$$N = \frac{311,13 Mpa}{(37,77 Mpa)(1,474)}$$

$$N = 5,5$$

Con los dos factores de seguridad, tanto de la reducción de diámetro, como el de la chaveta se satisfacen las necesidades de diseño.

3.1.17 Diseño de la chaveta

Una cuña ó chaveta es un elemento de máquina que se ubica en la interfase del eje y la masa de una pieza que transmite potencia con el fin de transmitir torque. La cuña es desmontable para facilitar el ensamblaje y desarmado del sistema de eje. Se instala dentro de una ranura axial que se maquina en el eje, la cual se denomina cuñero ó chavetero.

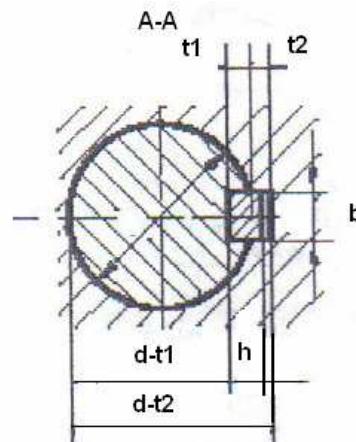
La cuña se usará en el ensamblaje de partes de la máquina extrusora de plásticos, la cual tiene como función asegurar las mismas contra un movimiento relativo, por lo general rotatorio, como es el caso entre flechas, cigüeñales, volantes, etc. Aún cuando los engranajes, las poleas, etc., están montados con un ajuste de interferencia, es aconsejable usar una cuña diseñada para transmitir el momento torsionante total.

Cuando las fuerzas relativas no son grandes, se emplea una cuña redonda, una cuña de silleta o una cuña plana. Para trabajo pesado, que es nuestro caso, son más adecuadas las cuñas rectangulares o cuadradas.

Para el diseño planteado se utilizará una cuña cuadrada o rectangular. Es el tipo más común de las cuñas para ejes de hasta $6 \frac{1}{2}$ " de diámetro. La cuña rectangular se sugiere para ejes largos y se utiliza en ejes cortos donde puede tolerarse una menor altura. Tanto la cuña cuadrada como la rectangular se denominan cuñas paralelas porque la parte superior, la inferior y los lados de la cuña son todos paralelos.

En el gráfico de la figura 21 se presenta el siguiente esquema:

Figura 21. Medida nominal de la chaveta en mm



Del gráfico tenemos:

b = Base de la chaveta;

h = Altura de la chaveta;

d = Diámetro del husillo;

t_1 Y t_2 Medida nominal del chavetero (profundidad en el árbol);

Las medidas correspondientes a la chaveta base y altura de tablas para diseño de chavetas se toman de la información presentada en el Anexo 11, llegando a los siguientes valores:

$$b = 10\text{mm}$$

$$h = 8\text{mm}$$

$$d = 32\text{mm}$$

De la ecuación 41 tomamos la medida para ubicar la chaveta en el husillo.

$$d - t_1 \quad (41)$$

$$d + t_2 \quad (42)$$

Donde:

d = Diámetro del árbol (mm)

t_1 = Profundidad en el árbol (mm)

t_2 = Profundidad en el cubo (mm)

Reemplazando los valores en las ecuaciones 41 y 42, respectivamente se tiene:

$$32\text{mm} - 5,0\text{mm} = 27\text{mm}$$

$$32\text{mm} + 3,3\text{mm} = 35,3\text{mm}$$

Las normas Din para chavetas contemplan distintas formas y tamaños para las mismas. Todas ellas pueden ser fabricadas con aceros de: cementación, temple, aceros inoxidables ferríticos y martensíticos, así como aceros austeníticos resistentes al ácido y al óxido, acero C45K (Ver Anexo12).

3.1.18 Selección Mezclador

Las extrusoras de monohusillo desempeñan una gran variedad de funciones, dentro de las cuales se consideran como las más importantes la formación de presión y el transporte del polímero fundido. Si la extrusora se alimenta con polímero en estado sólido (gránulos), se trata de una extrusora de plastificación

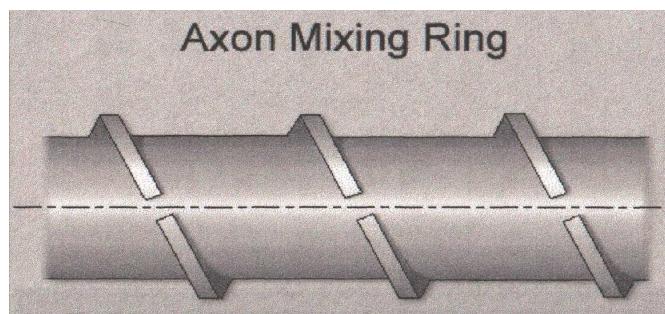
y, por lo tanto, surgen dos funciones adicionales: transporte de sólido y plastificación.

En algunas extrusoras se realiza una función adicional como la desgasificación, que consiste en la remoción de gases del polímero. Sin embargo, en todos los procesos de extrusión se requiere una función adicional muy importante: la mezcla. La mayoría de polímeros o compuestos poliméricos son mezclas de uno o más polímeros con una gran variedad de aditivos (estabilizadores, lubricantes, retardantes a la llama, pigmentos, colorantes entre otros). Como consecuencia de lo anterior, una mezcla eficiente durante la extrusión es de crucial importancia, pues se desea obtener un producto extruído consistente y de buena calidad.

En resumidas cuentas la mezcla puede ser definida como un proceso para reducir la no uniformidad de un compuesto resultando en la reducción de diferencias de concentración o temperatura.

Para el diseño se recomienda un mezclador tipo AXON (Ver figura 22), el cual es opcional, ya que la máquina no manejará diferentes materiales, y se operará solamente para procesamiento de polipropileno (PP). Este tipo de mezcladores posee un buen desempeño para aditivos o pigmentos y se clasifican según su desempeño (Ver Anexo13)

Figura 22. Mezclador Axon Mixing Ring



3.2 SOPORTE DE LA MÁQUINA

La base es la encargada de sostener todo el peso de la máquina el cual es de 5,5 kg aproximadamente y a su vez sirve de soporte a los componentes, por tanto esta debe ser rígida y resistente. Por esta razón se selecciona un acero ACTM A36 para estructuras metálicas en general, calibre 3/16 espesor de 4,73mm y un peso de 37,37kg/m², el cual posee las siguientes propiedades mecánicas: límite elástico de 250MPa, resistencia a la tracción de 550MPa y porcentaje de alargamiento del 23% (dúctil) Información más completa de este material se presenta en el Anexo 14 y 19 donde se presentan las diferentes medidas de esta base.

3.2.1 Factor de seguridad

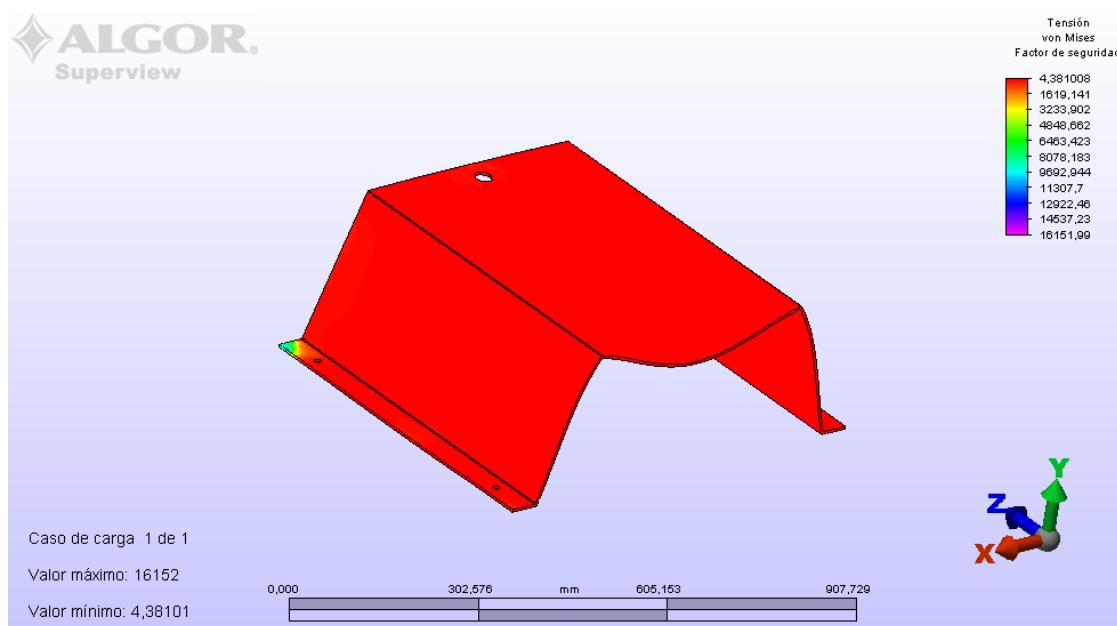
Es un factor (número mayor que 1) que se utiliza en ingeniería para los cálculos de diseño de elementos o componentes de maquinaria, estructuras o dispositivos en general.

El factor de seguridad se aplica principalmente de dos maneras: 1) ó bien multiplicando la dimensión del elemento resultante de los cálculos teóricos, 2) ó bien dividiendo las propiedades favorables del material que determinan el diseño. En ambos casos lo que resulta en un sobredimensionamiento del componente.

El sobredimensionamiento se justifica por variadas causas, como las siguientes: previsiones de desgaste o corrosión, posibles errores en las propiedades de los materiales que se manejan, diferencias entre las propiedades tabuladas y las obtenibles en la realidad, tolerancias de fabricación o montaje, tolerancias por incertidumbre en las solicitudes a que se someterá el elemento, la propia incertidumbre del método de cálculo, etc.

Para nuestro caso tomamos ayuda de software ALGOR (Algor constituye un conjunto de herramientas software en un variado campo del análisis mecánico o estructural, basado en el Método de los Elementos Finitos FEA), el cual nos arroja los datos correspondientes al factor de seguridad debido a la deformación del material con un valor mínimo de 4,381008 y un valor máximo de 16152 los cuales nos garantizan que la pieza no fallará (Ver Figura 23).

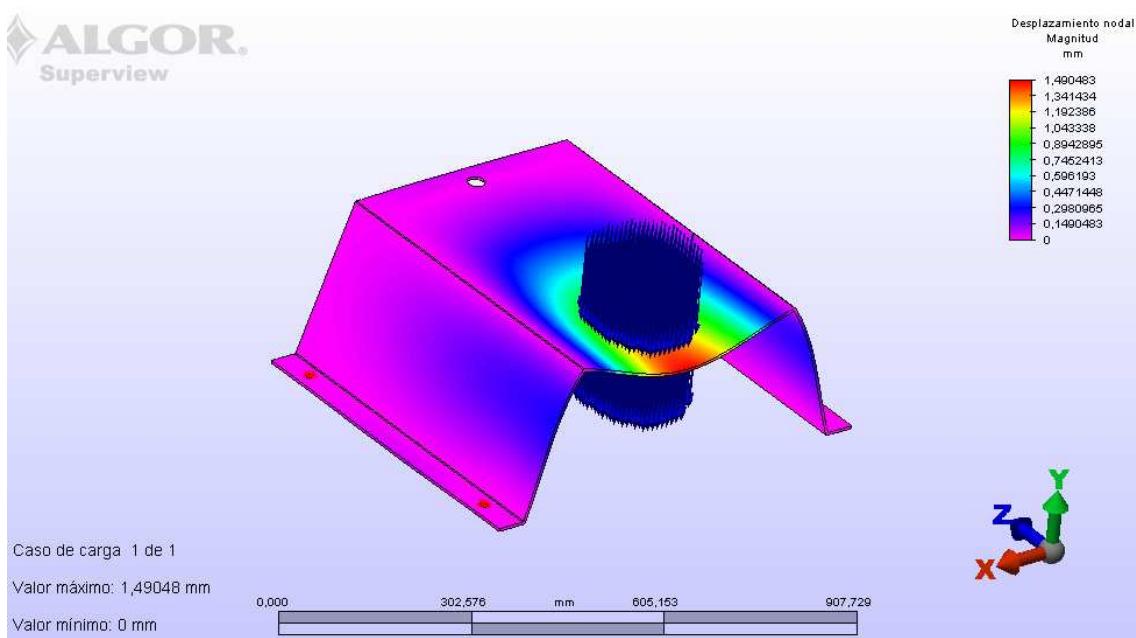
Figura 23. Factor de seguridad en el soporte de la máquina



3.2.2 Deformación

La deformación es el cambio en el tamaño o forma de un cuerpo debido a la aplicación de una o más fuerzas sobre el mismo o la ocurrencia de dilatación térmica. En la figura 24 se presenta la deformación determinada utilizando el software mencionado y se obtuvieron los correspondientes valores de deformación. El valor máximo es de 1,490493mm

Figura 24. Deformación en el soporte de la máquina



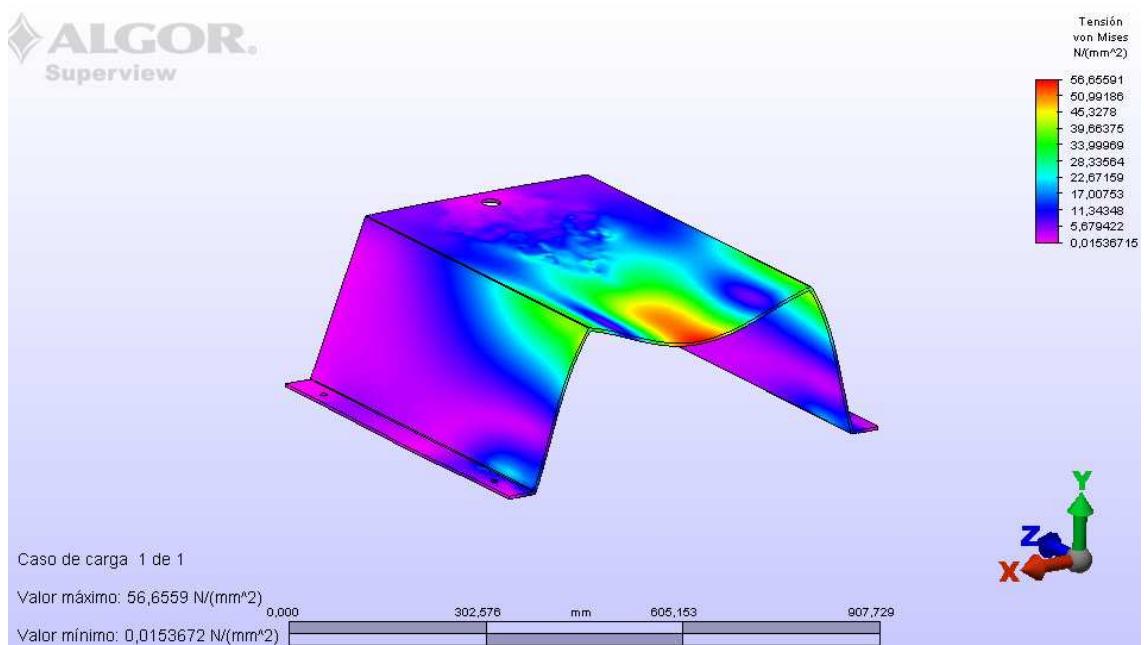
3.2.3 Tensión

Es la fuerza interna que actúa por unidad de superficie (Ver figura 25). El programa ALGOR permite determinar los valores máximos y mínimos de tensión. Para este caso se obtuvo:

Valor máximo 56.6559 MPa

Valor mínimo 0.0153672 MPa

Figura 25. Tensión en el soporte de la máquina



3.3 SISTEMA ELÉCTRICO

La importancia de los instrumentos eléctricos de medición es incalculable, ya que mediante el uso de ellos se indican magnitudes eléctricas, como corriente, carga, potencial y energía, o las características eléctricas de los circuitos, como la resistencia, la capacidad, la capacitancia y la inductancia. Además que permiten localizar las causas de una operación defectuosa en aparato eléctrico en los cuales, como es bien sabido, no es posible apreciar su funcionamiento en una forma visual, como en el caso de un aparato mecánico.

Para poder controlar la temperatura, que es una de las variables críticas a la hora de procesar materiales poliméricos, podemos nombrar una serie de accesorios tales como resistencias tipo abrazadera, termocupla tipo j, pirómetro, relé en estado sólido. De igual manera es importante el motorreductor que dará movimiento a la máquina y el variador de velocidad.

A continuación se describe cada uno de los elementos eléctricos seleccionados, y se da una pequeña explicación de su funcionamiento en la máquina.

3.3.1 Selección del motorreductor

De acuerdo a los cálculo obtenidos en el Capítulo 2.1.11 y por medio de la ecuación 15 se obtuvo la potencia con un valor de $2.623KW = 3.5hp$. Según estos datos se seleccionó un motorreductor BW90Q, cuyas especificaciones

técnicas se presentan en el Anexo 15. Este dispositivo suple todas las necesidades o requerimientos de la máquina y se presenta en la figura 26. El BW90Q posee internamente rodamientos axiales y radiales los cuales soportarán las cargas respectivas del husillo, además incluye la tornillería de anclaje al soporte de la máquina y a la brida.

Figura 26. Motorreductor



3.3.2 Selección del variador de velocidad

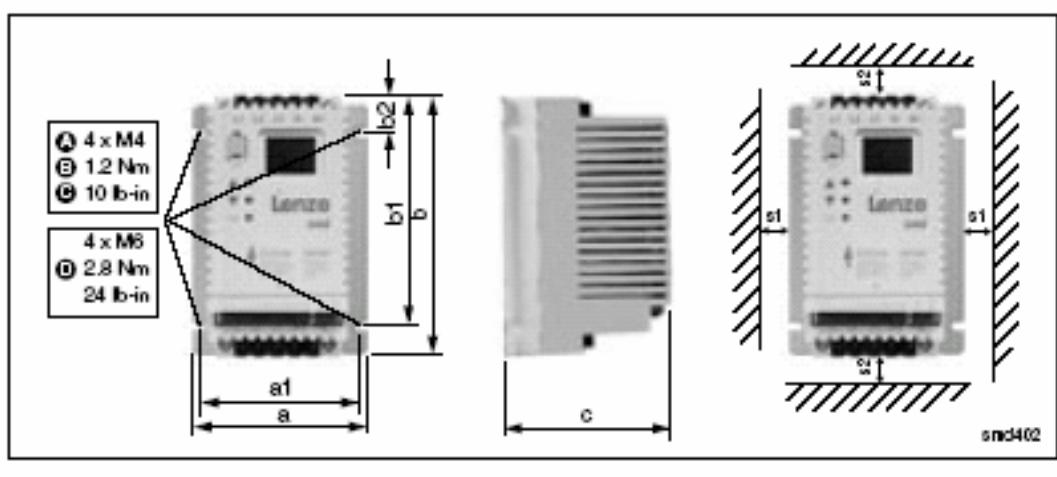
La maquinaria industrial generalmente es accionada a través de motores eléctricos, a velocidades constantes o variables, pero con valores precisos. No obstante, los motores eléctricos generalmente operan a velocidad constante o quasi-constante, y con valores que dependen de la alimentación y de las características propias del motor, los cuales no se pueden modificar fácilmente. Para lograr regular la velocidad de los motores, se emplea un controlador especial que recibe el nombre de variador de velocidad. Los variadores de velocidad se emplean en una amplia gama de aplicaciones industriales, como en ventiladores y equipo de aire acondicionado, equipo de bombeo, bandas y transportadores industriales, elevadores, llenadoras, tornos y fresadoras, etc.

Un variador de velocidad puede consistir en la combinación de un motor eléctrico y el controlador que se emplea para regular la velocidad del mismo. La combinación de un motor de velocidad constante y de un dispositivo mecánico que permita cambiar la velocidad de forma continua (sin ser un motor paso a

paso) también puede ser designado como variador de velocidad (Ver Anexo 16).

Analizando la información técnica recolectada se optó por seleccionar el Variador de Velocidad (VSD, Variable Speed Drive), que se muestra en la figura 27. Este es un dispositivo o conjunto de dispositivos mecánicos, hidráulicos, eléctricos o electrónicos empleados para controlar la velocidad giratoria de maquinaria, especialmente de motores. También es conocido como Accionamiento de Velocidad Variable (ASD, Adjustable-Speed Drive), o es denominado mediante el anglicismo Drive.

Figura 27. Variador de velocidad



Para la adquisición de este componente se propuso como el mejor tipo de variador el que cumple las siguientes especificaciones:

Tipo (ESMD371X2SFA)
 Marca Lenze (alemán)
 240 V (Voltios)
 Variador de tres fases con potenciómetro.

3.3.3 Resistencias tipo abrazadera

Este dispositivo permite la transferencia de energía térmica de un cuerpo a otro, necesaria para lograr la fundición del plástico (PP). Este elemento de la máquina se presenta como información complementaria, ya que inicialmente se aclaró que el diseño tomó como base una camisa existente que ya cuenta con el sistema de calentamiento (resistencia). En la figura 28 se presentan muestras gráficas de algunas de estas resistencias con algunas especificaciones básicas.

Figura 28. Resistencias tipo abrazadera



Ø Int. x ancho mm Inside Ø x wide	W - 230V
25 x 30	100
30 x 20	85
30 x 25	100
30 x 30	125
35 x 30	150
35 x 35	175
35 x 40	175
35 x 45	240
40 x 20	100
40 x 25	150

3.3.4 Termocupla tipo J

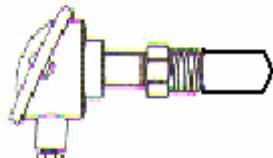
Una termocupla es un transductor de temperatura, es decir, un dispositivo que traduce una magnitud física en una señal eléctrica. Está compuesta por dos alambres de metales diferentes, los que unidos convenientemente generan entre sus extremos libres una diferencia de potencial proporcional a la diferencia de temperatura entre ellos.

A partir de información técnica recolectada en las etapas de revisión bibliográfica, se ha recomendado para este caso un dispositivo con las siguientes especificaciones:

MODELO AM 220 / BM 220

Idem AM/BM 210 pero con el elemento de fijación alejado del cabezal

Figura 29. Termo cupla tipo j



3.3.5 Pirómetro análogo

Un pirómetro es un dispositivo capaz de medir la temperatura de una sustancia sin necesidad de estar en contacto con ella. El término se suele aplicar a aquellos instrumentos capaces de medir temperaturas superiores a los 600 grados Celsius. Con el mismo criterio aplicado en la etapa de selección de dispositivos se optó por un pirómetro análogo marca Murphy referencia 10-705147. Las especificaciones técnicas del mismo se presentan a continuación:

Escala de la carátula sencilla 300 a 1300 °F (150 a 700 °C)

Dual 300 a 1200 °F (150 a 649 °C)

Alcance de la carátula: 100 °

Exactitud 2% de la escala completa

Iluminación: interna 12 ó 24 VCD

Bisel: acero inoxidable

Cuerpo: PVC.

3.3.6 Amperímetro

Es el instrumento que mide la intensidad de la Corriente Eléctrica. Su unidad de medida es el Amperio y sus submúltiplos, el miliamperio y el micro-amperio. Los usos dependen del tipo de corriente, es decir, que cuando se mide corriente continua (CC), se usa un amperímetro de bobina móvil y para corriente alterna (CA), se usa el electromagnético.

El Amperímetro de C.C. puede medir C.A. rectificando previamente la corriente, esta función se puede destacar en un Multímetro. Si hablamos en términos básicos, el Amperímetro es un simple galvanómetro (instrumento para detectar pequeñas cantidades de corriente) con una resistencia paralela llamada Shunt. Los amperímetros tienen resistencias por debajo de 1 Ohmio, con el fin de que no se disminuya la corriente a medir cuando se conecta a un circuito energizado.

Se sugiere la instalación de este dispositivo, ya que su finalidad principal es dar a conocer la cantidad de corriente que circula por un conductor en todo momento, y ayuda al buen funcionamiento de los equipos, detectando alzas y bajas repentinasy durante el funcionamiento. Además, muchos laboratorios lo usan al reparar y averiguar subidas de corriente para evitar el malfuncionamiento de un equipo.

Se recomienda la referencia 82010 / SF60

Rango: 0 – 10 a AC / DC

Clase: 2.5

Dimensiones: 50mm x 50mm

3.3.7 Relé en estado sólidó

Es un dispositivo electromecánico, que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

Ya que el relé es capaz de controlar un circuito de salida de mayor potencia que el de entrada, puede considerarse, en un amplio sentido, una forma de amplificador eléctrico.

Los contactos de un relé pueden ser Normalmente Abiertos (NA ó NO (Normally Open)), por sus siglas en inglés), Normalmente Cerrados (Normally Closed (NC)) o de conmutación.

- Los contactos normalmente abiertos conectan el circuito cuando el relé es activado; el circuito se desconecta cuando el relé está inactivo. Este tipo de contactos son ideales para aplicaciones en las que se requiere conmutar fuentes de poder de alta intensidad para dispositivos remotos.
- Los contactos Normalmente Cerrados desconectan el circuito cuando el relé es activado; el circuito se conecta cuando el relé está inactivo. Estos contactos se utilizan para aplicaciones en las que se requiere que el circuito permanezca cerrado hasta que el relé sea activado.
- Los contactos de conmutación controlan dos circuitos: un contacto Normalmente Abierto y uno Normalmente Cerrado con una Terminal común.

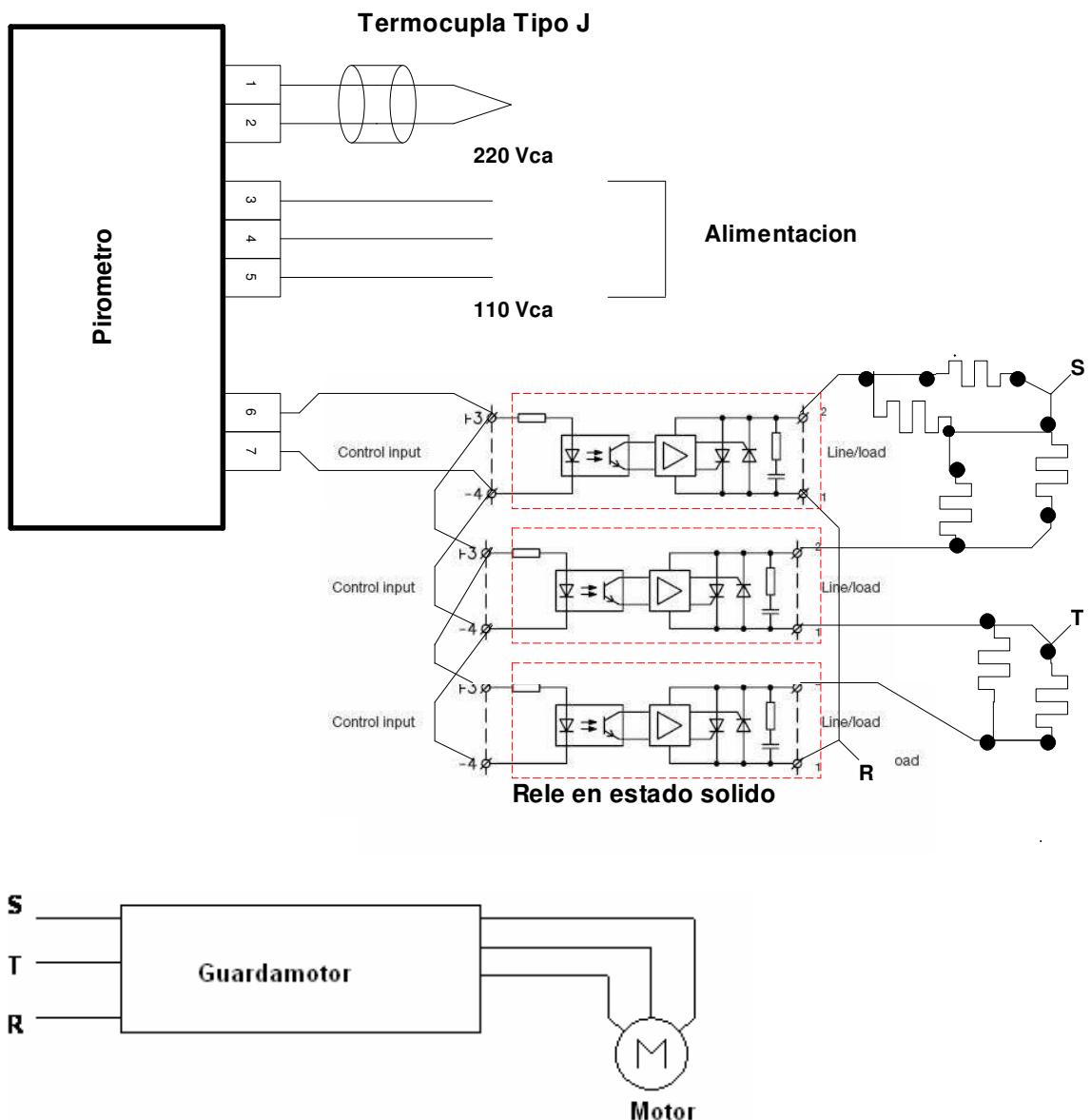
En la tabla de la figura 30 se presentan las principales características del relé en estado sólidó R100.20, seleccionado para el sistema eléctrico de la máquina extrusora.

Figura 30. Especificaciones del relé seleccionado

Type	Rated control supply voltage U_s	Rated operational current I_o	Order code	Pack. unit pieces	Price 1 piece	Weight 1 piece kg/lb
Zero voltage switching, width: 22.5 mm						
R100.20	4-32 V DC	20 A	1SAR 111 020 R8607	1		0.25/0.55

Con el acoplamiento de la serie de dispositivos presentados anteriormente se muestra, en la figura 31, un sistema eléctrico general para la máquina extrusora diseñada.

Figura 31. Esquemas eléctricos de la extrusora de plástico



3.3.8 Selección de caja eléctrica

La caja eléctrica es el elemento que guardará parte de los circuitos eléctricos de la máquina, los cuales tienen que estar protegidos del polvo o del contacto directo del operario. Para cumplir esta función se recomienda:

Cajas eléctricas con perfecta estanqueidad y protección contra el polvo. Tienen el borde plegado y la junta inyectada en la puerta, consiguiendo de esta forma un IP55 en las cajas de puerta metálica. En la figura 32 se presenta una fotografía de este tipo de productos.

Figura 32. Caja eléctrica



Características de la caja:

- Fabricadas en chapa de acero laminado en frío.
- El cuerpo incorpora, a partir de ancho 300 mm., una gran entrada de cables en su parte inferior con tapa metálica y junta de estanqueidad.
- Pintada en RAL 7032 epoxi-poliester texturizado.
- Todos los modelos cuentan con tomas de tierra en el cuerpo y en la puerta, mediante espárragos soldados.

3.4 DISEÑO DE LA TOLVA

Esta parte de la máquina extrusora está destinada al depósito y canalización de materiales granulares o pulverulentos alimentados al proceso. En muchos casos, el se monta sobre un chasis que permite el transporte.

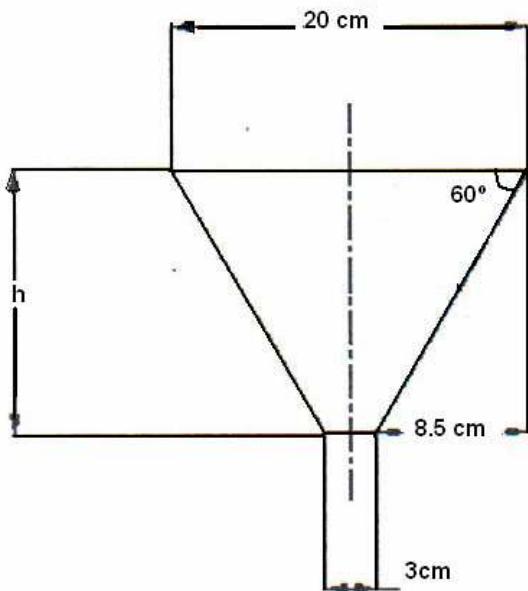
Generalmente es de forma cónica y siempre es de paredes inclinadas, de tal forma que la carga se efectúa por la parte superior y la descarga se realiza por una compuerta inferior. La tolva se coloca en la entrada para alimentación de polímero y es muy importante en los procesos de tecnología del plástico, pues permite una dosificación de material homogénea que se refleja en piezas de mejor calidad.

Para el diseño de la tolva no hay especificaciones, el tamaño varía dependiendo de su aplicación o cantidad de producción, para nuestro caso el diseño de la máquina extrusora de plásticos cumplirá funciones a nivel de laboratorio y por lo tanto no se requiere de una tolva de grandes dimensiones.

3.4.1 Cálculo de altura de la tolva

La tolva tendrá un diámetro superior de 20cm y un diámetro inferior de 3cm, con lo cual podemos calcular su altura, como se presenta en el esquema de la figura 33, mediante operaciones trigonométricas.

Figura 33. Cálculo de altura h



$$\tan 60^\circ = \frac{h}{8,5\text{cm}} \quad (43)$$

$$h = 14.72\text{cm}$$

3.4.2 Materiales para la tolva

Se recomienda una lámina de acero 1040 o 1020 de calibre 12 con las siguientes dimensiones:

- Cilindro truncado

Lámina rectangular de 100 mm por 100 mm

- Cono truncado

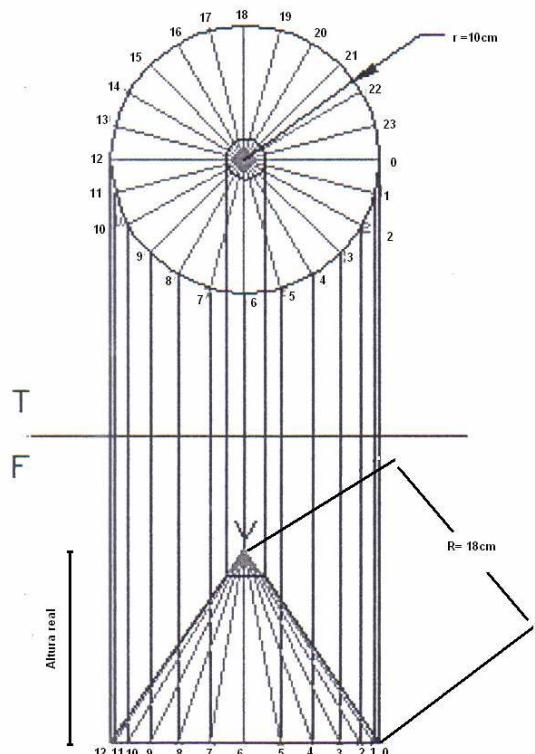
Lámina circular de radio 200 mm

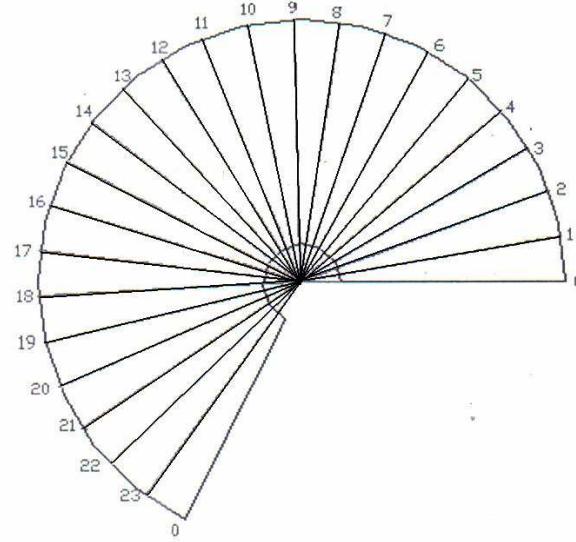
3.4.3 Desarrollo del cono circular recto

Dividimos la base del círculo en veinticuatro partes iguales, estableciendo así veinticuatro espacios numerados del 0 al 23.

Los mismos elementos se trazan en la proyección vertical. El elemento extremo V tiene su longitud verdadera que es la de la altura real o generatriz R del cono, por lo tanto haciendo centro en V y con el radio R se traza un arco de círculos que será la longitud por donde va el desarrollo de la base del cono, como se presenta en la figura 34.

Figura 34. Desarrollo del la tolva

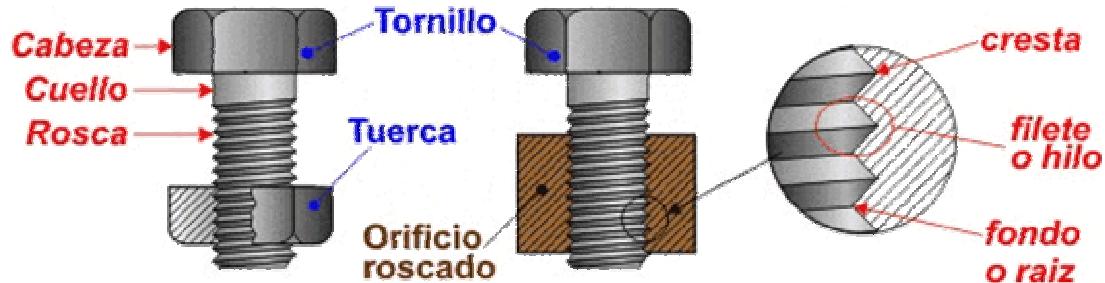




3.5 Cálculos de tornillos para la brida

Los sujetadores cumplen la función de unir la camisa de la extrusora, con el motorreductor papel importante ya que tiene que soportar presiones fuertes generadas por el mismo proceso de extrusión, en la figura 35 se muestra las partes del tornillo, este sujetador es un operador que deriva directamente del plano inclinado y siempre trabaja asociado a un orificio roscado.

Figura 35. Partes del tornillo



Partiendo de las exigencias del perno tenemos:

- La Presión a la que ésta expuesto el perno es de $37,73\text{ kN}$ lo que equivale a $8032,4\text{ lb}$
- El diámetro es de 10 mm que equivalen a $0,3937\text{ in}$
- A_t Área de esfuerzo a tensiones de $61,20\text{ mm}^2$ que equivale a $9,48 \times 10^{-2}\text{ in}^2$ (Ver Anexo17)
- Clase 8

- Rosca métrica M10×1.5

Con la serie de datos que se tiene se puede calcular la longitud de la rosca la cual ésta dada por:

$$L_t = 2D + \frac{1}{4} \quad (44)$$

Donde

D= Diámetro exterior del perno

Remplazando los valores en la ecuación 44 tenemos:

$$L_t = 2(10) + \frac{1}{4}$$

$L_t = 20,25mm$ Lo que es equivalente a $0,7972\text{ in}$

La longitud de la rosca l_s se toma de los requerimientos de la máquina donde se concluye que el valor de $l_s = 129,75mm$ lo que es equivalente a $5,1\text{ in}$, de este dato se parte para hallar la rigidez del perno que ésta dada por:

$$\frac{1}{k_b} = \frac{l_t}{A_t} + \frac{l_s}{A_b E} \quad (45)$$

Donde:

k_b = Constante elástica

A_t = Área de esfuerzo a tensión

A_b = Área transversal del perno

E = Modulo de rigidez (30×10^6)

Recurriendo a la ecuación 45 tenemos:

$$\frac{1}{k_b} = \frac{0,7972\text{ in}}{(9,48 \times 10^{-2}\text{ in}^2)(30 \times 10^6)} + \frac{5,1\text{ in}}{\frac{\pi}{4}(0,3937)^2(30 \times 10^6)}$$

Y como resultado obtenemos

$$k_b = 5,96 \times 10^5 \frac{\text{lb}}{\text{in}}$$

Para hallar la rigidez de la junta se aplica la ecuación willeman que dice [6]:

$$k_m = dEae^{b(d/l)} \quad (46)$$

Donde:

e = Exponencial

k_m = Modulo de rigidez de la junta

d = Diámetro nominal

l = Longitud de unión

a b = Coeficientes empíricos para el acero ($a = 0,78715$) y ($b = 0,62873$)

Aplicando la ecuación 46 tenemos:

$$k_m = 0,3937 \text{ in} \times 30 \times 10^6 \times 0,78715 \times e^{0,62873(0,3937/5,9)}$$

$$k_m = 9,69 \times 10^6 \frac{\text{lb}}{\text{in}}$$

Para hallar el factor de rigidez recurrimos a la siguiente ecuación [6]:

$$C = \frac{k_b}{k_m + k_b} \quad (47)$$

Retomando la ecuación 47 tenemos que:

$$C = \frac{5,96 \times 10^5 \frac{\text{lb}}{\text{in}}}{9,69 \times 10^6 \frac{\text{lb}}{\text{in}} + 5,96 \times 10^5 \frac{\text{lb}}{\text{in}}}$$

$$C = 0.057$$

Para calcular la porción de la carga tomada por el perno decimos que:

$$P_b = Cp \quad (48)$$

Donde:

p = Fuerza de cada perno

Para hallar la fuerza de cada perno p aplicamos la siguiente ecuación

$$p = \frac{f_t}{\# de pernos} \quad (49)$$

Donde:

$$f_t = \text{Fuerza total}$$

La fuerza total se encuentra dentro de las exigencias la cual es $35,73\text{ kN}$ que equivale a $8032,4\text{ lb}$

De esta forma se remplaza en la ecuación 49 y se halla la fuerza en cada perno:

$$p = \frac{8032,4\text{ lb}}{6}$$

$$p = 1339,7\text{ lb}$$

Teniendo el resultado de la ecuación 49 y remplazándolo en la ecuación 48 se tiene:

$$P_b = 0,057 \times 1338,7\text{ lb}$$

$$P_b = 76,3\text{ lb}$$

La porción de carga tomada por la unión p_m se determina de la siguiente manera:

$$p_m = (1 - C)p \quad (50)$$

$$p_m = (1 - 0,057)1338,7\text{ lb}$$

$$p_m = 1232,4\text{ lb}$$

La carga resultante sobre el perno se obtiene así:

$$f_b = f_i + P_b \quad (51)$$

Donde:

$$f_i = \text{Precarga del perno debido al apriete}$$

Para hallar la precarga del perno se tiene en cuenta la siguiente ecuación

$$f_i = (0,75)S_p A_t \quad (52)$$

Donde:

$$0,75 = \text{Coeficiente para conexiones reutilizables}$$

S_p = Resistencia de prueba: 970 MPa que es igual a $140,68 \text{ ksi}$

Remplazando en la ecuación 52 tenemos que:

$$f_i = (0,75)(140,68 \text{ ksi})(9,48 \times 10^{-2} \text{ in}^2)$$

$$f_i = 10002,4 \text{ lb}$$

Teniendo la serie de datos anteriores y aplicando la ecuación 51 se obtiene:

$$f_b = 10002,4 \text{ lb} + 76,3 \text{ lb}$$

$$f_b = 10078,65 \text{ lb}$$

La carga resultante sobre los elementos se obtiene de la siguiente manera:

$$f_m = f_i - p_m \quad (53)$$

$$f_m = 10002,4 \text{ lb} - 1262,4 \text{ lb}$$

$$f_m = 8740 \text{ lb}$$

Para hallar los esfuerzos máximos a tensión se recurre a la siguiente ecuación:

$$f_d = \frac{f_b}{A_t} \quad (54)$$

$$f_d = \frac{1078,65 \text{ lb}}{9,48 \times 10^{-2} \text{ in}^2}$$

$$f_d = 106,31 \text{ ksi}$$

Concluyendo con el factor de seguridad el cual se obtiene así:

$$N = \frac{S_y}{f_d} \quad (55)$$

Donde:

S_y = Límite de fluencia elástico: 1100 MPa (Ver Anexo 18)

Remplazando en la ecuación 55 tenemos:

$$N = \frac{159,5ksi}{106,31ksi}$$

$$N = 1.5$$

Con este factor de seguridad de concluye que los pernos resistirán dichas fuerzas.

Para concluir se obtiene el factor de separación de la siguiente forma [6]

$$N = \frac{f_i}{f_t(1-C)} \quad (56)$$

$$N = \frac{10032,4lb}{8032,4(1 - 0,057)}$$

$$N = 1,32$$

Lo que nos garantiza que los pernos no se separarán

4. COSTOS DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PLÁSTICOS

Los costos que se presentan a continuación son un pequeño adelanto al costo verdadero que puede tener la máquina a la hora de ser construida, estos costos fueron proporcionados por diversas empresas de la región, los materiales nombrados son los mas asequibles en el mercado por lo tanto no habrá problema para su obtención por lo que da una ventaja para el siguiente paso de este proyecto.

Posibles costos del material

DESCRIPCION	NOMBRE DE LA PIEZA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Acero 4140	Tornillo maquinado	1	\$600000	\$600000
Acero 1020	Tolva	1	\$40000	\$40000
Acero ACTM A36	Base	1	\$120000	\$120000
Aceros cuadrados brillantes (DIM 178).	Chaveta	1	\$10000	\$10000
Motorreductor	Motorreductor	1	\$1125000	\$1125000
Variador de velocidad	Variador de velocidad	1	\$619765	\$619765
Termino cupla tipo J	Termino cupla tipo J	2	\$125000	\$125000
Pirometro análogo	Pirometro análogo	1	\$219900	\$219900
Amperímetro	Amperímetro	1	\$185000	\$185000
Relé en estado sólido	Relé en estado sólido	1	\$89550	\$89550
Cable siliconado	Cable siliconado	10	\$10000	\$10000
Caja eléctrica	Caja eléctrica	1	\$43250	\$43250

TOTAL 3.187.265

5. CONCLUSIONES

- El diseño arrojó unos factores de seguridad altos, los cuales indican que el diseño de la máquina extrusora para plásticos es confiable, de igual manera este dispositivo mecánico fue diseñado para un laboratorio de polímetros, mas no para producción en serie, ya que estos factores de seguridad indican que se estaría sobre dimensiones o materiales de mucha más resistencia mecánica que la necesaria.
- Cuando se investigaron todos los tipos de máquinas extrusoras de plásticos se adoptó el diseño de una máquina que tuviera características especiales de tamaño, forma y posición. Este proyecto ha respetado estas características para que la máquina sea incluida al proyecto de laboratorio de materiales sintéticos.
- En los diferentes cálculos de la máquina se aplicaron fórmulas empíricas para el diseño de la extrusora para plástico, las cuales solo se emplean para el trabajo de materiales sintéticos.
- La máquina está compuesta por elementos de buena precisión como lo son: motorreductor con variador de velocidad, termocupla, pirómetros y amperímetros los cuales darán un óptimo servicio en el momento de su funcionamiento.
- Los materiales para la construcción de la máquina extrusora para plásticos se encuentran en su totalidad en el mercado colombiano, lo que hace que su fabricación sea viable para la Universidad Tecnológica de Pereira.
- En relación con el equipo que existe de laboratorio y su posibilidad real de aprovechamiento.
- Con este proyecto se ha generado una guía metodológica para futuros cálculos de tornillos extrusores.

6. RECOMENDACIONES

- Para la adquisición del motorreductor se recomienda que la empresa proveedora, sea la encargada directa de la instalación del dispositivo.
- Para evitar daños en el husillo tales como fracturas o daño de los filetes, se recomienda trabajar la máquina con el material polimérico expuesto en el diseño (PP).
- Para la limpieza del husillo se debe mover el motorreductor que se encuentra anclado a la base de la máquina extrusora para plásticos.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] AFTER ODIAN, George. Principles of polymerization, 3 ed. New York: J Wiley 1991, 34 p.
- [2] CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DEL POLÍMERO, José Luís Angulo. 1 ed. Balderas 95, México. D.F.
- [3] CASILLAS A.L.. Maquinas calculos de taller, 23 ed. Madrid: Graficas reunidas S.A, 1958,277 p, 289p.
- [4] EXTRUSIÓN DE PLASTICOS, Luís Francisco Ramos del valle, Principios básicos, 2 ed. México: Limusa.
- [5] P.J. Fluir, Principle of Polymer Chemistry. Cornell University press.8 ed. (1971)
- [6] SHIGLEY, Joseph Edgard, MITCHELL, LarryD. Diseño de Maquinas. 3 ed. Bogota: MacGraw Hill, 1990, 420p, 440p
- [7] SIDERURGICA DEL PASIFICO S.A. Tabla de aceros especiales SIDELPA.
- [8] V.K SAVGORODNY, Transformación de plásticos. 2 ed. Barcelona: GUSTAVO PILI S.A.
- [9] "Plásticos." Microsoft® Encarta®2007[DVD], Microsoft Corporation, 2006.
- [10] Disponible en Internet:
<http://www.monografias.com/trabajos14/polimeros/polimeros.shtml/#propied>
- [11] Disponible en Internet:
<http://www.sidelpa.com>
- [12] Disponible en Internet
<http://www.materiales.eja.edu.co/ciancia%20de%20los%20materiales/articulo%20polipropileno.htm>.

ANEXOS

Anexo 1

Identificación y características del polipropileno (PP) [12]

Densidad **0.91** $\frac{g}{cm^3}$

Temperatura de trasato **200-300 °c**

Índice de fluidez **230/2.16** $\frac{temp / peso}{^{\circ}c / kg}$, **15-1,5** $\frac{g}{10\text{ min}}$

Viscosidad **0.76** $\frac{g}{cm^3}$

Comportamiento de los plásticos durante la prueba de solubilidad, llama y fusión.

Plástico	Solubilidad			Comportamiento por fusión	Reacción de vapores	Resistencia a la llama	Olor de humo
	MC	EA	AC				
PP	u-q	u-q	u-q	I-II	n	IIb	Parafina, afrutado.

Para la tabla anterior la nomenclatura es la siguiente:

Solubilidad: (MC-cloruro de metileno, EA-acetato de etileno, AC- acetona)

u: insoluble, **q:** inchamiento, reblandecimiento o agrietamiento, **I:** soluble

Comportamiento por fusión:

I: funde sin descomponerse, **II:** funde con descomposición, **III:** descompone sin fundir, **IV:** descompone evaporándose, **V:** casi sin cambios

Reacción de vapores:

a: alcalina, **n:** neutra, **s:** acida, **ss:** muy acida.

Resistencia a la llama:

O: no se enciende, **I:** arde solo con la llama, **IIa:** sigue ardiendo, no gotea, **IIb:** sigue ardiendo, gotea, **+**: humo denso, **x:** difícil de encender.

Parámetros de identificación del plástico.

Plástico	Color	Flexible	Rígido	Frágil
PP	Opaco	si	si	no

Propiedades térmicas del polipropileno (PP).

Polímero	calor específico $kJ.kg^{-1}^{\circ}C$	calor latente de fusión $kJ.kg^{-1}$	temperatura en el proceso $^{\circ}C$	calor total para el proceso $kJ.kg^{-1}$
PP	1,93	100	250	550

Anexo 2

Guía para el diseño de un husillo [1]

RESINA	TIPO MOLECULAR	TEMP. CRITICA °F (a)	DENSIDAD g/cm³		DISEÑO DL HUSILLO BASADO EN			NOMBRES COMERCIALES RELACIONADOS
			SÓLIDO	FUNDIDO	PROF. DEL CANAL (b)	LONG. DE TRANSICION (c)	RELACION DE COMPRESION (d)	
PP	C-	48 Tm	0,9	0,75	Media	Media	Media	Marlex, Hifax, Escorene, Nortuff
ABS	A	228 Tg	1,08	0,97	Profunda	Larga	Baja	Cycloc, Magnum, Lustran
CA	C*	NA	1,22	1,14	Profunda	Media	Baja	Tenite
CAB	C*	NA	1,15	0,08	Profunda	Media	Baja	Tenite
CAP	C*	NA	1,17	1,1	Profunda	Media	Baja	Tenite
FEP	C	527 Tm	2,12	1,49	Media	Corta	Media	Teflon
HDPE	C	278 Tm	0,95	0,73	Media	Media	Media	Dowlex, Marlex, Pethrotene, Alathon
HIPS	A	210 Tg	1,05	0,97	Profunda	Larga	Baja	Styron, Lustrex, RTP
LCP	C	525 Tm	1,35	Unk	Superficial	Media	Media	Vectra, Xydar, Ekkcel
LDPE	C	221 Tm	0,92	0,76	Media	Media	Media	Petrothene, Tenite, Escorene
LLDPE	C	250 Tm	0,93	0,7	Media	Media	Media	Petrothene, Dowlex, Escorene, Atlane
PA6/6	C	500 Tm	1,14	0,97	Superficial	Media	Alta	Zytel, Ultramid, wellamid, Vydyne
PBT	C*	470 Tm	1,34	1,11	Media	Media	Baja	Valox, Celanex
PC	A	302 Tg	1,2	1,02	Profunda	Larga	Baja	Lexan, Nacrolon
PEI	A	420 Tg	1,27	0,08	Media	Media	Media	Ultrem
PET	C**	460 Tm	1,4	1,1	Media	Media	Media	Kodapak, Petion, Rynite
PFA	C-	582 Tm	2,15	Descon.	Media	Corta	Media	Plexiglas, Acrylite
PMMA	A	203 Tg	1,2	1,05	Profunda	Larga	Baja	Marlex, Hifax, Escorene, Nortuff
POM	C-	358 Tm	1,42	1,17	Superficial	Media	Media	Noryl, Prevex
PS	A	193 Tg	1,05	0,97	Media	Media	Media	Styron
PSU	A	374 Tg	1,24	1,16	Media	Media	Media	Udel, Ultrason S
PVC-F	A	194 Tg	1,3	1,2	Profunda	Media	Baja	Geon
PVC-R	A	188 Tg	1,4	1,22	Profunda	Larga	Baja	Geon
SAN	A	300 Tg	1,07	1	Media	Media	Media	Lustran-SAN, Tyril, Luran

(*) Procesa como amorfos.

(**) Material grado de botella.

(a) T_m = punto de fusión T_g = punto de transición vítreo.

(b) grado de profundidad, media para diámetros 50mm a 0.125mm

(c) corta 4D o menos, Media 5D a 7D, altas 8D o mas.

(d) baja, menos de 2.5:1; media 2.5 a 3.4:1; alta 3.5:1 o superior.

(C) cristalino.

(A) amorfos.

(C-) Copolímeros.

Anexo 3

Parámetros geométricos del husillo en *mm* [8]

Diámetro D (mm)	Paso t	Profundidad del canal en la zona de alimentación, h1	Profundidad del canal en la zona de extrusión, h2	Anchura de la cresta, e
32	32	6	1,9	3,8
45	45	8	2,1	5
63	63	9,6	2,4	6,3
90	90	11,2	2,8	9
125	125	13,5	3,2	12
160	160	15	3,7	15

Anexo 4

Tolerancias y Parámetros geométricos del husillo/cilindro.

Diámetro nominal (mm)	Diámetro del cilindro L/D	Diámetro del husillo	Tolerancia diametral cilindro/husillo
30	30.00+.02/-0.00	29.93/29.92	0.06/0.10
35	35.00+.02/-0.00	34.93/34.91	0.08/0.11
38	38.00+.02/-0.00	37.92/37.90	0.08/0.13
40	40.01+.02/-0.00	39.93/39.90	0.08/0.13
50	50.01+.02/-0.00	49.91/49.89	0.10/0.13
60	59.99+.02/-0.00	59.87/59.84	0.13/0.18
65	65.00+.02/-0.00	64.87/64.85	0.13/0.18
70	70.00+.02/-0.00	69.88/69.85	0.13/0.18
75	75.01+.02/-0.00	74.85/74.83	0.15/0.20
80	80.01+.02/-0.00	79.84/79.82	0.17/0.20
90	89.99+.05/-0.00	89.81/89.79	0.18/0.25
100	100.00+.05/-0.00	99.80/99.77	0.20/0.28
105	105.00+.05/-0.00	104.80/104.78	0.20/0.28
115	115.01+.05/-0.00	114.78/114.76	0.23/0.30
120	119.99+.05/-0.00	119.76/119.74	0.23/0.30
135	135.00+.05/-0.00	134.75/134.70	0.25/0.36
150	150.01+.05/-0.00	149.71/149.66	0.30/0.41

Tolerancias del husillo

DESCRIPCION DE LA DIMENSION	UNIDADES METRICAS RANGO TOLERANCIAS (mm)	
	RANGO	TOLERANCIA
Principales dimensiones lineales	Hasta 300 300-1500 1500-3000 3000-5000 Sobre 5000	±0,25 ±0,75 ±1,00 ±1,50 ±2,25
Ancho del filete	Hasta 12 12,25 Sobre 25	±0,38 ±0,50 ±0,75
Profundidad del canal	Hasta 2,5 2,5-13,0 Sobre 13,0	±0,08 ±0,18 ±0,30
Chavetero	Profundidad	±0,13

Agujeros	Longitud	$\pm 0,76$
Macho centrador roscado	Longitud	$\pm 0,4$

Tolerancias del cilindro.

DESCRIPCION DE LA DIMENSION	UNIDADES METRICAS RANGO TOLERANCIAS (mm) RANGO	TOLERANCIA
La mayoría de las dimensiones lineales	Hasta 300 300-1500 1500-3000 3000-5000 Sobre 5000	$\pm 0,25$ $\pm 0,75$ $\pm 1,00$ $\pm 1,50$ $\pm 2,25$
Longitud del macho centrador	Todos los tamaños	$\pm 0,125$
Agujeros	0 - 38 3 - 75 25 - 75 75 - 140 75 - 140 140 - 200 200 - 315 200 - 315	+0,025 - 0,000 +0,050 - 0,000 +0,038 - 0,000 +0,051 - 0,000 +0,063 - 0,000 +0,076 - 0,000 +0,076 - 0,000 +0,102 - 0,000
Diámetros exteriores	Todos los tamaños y longitudes	$\pm 0,102$
Diámetros de anchos centradores	todos los tamaños	+0,038

Anexo 5

Materiales para husillo y características y propiedades

MATERIALES BASE PARA EL HUSILLO				ACEPTABILIDAD A CONDICIONES DE DESGASTE DE LA RESINA				
DESIGNACION DEL MATERIAL	TRATAMIENTO (1)	Rc (2)	FH (3)	ABRASIVO			CORROSIVO (7)	
				NORMAL (4)	PROMEDIO (5)	SEVERA (6)	MODERADA	SEVERA
Aceros aleados 4140	Endurecido con llama	48 55	no	Aceptable	Mala	No aceptable	No aceptable	No aceptable
4140	Cromado	60 65	si	Buena	Aceptable	No aceptable	Buena	No aceptable
Nitralloy 135-M	Nitrurado	63 70	si	Buena	Aceptable	No aceptable	Mala	No aceptable
Micromelt 9 (b)	Tratado con calor	54 56	no	Excelente	Excelente	Buena	Aceptable	No aceptable
CPMM4(a)	Tratado con calor	62 64	no	Excelente	Buena	Aceptable	Mala	No aceptable
CPM 420 (a)	Tratado con calor	52 56	no	Aceptable	Buena	No aceptable	Buena	Mala
Elmax (c)	Tratado con calor	57 59	no	Buena	Aceptable	No aceptable	Buena	Mala
Custom 450 (b)	Endurecido por tiempo	41 42	si	Aceptable	No aceptable	No aceptable	Buena	No aceptable
Aleaciones especiales Monel K-500 (d)	Endurecido por tiempo	37 39	opt'l	Aceptable	No aceptable	No aceptable	Excelente	Buena

- (1) Incluye cromado a 0.003" – 0.005" y nitruración con gas o ion por ciclo de 24 horas.
- (2) Dureza rockwell C.
- (3) se requiere endurecimiento de la superficie el filete.
- (4) termoplásticos sin refuerzos.
- (5) termoplásticos hasta con 30% de refuerzos.
- (6) termoplásticos con mas de 30% de refuerzos.
- (7) moderado incluye celulósicos, acetales y otros que contienen adictivos corrosivos.
- (a) producto de CRUCIBLE MATERIAL CORPORATION.
- (b) producto de UDDEHOLM CORPORATION.

(c) producto de CARPENTER TECHNOLOGY.

(d) producto de HUNTINGTON ALLOY.

Análisis Químico (Típico) %

C	Mn	Si	Cr	Mo	P	S
0.38 / 0.43	0.75 / 1.00	0.15 / 0.35	0.80 / 1.10	0.15/ 0.25	0.035 máx.	0.040 máx.

Propiedades Mecánicas

(Los valores representados son teóricos más representativos de este grado)

	Resistencia a la tensión (psi)	Límite elástico (psi)	Elongación en 2%"	Reducción de área %	Dureza Brinell*
Tratado	140,000	90,000	17.8	48.2	302
Recocido	95,000	60,000	25.7	56.9	197

Propiedades físicas

Densidad $7700 \frac{kg}{m^3}$

Tratamiento Térmico

Enfriar al aceite un buen rango de sus propiedades mecánicas se pueden obtener entre los 205°C (400°F) y los 705°C (1300°F)

PARA	°C	°F
Forjar	980-1205	1800-2200
Recocer:	815-870	1500-1600
Templar:	800-850	1472-1563

Color de identificación:



Aleación: C% 0.4 - Si% 0.3 - Mn% 0.70 - Cr.% 1.1 - Mo% 0.20

Denominación según:

AISI 4140
Böhler 320

DIN: 41CrMo4 - 42CrMo4 W
No 1.7223–1.7225

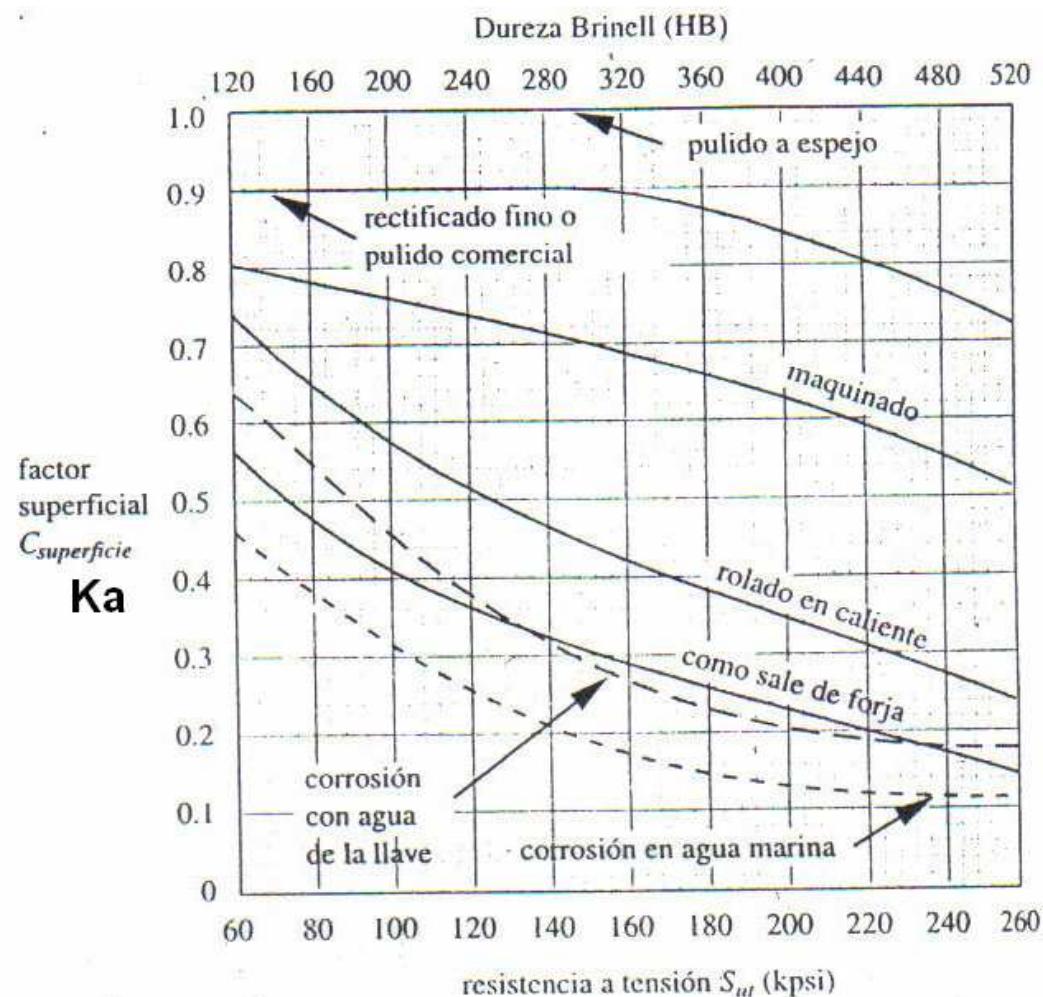
Anexo 6

Modulo de elasticidad (E) de los materiales

Material		Resistencia de fluencia en tracción S_y (0.2%)		Esfuerzo ultimo en tracción S_u		Elongación (en 2 in)	Dureza Brinell
4140	Estado	Ksi	Mpa	Ksi	Mpa	%	HB
	Templado y revenido a 800°F	165	1138	181	1248	13	370

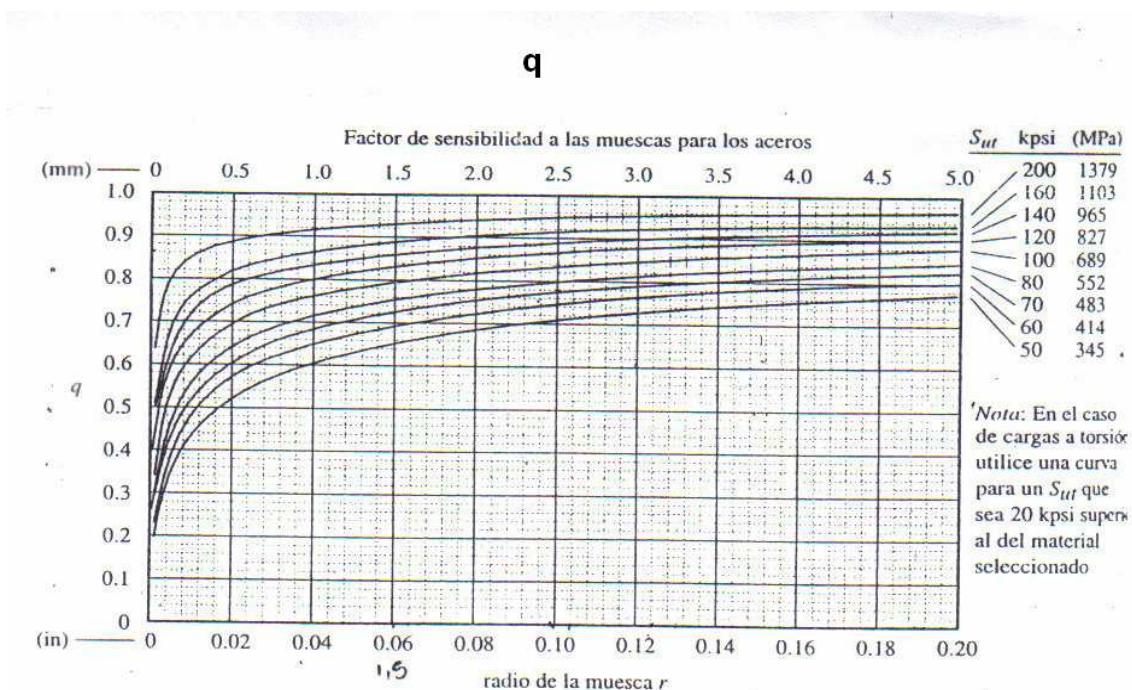
Anexo 7

Tabla de Dureza Brinell para hallar el factor superficial k_a



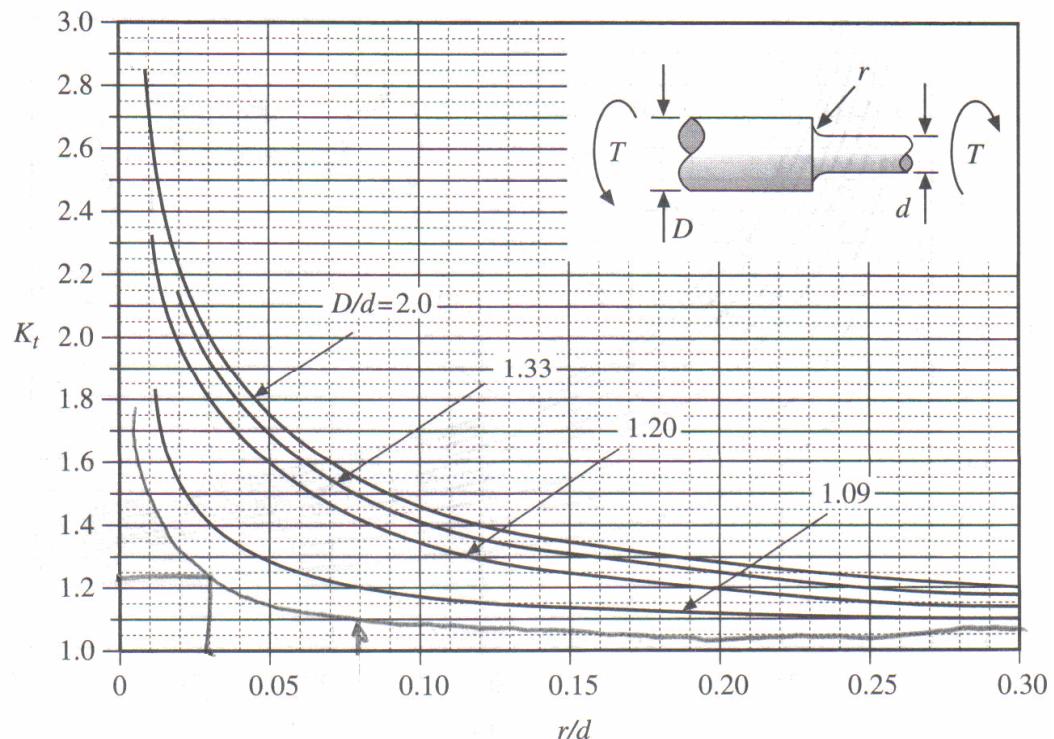
Anexo 8

Factor de sensibilidad a las muescas para los aceros



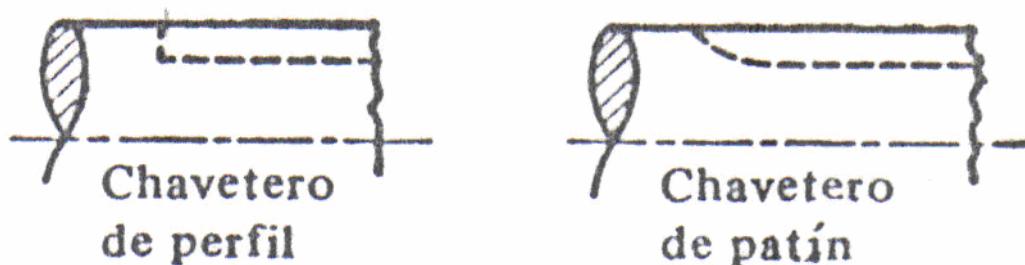
Anexo 9

Factor de concentración de esfuerzos para un eje con un filete en torsión



Anexo 10

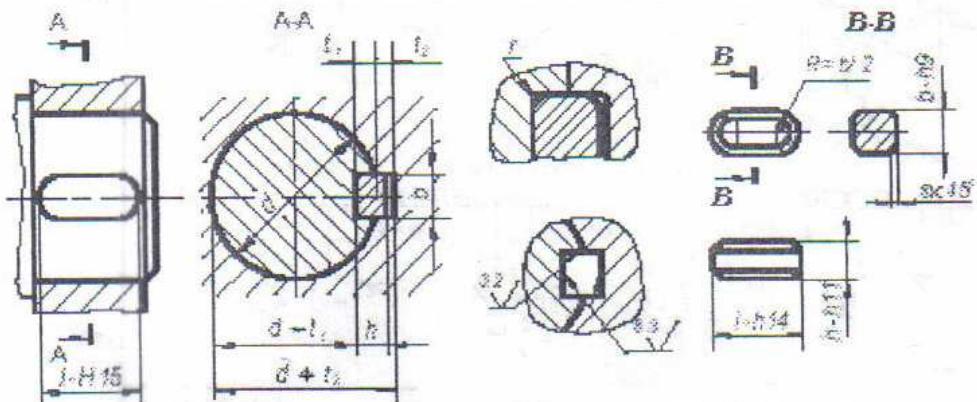
Valores de K_f para chaveteros



CLASE DE CHAVETERO	RECOCIDO		ENDURECIDO	
	<i>Fle- xióñ</i>	<i>Tor- sión</i>	<i>Fle- xióñ</i>	<i>Tor- sión</i>
Perfil	1,6	1,3	2,0	1,6
De patín	1,3	1,3	1,6	1,6

Anexo 11

Uniones con chavetas [6]



Diámetro del árbol d, mm	Medida nominal de la chaveta, mm		Medida nominal del chavetero, mm				
	b×h	Chaflán S		Profundidad		Radio r	
		máx	min	En el árbol t_1	En el cubo t_2	máx	min
6 a 8 8 a 10 10 a 12	2×2 3×3 4×4	0.25	0.16	1.2 1.8 2.5	1.0 1.4 1.8	0.16	0.08
12 a 17 17 a 22 22 a 30 22 a 30	5×5 6×6 7×7 8×7	0.40	0.25	3.0 3.5 4.0 4.0	2.3 2.6 3.3 3.3	0.25	0.15
30 a 38 38 a 44 44 a 50 50 a 58 58 a 65	10×8 12×8 14×9 16×10 18×11	0.60	0.40	5.0 5.0 5.5 6.0 7.0	3.3 3.3 3.8 4.3 4.4	0.40	0.25
65 a 75 75 a 85 85 a 95 95 a 110 110 a 130	20×12 22×14 25×14 28×16 32×18	0.80	0.60	7.5 9.0 9.0 10.0 11.0	4.9 5.4 5.4 6.4 7.4	0.60	0.40
130 a 150 150 a 170 170 a 200 200 a 230	36×20 40×22 45×25 50×26	1.2	1.00	13.0 13.0 15.0 17.0	8.4 9.4 10.4 11.4	1.0	0.7

Anexo 12

Material de la chaveta

TABLA DE MATERIALES



Material Nº	Código DIN	similar ~ Código AISI	Elementos esenciales de la aleación				
			C %	Cr %	Ni %	% Mo	Aleación
ACEROS DE CEMENTACIÓN							
1.0301	C 10		0,07 - 0,13				
1.0401	C 15		0,12 - 0,18				
◆ 1.7131	16 MnCr 5	5115	0,14 - 0,19	0,8 - 1,1			
1.7147	20 MnCr 5	5120	0,17-0,22	1,0 - 1,3			
ACEROS DE TEMPLE							
◆ 1.0503	C 45 K	1043	0,42 - 0,5				
1.0601	C 60 K	1060	0,57 - 0,65				
◆ 1.7225	42 CrMo 4	4137	0,38 - 0,45	0,9 - 1,2	≤ 0,6	0,15 - 0,3	
ACEROS INOXIDABLES FERRITICOS Y MARTENSITICOS							
1.4005	X 12 Cr S 13	418	< 0,15	12 - 13			S
1.4016	X 8 Cr 17	430	< 0,08	15,5 - 17,5			
1.4021	X 20 Cr 13	420 A	0,18 - 0,22	12 - 14			
1.4028	X 30 Cr 13	420 B	0,25 - 0,35	12 - 14			
1.4034	X 40 Cr 13	420 C	0,40 - 0,50	12,5 - 14,5			
◆ 1.4057	X 22 Cr Ni 17	431	0,14 - 0,23	15,5 - 17,5	1,5 - 2,5		
1.4104	X 12 Cr Mo S 18	430 F	0,10 - 0,17	15,5 - 17,5		0,20 - 0,60	S
1.4112	X 90 Cr Mo V 18	440 B	0,85 - 0,95	17 - 19		0,9 - 1,3	V
1.4122	X 35 Cr Mo 17		0,33 - 0,43	15,5 - 17,5	< 1,0	0,9 - 1,3	
ACEROS RESISTENTES AL ACIDO Y AL OXIDO				ACEROS AUSTENITICOS			
◆ 1.4301	X 5 Cr Ni 18 9	304	< 0,07	17 - 19	8,5 - 11		
1.4305	X 12 Cr Ni S 18 8	303	< 0,12	17 - 19	8 - 10	< 0,70	S
1.4308	X 2 Cr Ni 18 9	304 L	< 0,03	18 - 20	10 - 12,5		
1.4310	X 12 Cr Ni 17 7	301	0,08 - 0,14	16 - 18	6,5 - 9	< 0,80	
1.4401	X 12 Cr Ni 17 7	318	< 0,07	16,5 - 18,5	10,5 - 13,5	2 - 2,5	
1.4404	X 5 Cr Ni Mo 18 10	318 L	< 0,03	16,5 - 18,5	11 - 14	2 - 2,5	
1.4435	X 2 Cr Ni Mo 18 10	318 L	< 0,03	16,5 - 18,5	12,5 - 15	2,5 - 3	
1.4436	X 2 Cr Ni Mo 18 12	318	< 0,07	16,5 - 18,5	11,0 - 14	2,5 - 3	
1.4460	X 8 Cr Ni Mo 27 5	329	< 0,10	26 - 28	4 - 5	1,3 - 2	
1.4462	X 12 Cr Ni Mo N 22 5		< 0,03	21 - 23	4,5 - 6,5	2,5 - 3,5	N
1.4539	X 2 Ni Cr Mo Cu 25 20 5		< 0,03	19 - 21	24 - 26	4 - 5	Cu
1.4541	X 10 Cr Ni Ti 18 9	321	< 0,08	17 - 19	9 - 12,0		Ti
◆ 1.4571	X 10 Cr Ni Mo Ti 18 10	316 Ti	< 0,08	16,5 - 18,5	11,5 - 14	2 - 2,5	Ti
◆ Estos materiales se pueden servir de stock Las calidades no especificadas y otras calidades se pueden servir de nueva fabricación.							

PERFILES DIN 6880



Medidas en mm

1. Campo de aplicación

Esta norma sirve para aceros para chavetas brillantes en barra con sección cuadrada, rectangular o rectangular rebajado con las medidas en la tabla de las calidades de acero citadas en la tabla anterior.

Esta norma nos sirve para aceros plano brillante (DIM 174) y aceros cuadrados brillantes (DIM 178).

2. concepto

Aceros para chavetas brillantes es un acero transformado en frió, sin arranque de viruta y descascarillado, con superficie relativamente lisa, brillante y exactitud de medidas correspondientemente altas. Esta destinada a la fabricación de chavetas y lengüetas de ajuste.



Aristas matadas por todos los lados
bisel a elección redondeado del fabricante arista viva (SK)



3. Designación

Designación de un acero para chavetas con aristas matadas por todos los lados.

Anexo13

Tabla de selección de mezcladores

TABLA DE EVALUACIÓN DE UNIDADES DE MEZCLA DISTRIBUTIVA (5- BUENO, 1- MUY POBRE)

Tipos	Caida de presión	Lineamiento del flujo	Limpieza del cilindro	Fácil manejo	Maquinado	Esfuerzo de cizalladura	Reorientación del flujo	Puntaje
Saxton	4	4	5	4	4	4	5	30
Axon	4	4	4	4	5	4	3	28
Dulmage	4	4	2	4	4	4	5	27
Stat-Dyn	2	4	4	4	3	4	5	26
Romboides	2	4	3	4	4	4	5	26
Onda doble	4	4	4	4	2	4	2	24
Pulsar	4	4	4	4	3	3	2	24
Strata-blend	4	3	4	4	3	3	2	23
Pines	2	2	3	4	5	2	4	22

Anexo 14

Laminas de acero



Láminas

Tabla 2. Láminas de Acero Laminadas en Caliente

		Especificaciones Técnicas											
Calidades más comunes		Composición Química						Propiedades Mecánicas			Aplicaciones más frecuentes		
ASTM	JIS G 3141	L (x 100)	C (x 100)	MN (x 100)	P (x 100)	S (x 100)	SI (x 100)	CU (x 100)	Límite Elástico	Resistencia a la Tensión	% Alar		
A - 36	ST 33 - 1.2	Min		80,0	-	-	15,0	-	23 Kg/mm ²	-	41 Kg/mm ²	400MPa	20
		Max	25,0	120,0	4,0	4,0	30,0	20,0	25 Kg/mm ²	250MPa	56 Kg/mm ²	550MPa	23
A - 283 GR C	RST 37 - 1.2	Min		50,0	-	-	7,0	-	-	-	39 Kg/mm ²	380MPa	20
		Max	18,0	90,0	3,5	3,5	35,0	30,0	21 Kg/mm ²	205MPa	46 Kg/mm ²	450MPa	23
A - 131 GR A	RST 34 - 1.2	Min	-	53,0	-	-	-	-	-	-	41 Kg/mm ²	400MPa	21
		Max	21,0	-	4,0	4,0	50,4	-	23 Kg/mm ²	235MPa	50 Kg/mm ²	490MPa	24

Dimensiones y pesos de planchas comerciales		
Calibre	Espesor	Peso
Pulgadas	millímetros	Kg/m ²
C16	1,50	11,78
C14	1,90	14,92
C12	2,50	19,63
C11	3,00	23,55
1/8"	3,17	24,88
-	4,00	31,40
-	4,50	35,33
3/16"	4,76	37,37
-	6,00	47,10
1/4"	6,35	49,85
5/16"	7,94	62,33
-	9,00	70,65
3/8"	9,53	74,81
-	12,00	94,20
1/2"	12,70	99,70
-	15,00	117,75
-	19,00	149,15
-	25,00	196,25
-	32,00	251,20
-	38,00	296,30
-	50,00	392,50
-	63,00	494,55
-	75,00	588,75
-	100,00	785,00

Anexo 15

Características del motorreductor

SELECTION / ABTRIEBSDREZAHL / SELECCION / SELEZIONE n1 = 1400										
Type	n2	Ratio :1	Max kW	M2 nM	Max M2 NM	Motor Frame Size (kW)				
						80	80	90	90	100
BW	186	7.5:1	9.00	416	1020	93		1.1	1.5	2.2
	140	10:1	6.20	397	972	90		1.1	1.5	2.2
	93	15:1	4.40	418	1023	89		1.1	1.5	2.2
	70	20:1	3.50	438	1073	88		1.1	1.5	2.2
	56	25:1	3.10	479	1174	87		1.1	1.5	2.2
	90	30:1	2.50	421	1032	79		1.1	1.5	2.2
	Q	40:1	2.00	444	1087	78	0.55	0.75	1.1	1.5
	35	50:1	1.60	438	1073	77	0.55	0.75	1.1	1.5
	28	60:1	1.20	389	875	76	0.55	0.75	1.1	1.5
	20	70:1	N/A				0.55	0.75		
Q	18	80:1	0.85	295	663	61				
	14	100:1	0.70	299	672	60	0.55	0.75		

LUBRICATION / SCHMIERUNG / LUBRICACION / LUBRIFICAZIONE

The reduction units size BW30, 40, 50, 63, 75 & 90Q are supplied complete with synthetic oil and lubricated for life. They can, therefore, be mounted in any position. The only exceptions are size BW75Q and BW90Q in pos V5 / V6 for which you should call our Technical Department to assess the conditions of use. The reduction units size BW110-130Q are supplied complete with mineral oil lubricant.

Die Getriebegrössen BW30, 40, 50, 63, 75 & 90Q werden mit Langzeitschmiermittel, und zwar Synthetiköl (Polyglykol-01) AGIP TELIUM BSF, geliefert und können daher in jeder im Katalog vorgesehener Einbaulage montiert werden, mit Ausnahme der Grössen BW75Q & BW90Q in der Pos. V5 / V6 für die es ratsam ist, mit unserem Kundendienst Kontakt aufzunehmen, um die Einsatzbedingungen zu diskutieren. Die Getriebegrössen BW110-130Q werden mit Mineralöl AGIP BLASIA 46 geliefert.

Los reductores de los tamaños BW30, 40, 50, 63, 75 y 90Q son entregados con lubricante a vida, es decir aceite sintético AGIP TELIUM BSF y por lo tanto pueden ser montados en todas las posiciones de montaje previstas en el catálogo, a excepción de los tamaños BW75Q y BW90Q en la pos. V5 / V6 para lo cual es necesario ponerse en contacto con nuestro Servicio Técnico para evaluar las condiciones de empleo. Los reductores de los tamaños BW110-130Q son entregados con lubricante, es decir aceite mineral AGIP BLASIA 460.

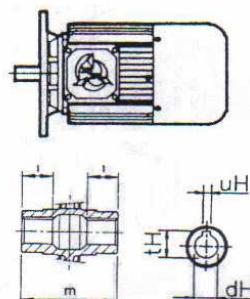
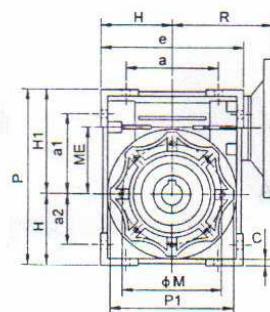
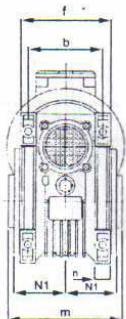
I riduttori delle gr. BW30, 40, 50, 63, 75 & 90Q vengono forniti completi di lubrificante a vita, olio a base sintetica AGIP TELIUM VSF e pertanto possono essere montati in tutte le posizioni di piazzamento previste a catalogo. Fanno eccezione le gr. BW75Q e BW90Q nella pos. V5 / V6 per la quale è opportuno rivolgersi al ns. Servizio Tecnico per valutare le condizioni di impiego. I riduttori gr. BW110-130Q vengono forniti completi di lubrificante, olio a base.

BW...Q	30	40	50	63	75	90	110	130
B3							3	4.5
B8							2.2	3.3
B6 - B7	0.04	0.08	0.15	0.07	0.55	1	2.5	3.5
V5 / V6							3	4.5

	DIMENSIONS / ABMESSUNGEN / DIMENSIONES / DIMENSIONI							
	BW30Q	BW40Q	BW50Q	BW63Q	BW75Q	BW90Q	BW110Q	BW130Q
a	54	70	80	100	120	140	170	200
a1	44	55	64	80	93	102	125	140
a2	27	35	40	50	60	70	85	100
b	44	60	70	85	90	100	115	120
c	5.5	6.5	7	8	10	11	14	15
e	80	100	120	144	172	208	252.5	292.5
f	56	71	85	103	112	130	144	155
H	40	50	60	72	86	103	127.5	147.5
H1	57	71.5	84	102	119	135	167.5	187.5
k	55	70	80	95	112.5	129.5	160	180
m	63	78	92	112	120	140	155	170
n	12	14	18	18	20	28	144	155
p	97	121.5	144	174	205	238	295	335
s	6.5	6.5	8.5	8.5	11	13	14	16
ME	30	40	50	63	75	90	110	130
M	65	75	85	95	115	130	165	215
N(h8)	55	60	70	80	95	110	130	180
N1	29	36.5	43.5	53	57	67	74	81
P1	75	87	100	110	140	160	200	250
s1	M6 x 11 4 x 0 deg.	M6 x 8 4 x 45 deg.	M8 x 101 4 x 45 deg.	M8 x 14 4 x 45 deg.	M8 x 14 4 x 45 deg.	M10 x 18 4 x 45 deg.	M8 x 18 4 x 45 deg.	M12 x 21 4 x 45 deg.
a3	80	110	125	180	200	210	280	320
a4	70	95	110	142	170	200	260	290
b2(H8)	50	60	70	115	130	152	170	180
e2	68	87	90	150	165	175	230	255
s2	6.5	9	11	11	14	14	14 x 8	16 x 8
H2	54.5	67	90	82	111	111	131	140
c1	6	7	9	10	13	13	15	15
f1	4	4	5	6	6	6	6	6
a4	-	140	160	200	-	-	-	-
b3(H8)	-	95	110	130	-	-	-	-
e3	-	115	130	165	-	-	-	-
H3	-	76.5	87.5	99	-	-	-	-
s3	-	9.5	9.5	11	-	-	-	-
c2	-	9	10	11	-	-	-	-
f2	-	5	5	5	-	-	-	-
a5	-	110	125	180	-	-	-	-
a2	-	95	110	142	-	-	-	-
b4(H8)	-	60	70	115	-	-	-	-
e4	-	87	90	150	-	-	-	-
H4	-	97	120	112	-	-	-	-
s4	-	9	11	11	-	-	-	-
c3	-	7	9	10	-	-	-	-
f3	-	4	5	6	-	-	-	-
dH(H7)	14	18 (19)	25 (24)	25 (28)	28 (35)	35 (38)	42	45
fH	16.3	20.8 (21.8)	28.3 (27.3)	28.3 (31.3)	31.3 (38.3)	38.3 (41.3)	45.3	48.8
uH	5	6 (6)	8 (8)	8 (8)	8 (10)	10 (10)	12	14
m	63	78	92	112	120	140	155	170
T	21	26	30	36	40	45	50	60
d(j6)	9	11	14	19	24	24	28	30
f	10.2	12.5	16.0	21.5	27.0	27.0	31.0	33.0
u	3	4	5	6	8	8	8	8
l	20	23	30	40	50	50	60	80
k1	71	83	104	130	155	175	202	242
z	-	-	M6	M6	M8	M8	M10	M10

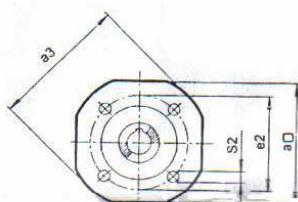
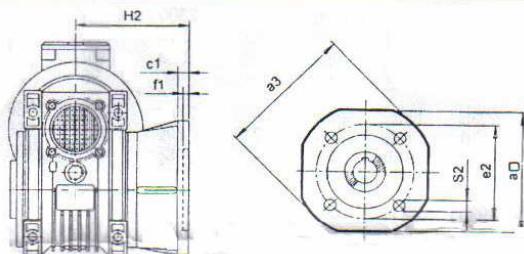
DIMENSIONS / ABMESSUNGEN / DIMENSIONES / DIMENSIONI

A / FP

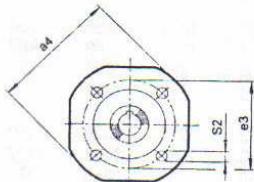
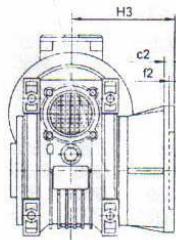


Motor Frame	56	63	71	80	90	100/112	132
B14 Ø	80	90	105	120	140	160	--
B5 Ø	120	140	160	200	200	250	300

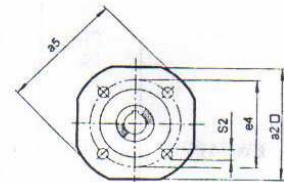
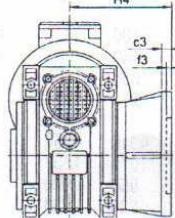
D / F



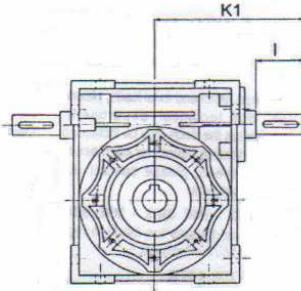
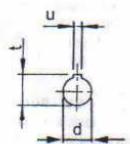
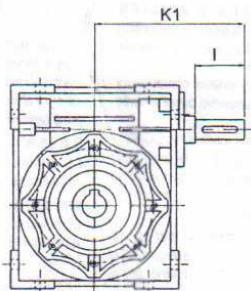
DRB



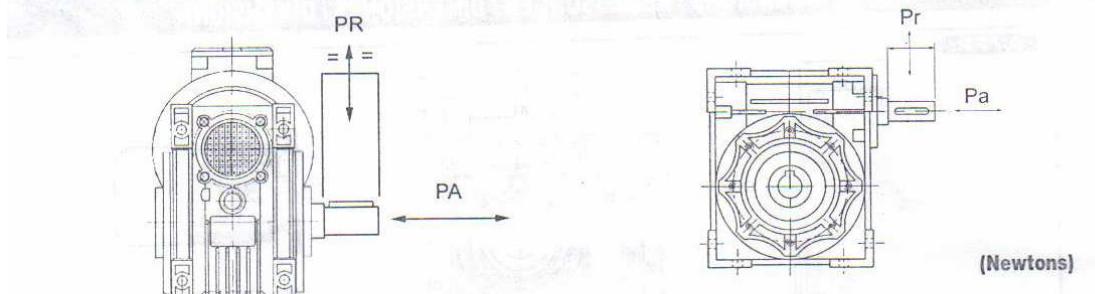
FL



BW-G-W



SHAFT LOADS / BELASTUNG DER ABTRIEBSWELLE / CARGAS SOBRE EL EJE / CARICHI SUL'ALLBERO



TYPE	I	7.5:1	10:1	15:1	20:1	25:1	30:1	40:1	50:1	60:1	70:1	80:1	100:1
		n1 = 1400	186	140	94	70	56	47	35	28	23	20	18
BW 30Q	PR	590	680	150	860	940	1000	1000	1100	1200	1300	1400	---
	PA	190	200	215	237	250	250	270	287	287	350	350	---
	Pr	150	150	160	160	190	210	210	210	210	210	210	---
	Pa	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	---
BW 40Q	PR	1350	1450	1660	1850	1970	2100	2300	2500	2650	2650	2900	3190
	PA	337	362	415	462	492	525	575	625	662	725	797	797
	Pr	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380
	Pa	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
BW 50Q	PR	1810	1930	2280	2505	2696	2865	3160	3400	3620	3620	4000	4290
	PA	452	482	570	626	674	716	790	850	905	905	1000	1072
	Pr	485	485	485	485	485	485	485	485	485	485	485	485
	Pa	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121
BW 63Q	PR	2365	2600	2980	3285	3540	3760	4150	4460	4730	4730	5200	5600
	PA	591	650	745	821	835	940	1037	1115	1182	1182	1300	1400
	Pr	580	580	580	580	580	580	580	580	580	580	580	580
	Pa	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145
BW 75Q	PR	2800	3100	3520	3900	4170	4450	4890	5260	5580	5580	6150	6630
	PA	700	775	880	975	1042	1112	1222	1315	1395	1395	1537	1657
	Pr	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650
	Pa	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163
BW 90Q	PR	3085	3400	3850	4300	4650	4900	5450	5850	6200	6200	6820	7340
	PA	771	850	962	1075	1162	1225	1362	1462	1550	1550	1705	1835
	Pr	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850
	Pa	213	213	213	213	213	213	213	213	213	213	213	213
BW 110Q	PR	3900	4310	4950	5450	5880	6210	6830	7350	7795	7795	8600	9300
	PA	975	1077	1237	1362	1470	1552	1707	1837	1948	1948	2150	2325
	Pr	950	950	950	950	950	950	950	950	950	950	950	950
	Pa	238	238	238	238	238	238	238	238	238	238	238	238
BW 130Q	PR	5000	5600	6400	7000	7500	8000	8700	9500	10000	10500	11000	12000
	PA	1225	1263	1400	1483	1713	1975	2200	2525	2525	2525	2900	2900
	Pr	1500	1800	2000	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
	Pa	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300

RADIAL & AXIAL SHAFT LOADS

The figures in the table indicate the permissible radial and axial loads at maximum power.

For combined radial and axial loads, please contact our technical department. At lower powers the loads may be increased - for precise loading figures for each actual power and speed, please contact our technical department.

GEÄHUSE - BW 30Q - BW 90Q

The casing and flanges are made in high strength UNI 5076 aluminium.

BW 110Q - BW 130Q

The casing and flanges are made in G25 cast iron.

RADIALE UND AXIALE WELLENBELASTUNGEN

Die Angaben in der Tabelle geben die zulässigen Belastungen bei maximaler Leistung an. Bei geringerer Leistung kann die Belastung erhöht werden. Für jede Leistung und Drehzahl kann unser Technisches Büro genaue Belastungswerte angeben.

GEÄHUSE - BW 30Q - BW 90Q

Das Gehäuse und die Welle bestehen aus sehr widerstandsfähigem Aluminium nach UNI 5076.

BW 110Q - BW 130Q

Das Gehäuse und Welle besteht aus sehr widerstandsfähigem GuBeisen G25.

CARGAS RADIALES Y AXIALES

Las cifras indicadas en la tabla corresponden a las cargas radiales y axiales a potencia máxima.

Para cargas radiales y axiales combinadas rogamos consultar con nuestro departamento técnico.

A bajas potencias, las cargas se pueden incrementar. Para obtener cifras exactas a una velocidad y potencia determinadas rogamos consultar con nuestro departamento técnico.

CARCASA - BW 30Q - BW 90Q

Las carcasas y bridas se fabrican con aluminio de alta resistencia UNI 5076.

BW 110Q - BW 130Q

La carcasa y brida están fabricadas de fundición de hierro G25.

CARICHI RADIALI E ASSIALI

Le cifre della tabella indicano i carichi radiali e assiali permessi alla massima potenza. Con potenze più basse i carichi possono essere aumentati. Per cifre più esatte relative ad ogni altra diversa potenza e velocità vi preghiamo di contattare il ns. ufficio tecnico.

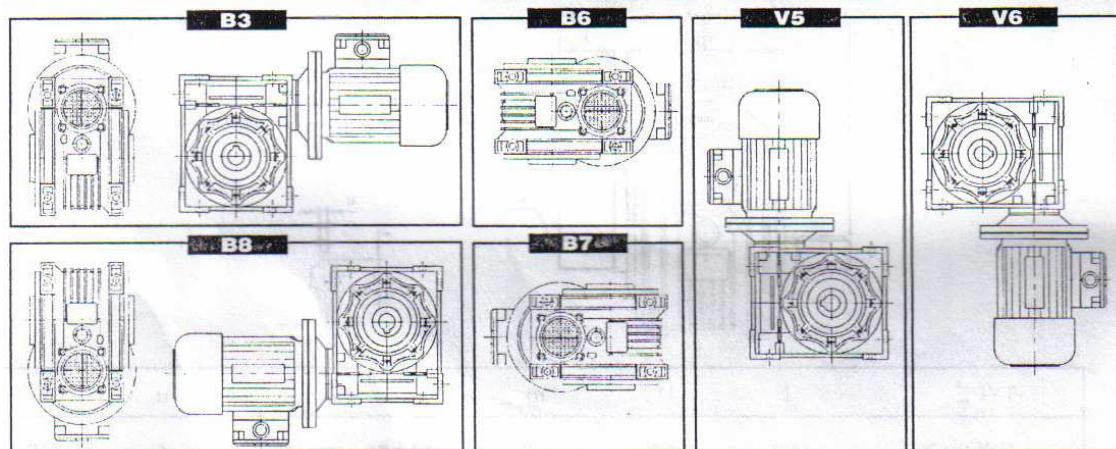
CASSA - BW 30Q - BW 90Q

La cassa è in ghisa G25 ad alta resistenza UNI 5076.

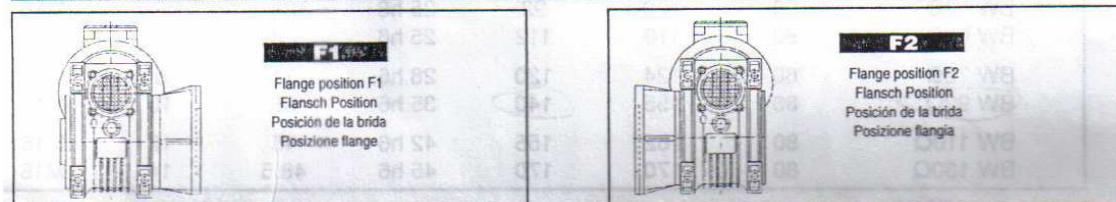
BW 110Q - BW 130Q

La cassa è in alluminio UNI 5076 ad alta resistenza e perfetta tenuta stagna.

Mounting Positions / Bauformen / Posiciones de Montaje /Posizioni di Montaggio



Position of Output Flange / Position de apri flansche / Posición de la brida de salida /Posizione Fiangia uscita



SERVICE FACTOR F_s

We advise the use of a 1.2 service factor (F_s) due to the fact that most applications have irregularities which may not be apparent from initial calculations. The following procedure is recommended to determine the correct unit size for any particular application.

$F_s = f_A f_B$ f_A = Shock factor
 f_B = Shock Factor

Select a drive from the tables using the following:

$F_s \times \text{Motor kW} < \text{max. kW}$

BETRIEBSFAKTOREN f_A

Wir empfehlen von einem Betriebsfaktor (f_A) 1.2 auszugehen. Dies wegen der Tatsache, dass es im Einzelfall bei den meisten Einsätzen unregelmäßigkeiten auftreten, die vorher nicht kalkuliert waren. Die folgende Vorgehensweise wird empfohlen, um die richtige Größe der Einheit für jeden Einsatzzweck zu bestimmen.

$f_A = f_A f_B$ f_A = Stossfaktor
 f_B = Anlauf faktor

Wählen Sie einen Antrieb aus der Tabelle steht unter Anwendung der folgenden Formel, aus

$F_s \times \text{Motorleistung kW} < \text{max. kW}$

FACTOR DE SERVICIO F_s

Consejamos utilizar un factor de servicio (F_s) de 1.2. Debido a que en la mayoría de aplicaciones hay irregularidades que no se aprecian en los cálculos iniciales, se recomienda utilizar el siguiente procedimiento para determinar el tamaño correcto de reducción para una aplicación concreta.

$F_s = f_A f_B$ f_A = Factor impulsivo
 f_B = Factor impulsivo

Seleccionar un reducir de las tablas utilizando lo siguiente

$F_s \times \text{Motor kW} < \text{max. kW}$

FATTORE DI SERVIZIO F_s

Si consiglia di adottare un fattore di servizio (F_s) 1.2. perché una qualsiasi applicazione presenta sempre un certo grado di irregolarità, per quanto possa sembrare uniforme ad una analisi superficiale.

$F_s = f_A f_B$ f_A = Stossfaktor
 f_B = Anlauf faktor

Scegliere una motorizzazione dalle tabelle di selezione.

$F_s \times \text{Motorizzazione kW} < \text{max. kW}$

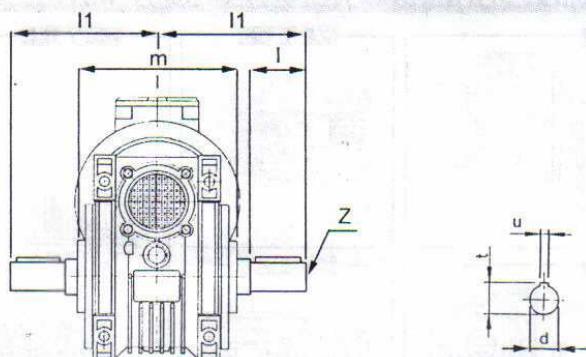
START FACTOR / ANLAUFFAKTOR / ARRANCADAS / FATTORE DI AVVIO f_A

Starts / Hour	Anl. / Std.	Arr / Hora	Avv / Ora	4	10	25	40	60	250
		f_A		1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5

SHOCK FACTOR / STOSS FAKTOR / FACTOR IMPULSIVO / FATTORE DI URTO f_B

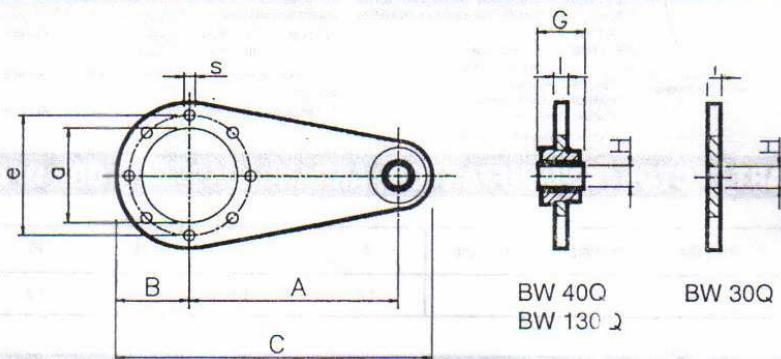
MACHINE	MASCHINE	MÁQUINA	MACCHINA	Hours/day duty Lauzeit Stunden/Tag Horas/día Ore/giorni di funzionamento
Uniform almost shock-free operation, driven element with low inertia	Stossfreier Betrieb, geringe Schwungmasse	Funcionamiento uniforme casi sin impulsos y con elemento conducido de baja inercia	Funzionamento uniforme, senza urti durante il lavoro, elementi di guida con bassa inerzia	2 8 24 0.8 1.0 1.25
Irregular service medium shock loads, driven element with medium/high inertia	Ungleichmässiger Betrieb, mittlere Stöße, mittlere bis grosse Schwungmasse	Funcionamiento irregular, cargas impulsivas medianas y con elemento conducido de media o alta inercia	Servizio non regolare, con urti moderati, elementi di guida con media / alta inerzia	1.0 1.25 1.5
Irregular service high shock loads, driven element with high inertia	Ungleichmässiger Betrieb starke Stossbelastung grosse Schwungmasse	Funcionamiento irregular, cargas altamente impulsivas y con elemento conducido de alta inercia	Servizio irregolare, con forti urti, elementi di guida con alta inerzia.	1.5 1.75 2.0

OUTPUT SHAFT / ABTRIBSWELLE / EJES DE SALIDA / ALBERO LENTO



TYPE	I	I1	m	d	t	u	z
BW 30Q	30	64	63	14 h6	16	5	M6
BW 40Q	40	82	78	18 h6	20.5	6	M6
BW 50Q	50	100	92	25 h6	28	8	M10
BW 63Q	50	110	112	25 h6	28	8	M10
BW 75Q	60	124	120	28 h6	31	8	M10
BW 90Q	80	155	140	35 h6	38	10	M12
BW 110Q	80	162	155	42 h6	45	12	M16
BW 130Q	80	170	170	45 h6	48.5	14	M16

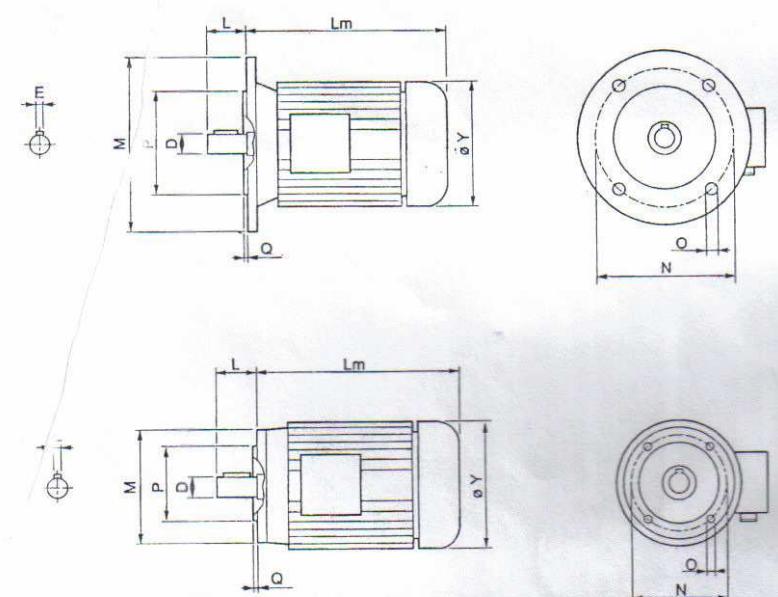
TORQUE ARM / DREHMOMENTSTÜTZE / BRAZO DE REACCION / BRACCIO DI REAZIONE



TYPE	a	e	s	A	B	C	G	H	I
BW 30Q TA	55	65	7	85	37	137	-	8	4
BW 40Q TA	60	75	7	100	43	161	14	10	4
BW 50Q TA	70	85	9	100	50	168	14	10	4
BW 63Q TA	80	95	9	150	55	223	14	10	6
BW 75Q TA	95	115	9	200	70	300	25	20	6
BW 90Q TA	110	130	11	200	80	310	25	20	6
BW 110Q TA	130	165	11	250	100	385	30	25	12
BW 130Q TA	180	215	13	250	125	410	30	25	12

**ELECTRIC MOTORS / ELEKTROMOTOREN
MOTEURS ELECTRIQUES / MOTORES ELÉCTRICOS / MOTORI ELETTRICI**

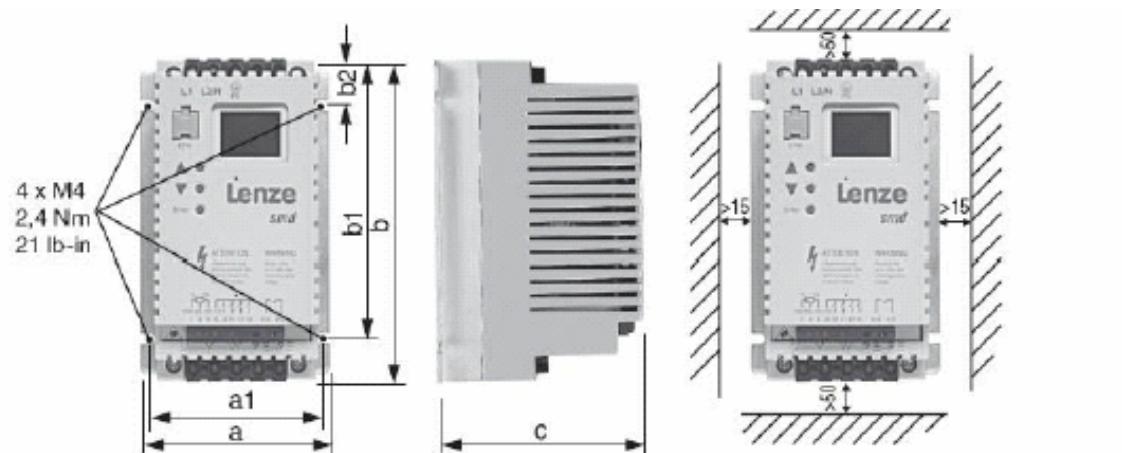
Dimensions and technical data / Abmessungen und auswahltabellen / Dimensiones y datos tecnicos / Dimensioni e dati tecnici



	2 poli / poles			4 poli / poles			6 poli / poles			B5-B14						B5						B14						Kg
	kW	Nm	A (400V)	kW	Nm	A (400V)	kW	Nm	A (400V)	D	E	L	Lm	Y	P	N	M	O	Q	P	N	M	O	Q	P	N	M	O
56 A	0.09	0.3	0.38	0.06	0.4	0.38	--	--	--	9	3	20	169	107	80	100	120	9	2.5	50	65	80	M5	2.5	2.7	2.9		
56 B	0.12	0.5	0.53	0.09	0.6	0.43	--	--	--	11	4	23	191	123	95	115	140	9.5	3	60	75	90	M5	2.5	3.8	4.2		
63 A	0.18	0.6	0.58	0.12	1.0	0.57	0.09	1.0	0.54	14	5	30	213	142	110	130	160	9.5	3.5	70	85	105	M6	2.5	5.9	6.5		
63 B	0.25	0.9	0.90	0.18	1.4	0.65	0.12	1.4	0.67	19	6	40	237	160	130	165	200	11.5	3.5	80	100	120	M6	3	8.5	10		
71 A	0.37	1.2	1.0	0.25	1.7	0.86	0.18	1.9	0.75	24	8	50	282	180	130	165	200	11.5	3.5	95	115	140	M8	3	12.5	15		
71 B	0.55	1.9	1.5	0.37	2.6	1.3	0.25	2.8	0.9	313	198	332	224	198	180	215	250	13	4	110	130	160	M8	3.5	20	22		
80 A	0.75	2.5	1.8	0.55	3.9	1.6	0.37	4.0	1.4	362																	41	
80 B	1.1	3.6	2.5	0.75	5.2	2.2	0.55	5.8	2.0	402																	51	
90 S	1.5	5.0	3.9	1.1	7.8	3.0	0.75	8.0	2.2	402																	51	
90 L	2.2	7.5	5.5	1.5	10	4.0	1.1	12	3.2	230	265	300	14	198	180	215	250	13	4	110	130	160	M8	3	102	115		
90 LL	--	--	--	1.8	12	5.2	--	--	--	402																	61	
100 LA	3	10	6.4	2.2	15	5.9	1.5	15	4.3	491	316	491	316	198	180	215	250	13	4	110	130	160	M8	3.5	102	115		
100 LB	--	--	--	3	20	7.5	1.8	19	5.0	252	230	265	300	14	4	252	230	265	300	14	4	110	130	160	M8	3.5	115	121
112 M	4	13.8	9.0	4	27	9.6	2.2	23	5.8	402																		102
132 S	5.5	18	12.7	5.5	37	12.4	3	31	7.2	402																	51	
132 S	7.5	25	17.0	5.5	37	12.4	3	31	7.2	402																	51	
132 M	9	30	18.5	7.5	50	16	4	42	10.8	402																	61	
132 L	--	--	--	9	62	19.5	5.5	56	14.0	402																	102	
160 M	11	37	24	11	74	25	7.5	74	17.0	491	316	491	316	198	180	215	250	13	4	110	130	160	M8	3.5	115	121		
160 M	15	48	29	11	74	25	7.5	74	17.0	491	316	491	316	198	180	215	250	13	4	110	130	160	M8	3.5	140	140		
160 L	18.5	63	35	15	98	34	11	113	25	536	360	536	360	198	180	215	250	13	4	110	130	160	M8	3.5	250	250		
180 M	22	75	42	18.5	123	41	--	--	--	555	360	555	360	198	180	215	250	13	4	110	130	160	M8	3.5	250	250		
180 L	--	--	--	22	147	45	15	150	31	597	360	597	360	198	180	215	250	13	4	110	130	160	M8	3.5	250	250		
200 L	--	--	--	--	--	--	--	22	233	43	745	395	745	395	198	180	215	250	13	4	110	130	160	M8	3.5	250	250	

Anexo 16

Características del variador de velocidad



Front View: Shows the drive unit with a heat sink. Dimensions: $a = 93$ mm, $a1 = 84$ mm, $b = 146$ mm, $b1 = 128$ mm, $b2 = 17$ mm, $c = 83$ mm. Mounting holes: $4 \times M4$, $2,4 \text{ Nm}$, 21 lb-in .

Side View: Shows the drive unit mounted vertically. Dimensions: $b1 = 128$ mm, $b2 = 17$ mm, $c = 83$ mm. Clearance requirements: >15 mm on both sides.

Mounting Dimensions (mm):

Tipo	a (mm)	a1 (mm)	b (mm)	b1 (mm)	b2 (mm)	c (mm)	m (kg)
ESMD251X2SFA	93	84	146	128	17	83	0.5
ESMD371X2SFA	93	84	146	128	17	92	0.6
ESMD551X2SFA	114	105	146	128	17	124	1.2
ESMD751X2SFA	114	105	146	128	17	140	1.4
ESMD152X2SFA	93	84	146	128	17	83	0.5
ESMD371X2TXA	93	84	146	128	17	92	0.6
ESMD751X2TXA	93	84	146	128	17	141	1.2
ESMD112X2TXA	114	105	146	128	17	140	1.4
ESMD222X2TXA	114	105	146	128	17	171	1.9
ESMD302X2TXA	114	105	146	100	17	171	1.7
ESMD402X2TXA	114	105	146	128	17	171	1.7

kW	3~ 200/230 V				
	Tipo de smd	Medidas Al x An x Pr [mm]	Tipo de filtro	Medidas, incl. tipo de filtro Al x An x Pr [mm]	Comunicaciones
0,37	ESMD371X2TXA	146x93x83	ESMD1124TMF	175x95x126	—
0,75	ESMD751X2TXA	146x93x92	ESMD2224TMF	175x118x135	—
1,10	ESMD112X2TXA	146x93x141	ESMD5524TMF	175x118x184	—
1,50	ESMD152X2TXA	146x93x141	ESMD5524TMF	175x118x184	—
2,20	ESMD222X2TXA	146x114x140	ESMD5524TMF	175x118x184	—
3,00	ESMD302X2TXA	146x114x171	ESMD5524TMF	175x118x214	—
4,00	ESMD402X2TXA	146x114x171	ESMD1134TMF	226x150x214	—
5,50	ESMD552L2TXA	197x146x182	ESMD1134TMF	226x150x225	●
7,50	ESMD752L2TXA	197x146x182	ESMD1134TMF	226x150x225	●
11,00	ESMD113L2TXA	248x195x203	ESMD2234TMF	280x198x269	●
15,00	ESMD153L2TXA	248x195x203	ESMD2234TMF	280x198x269	●

Anexo 17

Dimensiones principales de las roscas de tornillos Unified Nacional Standard

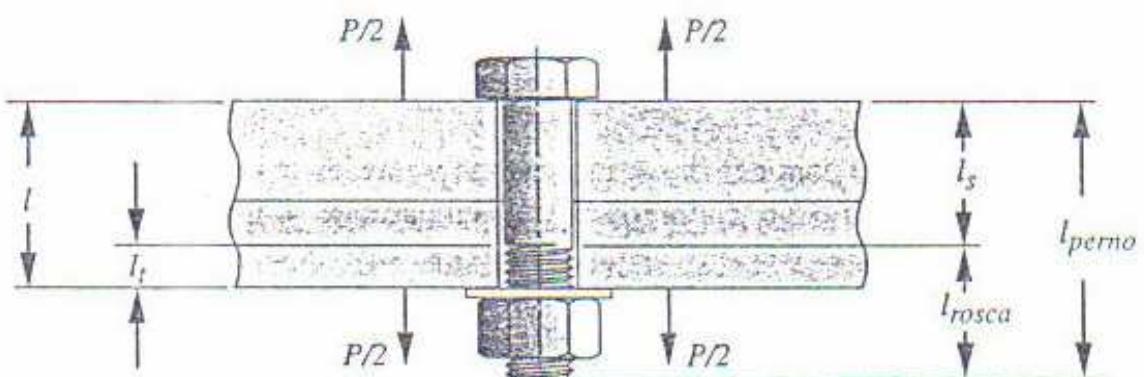
Tamaño	Diámetro mayor d (in o pulg)	Roscas basta—UNC			Roscas finas—UNF		
		Hilos por pulgada	Diámetro menor d_r (in)	Área de esfuerzo a tensión A_t (in ²)	Hilos por pulgada	Diámetro menor d_r (in)	Área de esfuerzo a tensión A_t (in ²)
0	0.0600	—	—	—	80	0.0438	0.0018
1	0.0730	64	0.0527	0.0026	72	0.0550	0.0028
2	0.0860	56	0.0628	0.0037	64	0.0657	0.0039
3	0.0990	48	0.0719	0.0049	56	0.0758	0.0052
4	0.1120	40	0.0795	0.0060	48	0.0849	0.0066
5	0.1250	40	0.0925	0.0080	44	0.0955	0.0083
6	0.1380	32	0.0974	0.0091	40	0.1055	0.0101
8	0.1640	32	0.1234	0.0140	36	0.1279	0.0147
10	0.1900	24	0.1359	0.0175	32	0.1494	0.0200
12	0.2160	24	0.1619	0.0242	28	0.1696	0.0258
1/4	0.2500	20	0.1850	0.0318	28	0.2036	0.0364
5/16	0.3125	18	0.2403	0.0524	24	0.2584	0.0581
3/8	0.3750	16	0.2938	0.0775	24	0.3209	0.0878
7/16	0.4375	14	0.3447	0.1063	20	0.3725	0.1187
1/2	0.5000	13	0.4001	0.1419	20	0.4350	0.1600
9/16	0.5625	12	0.4542	0.1819	18	0.4903	0.2030
5/8	0.6250	11	0.5069	0.2260	18	0.5528	0.2560
3/4	0.7500	10	0.6201	0.3345	16	0.6688	0.3730
7/8	0.8750	9	0.7307	0.4617	14	0.7822	0.5095
1	1.0000	8	0.8376	0.6057	12	0.8917	0.6630
1 1/8	1.1250	7	0.9394	0.7633	12	1.0167	0.8557
1 1/4	1.2500	7	1.0644	0.9691	12	1.1417	1.0729
1 3/8	1.3750	6	1.1585	1.1549	12	1.2667	1.3147
1 1/2	1.5000	6	1.2835	1.4053	12	1.3917	1.5810
1 3/4	1.7500	5	1.4902	1.8995			
2	2.0000	4.5	1.7113	2.4982			
2 1/4	2.2500	4.5	1.9613	3.2477			
2 1/2	2.5000	4	2.1752	3.9988			
2 3/4	2.7500	4	2.4252	4.9340			
3	3.0000	4	2.6752	5.9674			
3 1/4	3.2500	4	2.9252	7.0989			
3 1/2	3.5000	4	3.1752	8.3286			
3 3/4	3.7500	4	3.4252	9.6565			
4	4.0000	4	3.6752	11.0826			

Anexo 18

Especificaciones y resistencias métricas para pernos de acero

TABLA 14-7 · Especificaciones y resistencias métricas para pernos de acero

Número de clase	Rango de tamaño del diámetro exterior (mm)	Resistencia de prueba mínima (MPa)	Límite elástico mínimo (MPa)	Resistencia mínima a tensión (MPa)	Material
4.6	M5-M36	225	240	400	bajo o medio carbono
4.8	M1.6-M16	310	340	420	bajo o medio carbono
5.8	M5-M24	380	420	520	bajo o medio carbono
8.8	M16-M36	600	660	830	medio carbono, T y R
9.8	M1.6-M16	650	720	900	medio carbono, T y R
10.9	M5-M36	830	940	1 040	martensita de bajo carbono, T y R
12.9	M1.6-M36	970	1 100	1 220	aleación, T y R

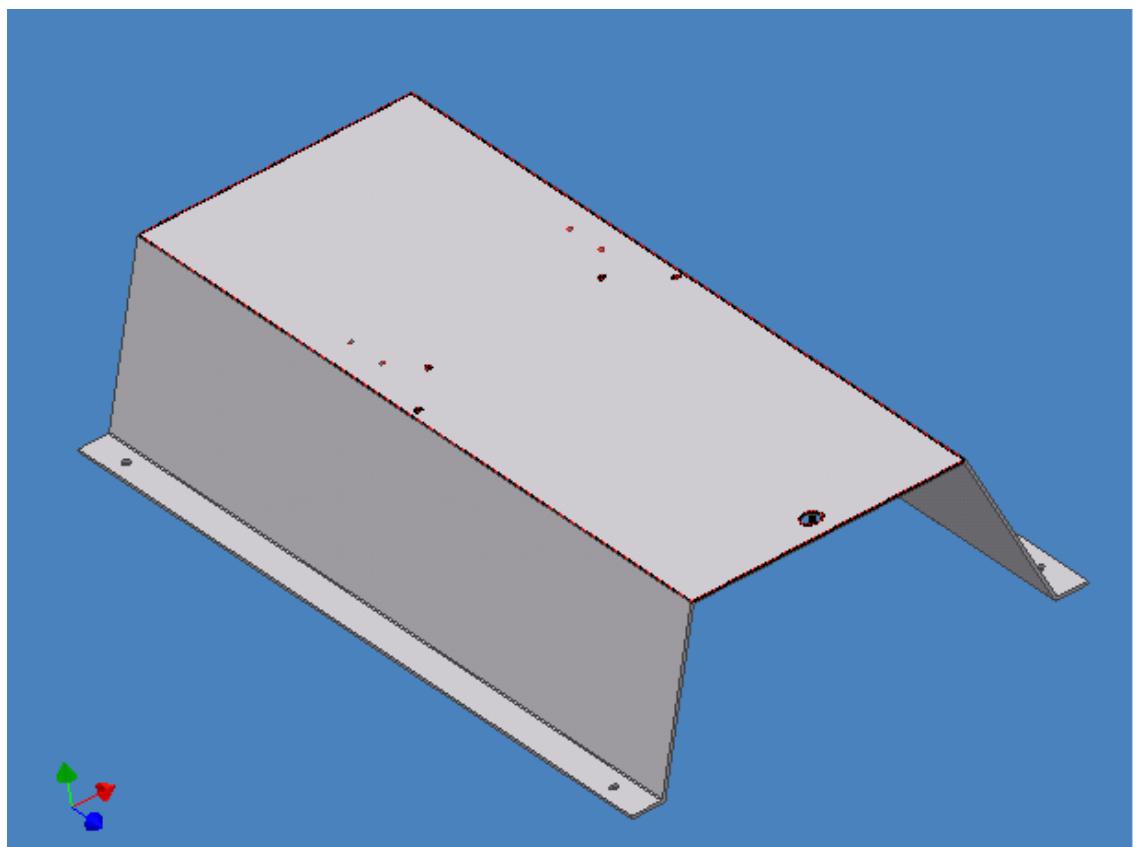


Anexo 19

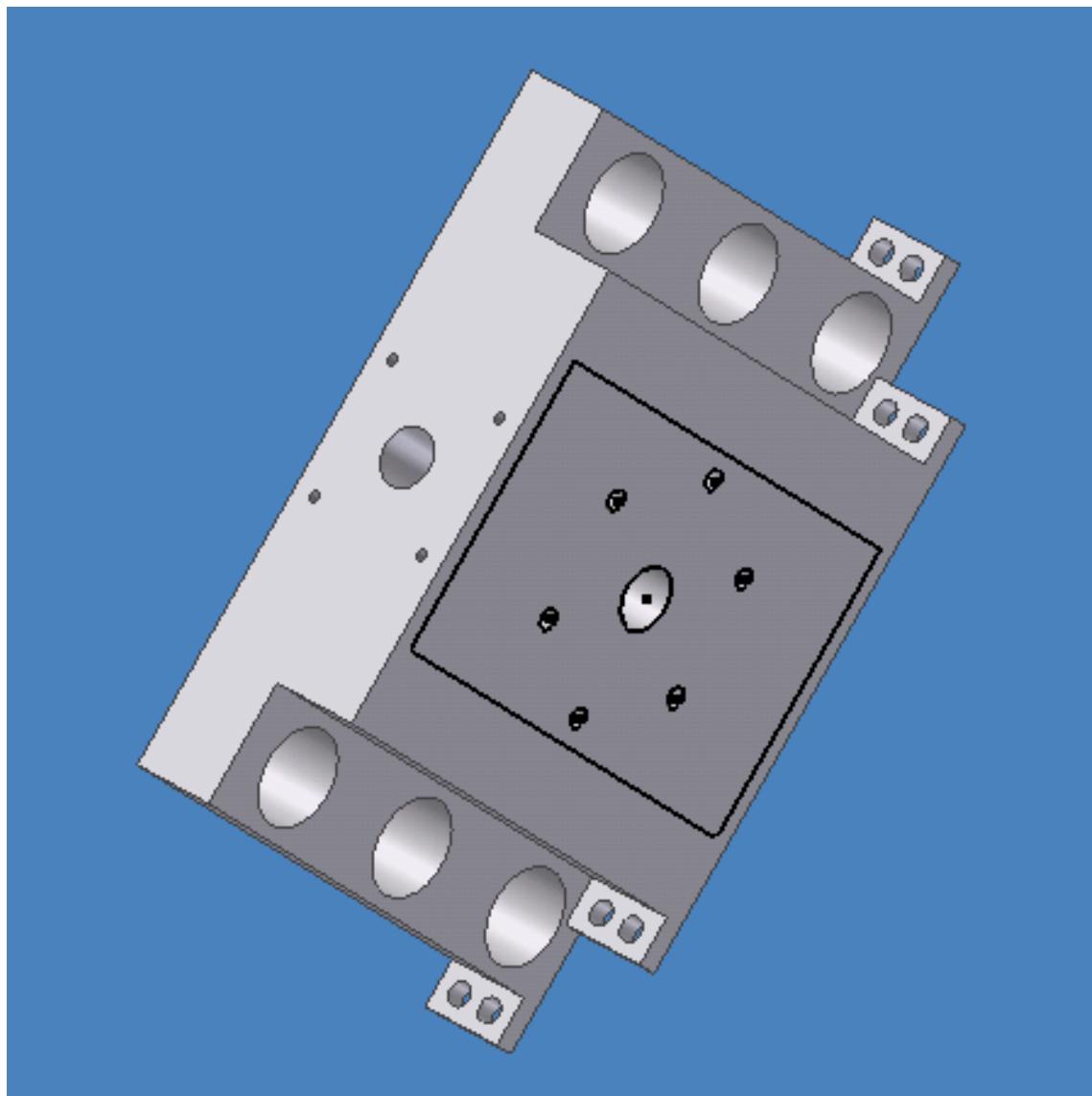
Planos de la máquina extrusora

Todos los planos de la máquina se encuentran diseñados en el programa de CAD INVENTOR 8 los cuales se adjuntan al proyecto de grado en forma magnética

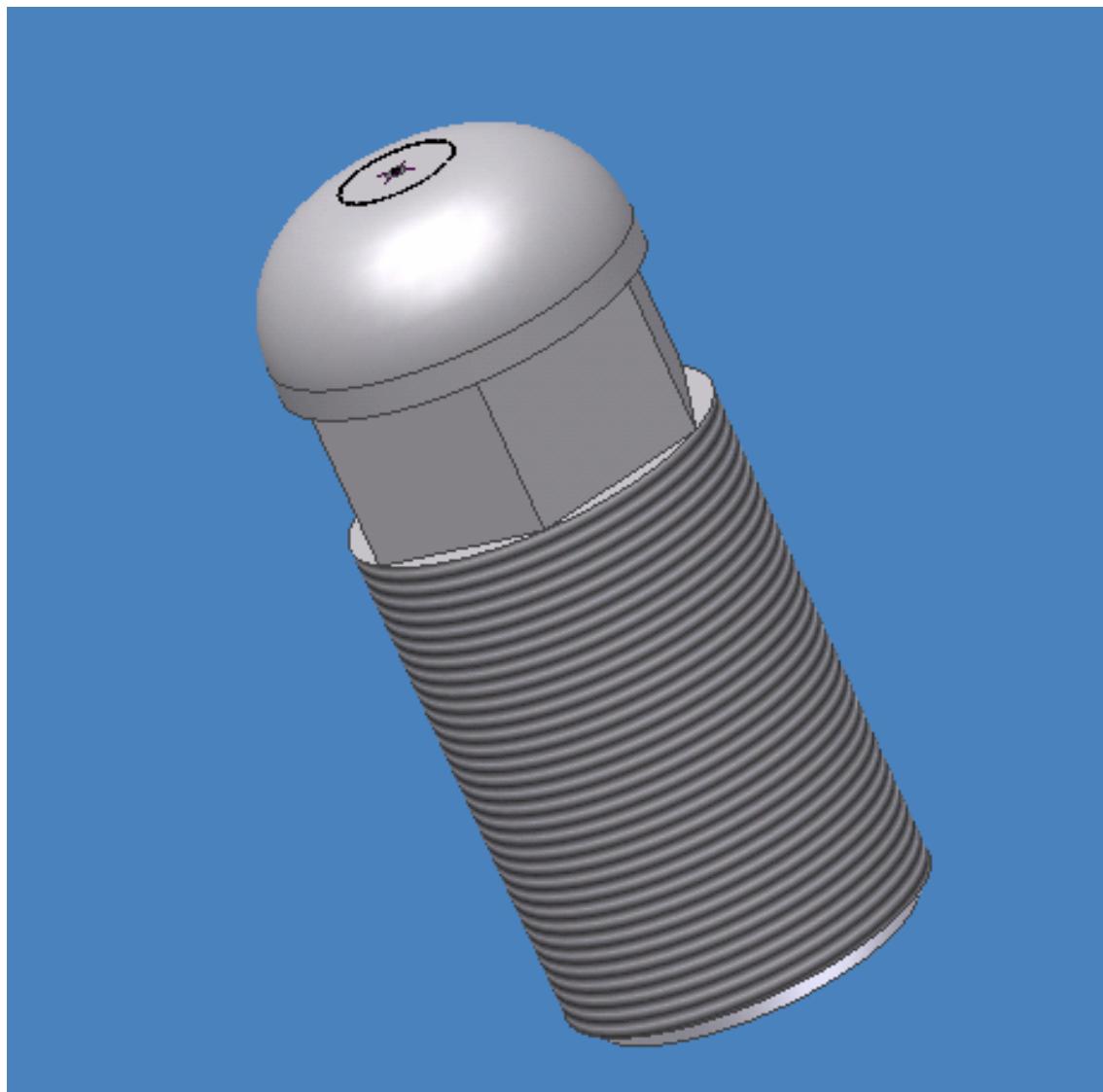
BASE PARA EXTRUSORA



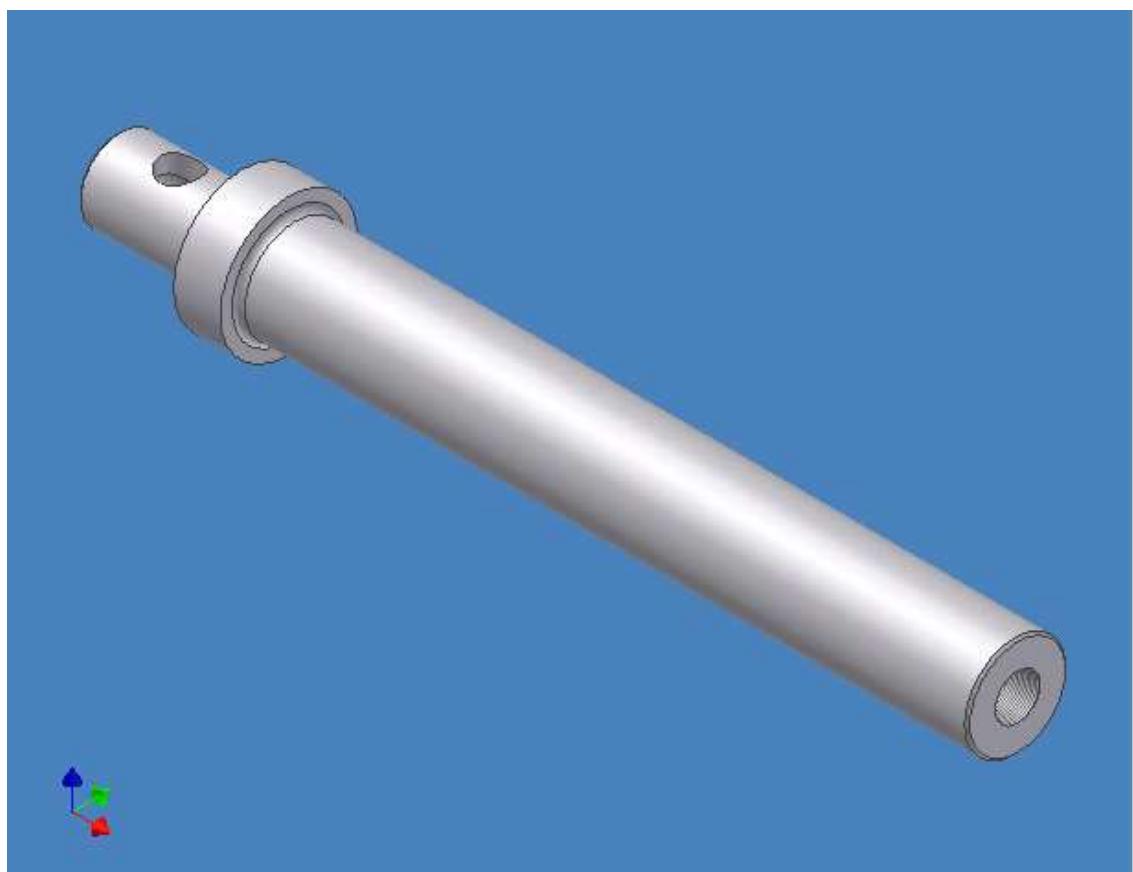
SOPORTE DE LA CAMISA



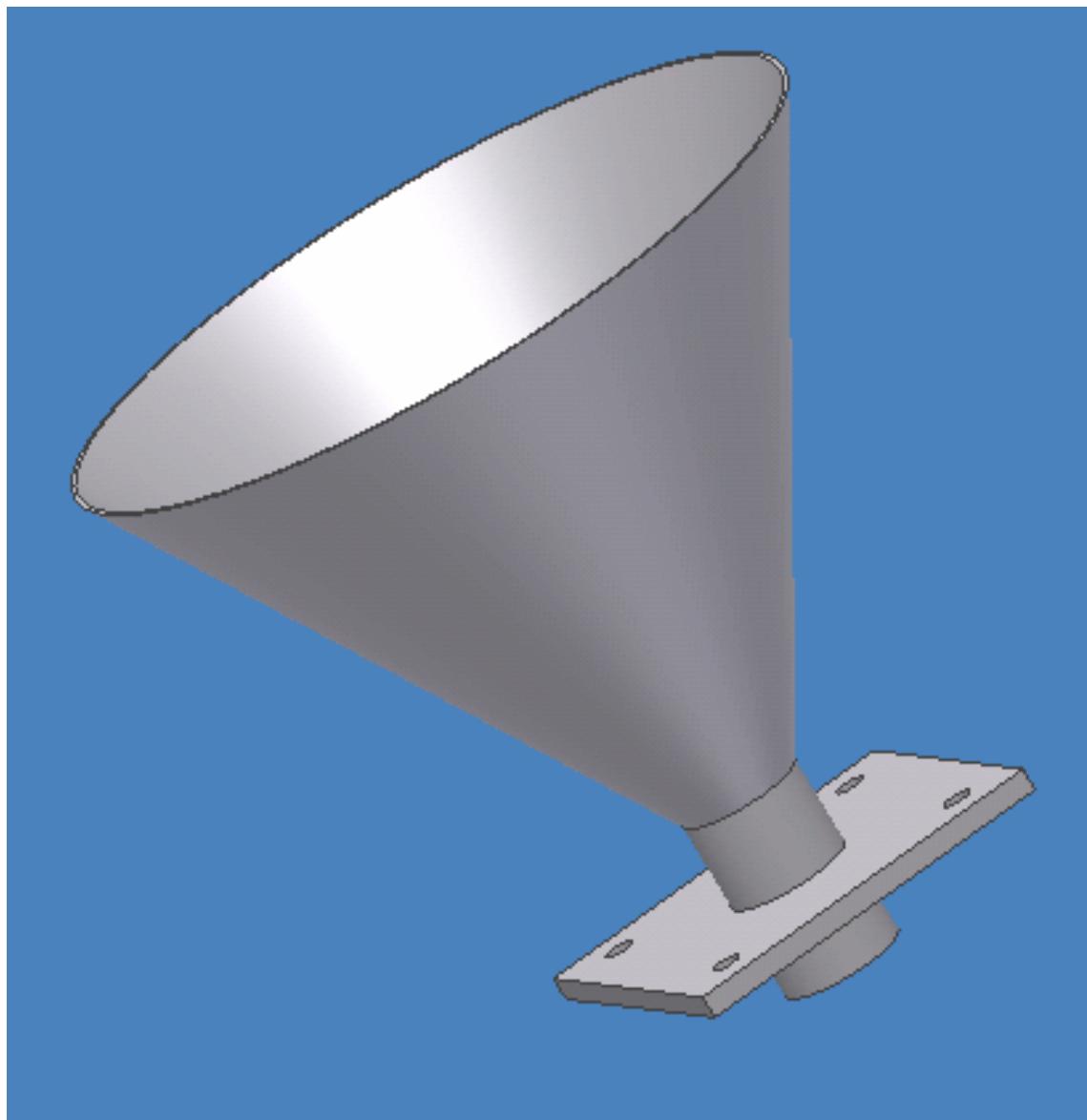
BOQUILLA



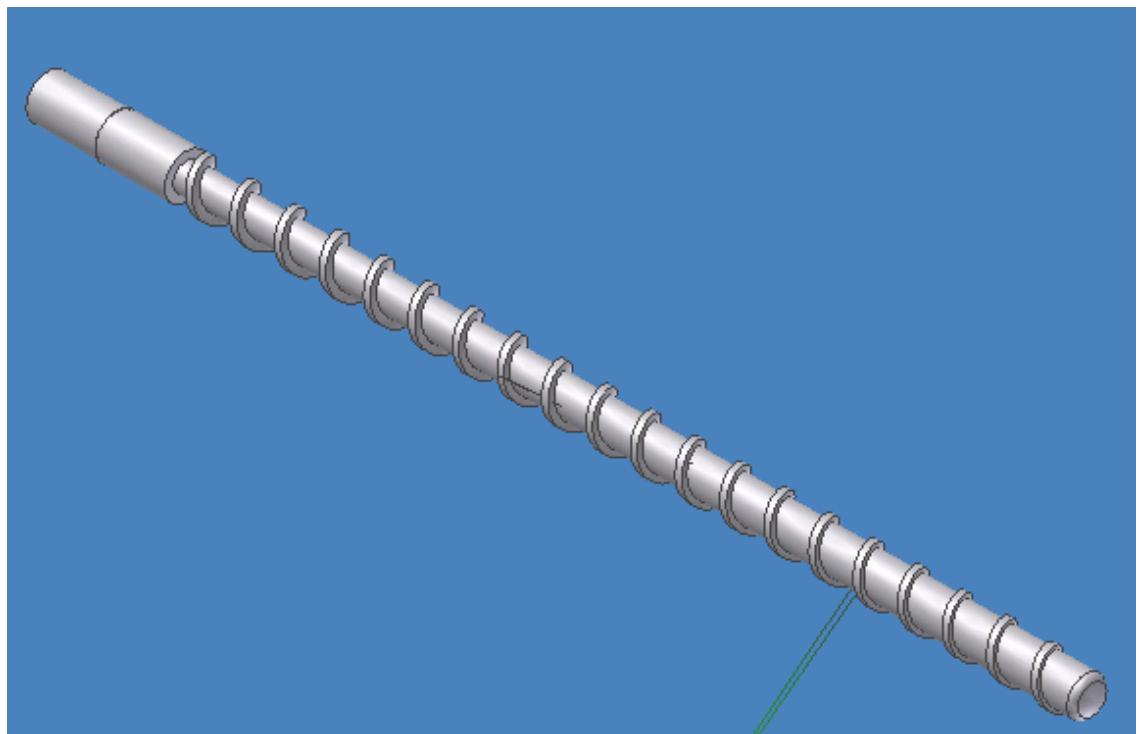
CAMISA DE LS EXTRUSORA



TOLVA



TORNILLO EXTRUSOR



ENSAMBLE COMPLETO

