



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA E INDUSTRIAL

***DISEÑO Y MANUFACTURA DE UN
CARRO DE ARRASTRE PARA UNA
MÁQUINA DE EXTRUSIÓN***

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

P R E S E N T A N

MIGUEL APARICIO CRUZ

ALFONSO DAVID LOAEZA BECERRIL

DIRECTORA DE LA TESIS:

DRA. MAGDALENA TRUJILLO BARRAGÁN



MÉXICO, D.F.

CIUDAD UNIVERSITARIA, 2012

AGRADECIMIENTOS

Muchas fueron las vicisitudes que se presentaron en mi ruta hacia la universidad, desde la desidia de aprender y entender los primeros actos morales que me llevaron a la toma de mi primera decisión hasta las consecuencias de la misma. No bastó un regaño, sino un silencio, no un castigo, si un ejemplo; Ejemplos que mis padres, con todo el dolor de su alma, seguro, forjaron e hicieron de mí lo que ahora soy.

María Isabel y Alfonso David son esos padres que no decidí tener, mas si hubiese tenido esa oportunidad, sin duda serían ellos. Su apoyo incondicional, haciendo de ellos mismos *segundo* para dar a sus hijos *primero*, trascendió de modo que me fue posible terminar ésta etapa de mi vida. Su ejemplo, de trabajo constante para sentir el valor de las cosas, marcó la senda de mi camino; Papá, Mamá, ahora es mi turno.

Mis hermanos, Carlos, Isabel y Fernanda, cada uno con su gran camión de arena en momentos complicados. Carlos, hermano de los que la vida da uno por milenio, Isabel, mujer ejemplar que marcó el paso en la familia y Fernanda, hermanita que estuvo conmigo cuando la soledad entraba en mi habitación.

Georgina (Geito pa'mi), quien me brindó su tiempo y espacio para hacer de mi y su camino, nuestro camino, mujer en toda la extensión de la palabra y compañera de vida, te agradezco tus enseñanzas y el haberme soportado cuando ni yo podía, porque cada palabra tuya fue una palmadita en mi espalda, y solo me bastaba ver tus ojos para saber que sí podía.

Abuelita Lichita, ejemplo fehaciente de madre decimonónica, su impulso y palabras de aliento den momentos lúgubres construyeron un escalón para poder llegar a este momento. Tía Lety y tío Juan, su ejemplo de éxito, aún con las disidencias propias de la vida, me abrieron una ventana a lo grande que puede ser la vida con trabajo y dedicación.

Doctora Magdalena, mi profesora, mi amiga; Por haberme dado la oportunidad de desarrollarme profesional y personalmente, por su tiempo, enseñanza y amistad, por su confianza y su ejemplo como persona, Le agradezco en demasía. Porque gracias a Ud. He visto la vida desde otra perspectiva, aquella que sólo experiencia es capaz de mostrar, y Ud. La compartió conmigo y porque gracias a Ud. realizaré uno de mis más grandes sueños.

Miguel, con quien realicé esta tesis, con quien aprendí cosas que ni en los más renombrados libros se aprenden. Un amigo de los que plantan con nimo y se riegan con confianza, así es él.

A la familia Chávez Álvarez, quien nos brindó su apoyo en todo momento a lo largo del desarrollo de este trabajo, por las visitas guiadas en la colonia, por todas las comidas que, muy amablemente, nos daban y por las noches en que nos alojaban en su casa. Gracias, pues sin su apoyo, esta tesis no hubiese tenido un final feliz cercano.

Y a todo el equipo del Laboratorio de procesamiento de Plásticos por su compañerismo en momentos de álgido delirio dentro y fuera del recinto felino, pues sin ustedes, los proyectos se hubiesen tornado funestos.

GRACIAS ...

Alfonso David Loaeza Becerril

AGRADECIMIENTOS

Después de un largo camino he logrado culminar uno de mis grandes sueños por lo que quiero agradecer.

A mis padres, al Sr. Celso Aparicio L. y a la Sra. Antonia Cruz C., porque gracias a su apoyo y consejos he llegado a realizar la más grande de mis metas. La cual constituye la herencia más valiosa que pudiera recibir.

A mis hermanos (Carmelo, Alberto, Martín, Antonio, Carlos y Jesús) por que junto a ellos he vivido los mejores momentos de mi vida y sin duda alguna siempre han estado conmigo.

A mi madrina, Estela Cruz C., por su apoyo y confianza que siempre me han llevado a que logre todas mis metas.

A la Dra. Magdalena Trujillo Barragán, por haber confiado en mí, por la paciencia, por la dirección de este trabajo, por haberme brindado la oportunidad de laborar con ella y sobre todo por brindarme su valiosa amistad.

A David Loeza B. por su apreciable amistad y por darme la oportunidad de trabajar con él en este proyecto.

A la familia Chávez Álvarez por el gran apoyo y atención que de forma incondicional nos proporcionaron en la elaboración de esta tesis.

A todos mis amig@s que me apoyaron y me permitieron entrar en su vida durante estos años de convivencia dentro y fuera del salón de clase.

Y a todos los integrantes del laboratorio de procesamiento de plásticos que de forma directa o indirecta estuvieron conmigo para culminar este proyecto.

Miguel Aparicio Cruz

Índice descriptivo

Objetivos	1
Hipótesis	1
Introducción	2
Capítulo 1	
<u>Antecedentes</u>	3
1.1. Tipos de Plásticos	6
1.2. Conformado del plástico	6
Capítulo 2	
<u>Descripción del proceso de extrusión y sus componentes</u>	17
2.1 Configuraciones de dados y productos extrudidos	25
2.2 Defectos de extrusión	27
2.3 Líneas de extrusión	31
Capítulo 3	
<u>Diseño conceptual del prototipo</u>	35
3.1 Planteamiento del problema	35
3.2 Sistema de apertura y cierre	44
3.3 Sistema de transmisión de potencia	49
3.4 Sistema motriz	53
3.4.1 Motor de Corriente directa	53
3.4.2 Motor de corriente alterna	56
3.5 Cinta transportadora	61
Capítulo 4	
<u>Análisis del proceso de extrusión</u>	67
4.1 Cálculo de las velocidades rotacionales del husillo	67
4.2 Análisis de flujo en la extrusora	69
4.3 Punto de operación	71

4.3 Cálculo de potencia del motor	77
4.3.1 Cálculo de pérdida de potencia en los rodamientos	82
4.3.2 Factor de seguridad	86
4.4 Análisis de la longitud de una tina de enfriamiento por inmersión ...	88
Capítulo 5	
<u>Implementación del carro de arrastre dentro del proceso de extrusión</u>	93
5.1 Aspectos generales	93
5.2 Componentes del dispositivo diseñado	95
5.3 Modo de operación del carro de arrastre	97
5.4 Pruebas y experimentación	101
5.5 Resultados	104
<u>Conclusiones</u>	107
<u>Aportaciones futuras</u>	108
Apéndice A	
<u>PARTES COMERCIALES</u>	109
Propiedades del polietileno utilizadas para el cálculo de la tina de enfriamiento.....	110
Datos utilizados en el cálculo de la tina de enfriamiento	111
Ficha técnica del variador de frecuencia	112
Hoja técnica del polietileno utilizado en las pruebas de tiro	116
Hojas de cálculo: Pérdidas en rodamientos	117
Apéndice B	
<u>PLANOS DE DISEÑO</u>	121
Planos del carro de arrastre	122
Referencias de tolerancias	139
<u>Bibliografía</u>	141
<u>Referencias</u>	142



OBJETIVOS

Diseñar y manufacturar el sistema de tiro para una máquina de extrusión simple, que permita regular y manipular los perfiles de material plástico provenientes del proceso de extrusión.

Entre los alcances de diseño se desea:

1. Desarrollar el sistema de sujeción de la máquina.
2. Diseñar y analizar el sistema de transmisión de potencia del equipo.
3. Determinar la configuración motriz del dispositivo.
4. Implementar el circuito eléctrico para el funcionamiento principal de encendido y apagado, así como la regulación de velocidades de tirado para la obtención de características deseadas del perfil extrudido.
5. Llevar a cabo un proceso de diseño donde se expongan la selección de componentes encausada a la economización del proyecto.

HIPÓTESIS

Debido a que el proceso de extrusión es un proceso continuo, es necesario implementar un dispositivo periférico complementario que permita un manejo adecuado de los perfiles que se obtienen en este proceso.

Actualmente, el laboratorio de procesamiento de plásticos cuenta con una máquina de extrusión sin el dispositivo mencionado, lo que ocasiona que este proceso no tenga control dimensional y acabados superficiales sobre el producto extrudido.

Por ello, el dispositivo que se va a diseñar debe ser capaz de manejar los diversos tipos de perfiles, con la finalidad de obtener beneficios mecánicos de los mismos al ser sometidos a disímiles velocidades de tiro; es decir, todo aquel perfil que pueda modificar sus propiedades mecánicas al alargarlo según la velocidad de tirado, así como direccionar el producto terminado y calibrar el dimensionamiento del perfil.



INTRODUCCIÓN

La necesidad de optimizar el equipo de extrusión con que se cuenta en la Facultad de Ingeniería y lograr de éste una línea de extrusión completa, fue el motivo principal del presente trabajo, además de tener un control adecuado para los diversos dados con los que cuenta el Laboratorio de Procesamiento de Plásticos, pues a pesar de los diferentes componentes con los que se ha equipado a la máquina de extrusión, el lograr obtener características uniformes de los perfiles extrudidos ha sido una batalla constante debido a la inconsistencia en la velocidad de tiro que una persona es capaz de generar.

Desde hace algunos años, Facultad de Ingeniería ha colaborado con diversos institutos y empresas privadas brindando cursos de conformado de plásticos, mostrando la puesta en marcha y operación de las disímiles máquinas procesadoras de plástico, no obstante, cuestiones como el enfriamiento de las piezas, calibración y arrastre han sido omisiones recurrentes.

En el primer capítulo se aborda el desarrollo de los plásticos en la antigüedad, desde su primera utilización en el mundo antiguo, la manera en que éstos se empleaban en las construcciones de antaño y el modo en que se descubrieron los plásticos que hoy en día predominan en los utensilios de uso cotidiano.

Investigar y discernir la aplicación y funcionamiento de cada tipo de carro de arrastre existente en el mercado se trata en el segundo capítulo. Haciendo uso de una herramienta denominada *comparativa* se determina el tipo de componente que se empleará para manufacturar el carro de arrastre a partir de ciertas características a evaluar.

Una vez seleccionado el tipo de arrastre con el que se trabajará, en el tercer capítulo se muestran los prototipos propuestos a través del diseño del mismo, mostrando y determinando, a partir de la *comparativa*, cuál de éstos nos será más factible manufacturar.

En el capítulo cuarto se llevan a cabo todos los cálculos necesarios a partir del modelo seleccionado; Se analiza desde el extrusor hasta el carro de arrastre sin dejar de lado la tina de enfriamiento. Los resultados son presentados en el quinto capítulo seguidos de las fichas técnicas y planos del dispositivo diseñado.

La fabricación del carro de arrastre nos permitirá dar un paso más hacia el firme equipamiento del Laboratorio de Procesamiento de Plásticos, de este modo mejorar cada curso y clase de laboratorio mostrando una línea completa de extrusión a los alumnos que cursan las asignaturas correspondientes a manufactura de materiales.



CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES

Desde tiempos remotos se ha luchado por el crecimiento intelectual para la evolución del transcurrir humano, con el fin de facilitar la vida de las personas y su trabajo, debido a esto, se ha buscado la manera de ir sustituyendo, en algunos aspectos, elementos de la vida cotidiana, por ejemplo materiales que en algún tiempo fueron utilizados como materia prima para la elaboración de herramientas de trabajo, ahora se busca desarrollar nuevos materiales para incrementar la eficiencia de dichas herramientas, éste es el caso de los plásticos.

Hace cien años, al mencionar el término plástico, éste se podía entender como algo relativo a la reproducción de formas o las artes plásticas, la pintura, la escultura, el moldeado. En la actualidad, esta palabra se utiliza con mayor frecuencia y tiene un significado que implica no sólo arte, sino también tecnología y ciencia. El desarrollo de los plásticos surge cuando se descubrió que las resinas naturales podían emplearse para elaborar objetos de uso práctico. Estas resinas como el betún, la gutapercha, la goma laca y el ámbar, son extraídas de ciertos árboles, y se tienen referencias de que ya se utilizaban en Egipto, Babilonia, la India, Grecia y China. En América se conocía otro material utilizado por sus habitantes antes de la llegada de Colón, conocido como hule o caucho.

A la par del descubrimiento y síntesis de los materiales plásticos, la creatividad del hombre ha ideado formas para moldearlos con el objeto de satisfacer sus necesidades. Por ejemplo: la sustitución de los materiales tradicionales como el vidrio, metal, madera o cerámica, por otros nuevos que permiten obtener una mejora de propiedades, facilidad de obtención y, por las necesidades del presente siglo, la posibilidad de implementar producciones masivas de artículos de alto consumo a bajo costo.

El nacimiento de los procesos de moldeo de materiales plásticos, se remota a épocas bíblicas con el uso del bitumen, para la confección de la canasta en la que se puso al patriarca hebreo Moisés en el río Nilo y en el uso de este material en vez de cemento para edificar Babilonia.

Al seguir el curso de la historia, se detectan otros usos de resinas naturales como el ámbar en joyería en la antigua roma, la laca como recubrimiento en la India, pelotas de hule natural para juegos rituales en América Central, y otras. En 1839, Charles Goodyear (Fig. 1.1) descubrió el proceso de vulcanización del hule con azufre, pero en aquella época, aún no se podía hablar de procesos de moldeos comerciales.



Figura 1.1 Charles Goodyear



En años siguientes, el primer plástico se originó como resultado de un concurso realizado en 1860 en los Estados Unidos, cuando se ofrecieron 10,000 dólares a quien produjera un sustituto del marfil (cuyas reservas se agotaban) para la fabricación de bolas de billar. Ganó el premio John Hyatt, quien inventó un tipo de plástico al que llamó celuloide.

El celuloide se fabricaba disolviendo celulosa, un hidrato de carbono obtenido de las plantas, en una solución de alcanfor y etanol. Con él se empezaron a fabricar distintos objetos como mangos de cuchillo, armazones de lentes y película cinematográfica. El celuloide puede ser ablandado repetidamente y moldeado de nuevo mediante calor, por lo que recibe el calificativo de termoplástico.

En 1907 Leo Baekeland inventó la baquelita, el primer plástico calificado como termofijo o termoestable: plásticos que puede ser fundidos y moldeados mientras están calientes, pero que no pueden ser ablandados por el calor y moldeados de nuevo una vez que han fraguado.

En 1868 Parkes, en Londres, idea el moldeo de nitrato de celulosa utilizando rodillo, una pequeña cantidad de solvente y calor para plastificar el compuesto. Los intentos para el desarrollo de productos y proceso para moldear continuaron, y en 1872 se patenta la primera máquina de inyección, para moldear nitrato de celulosa, pero debido a la inflamabilidad de este material y peligrosidad de trabajar, el proceso no se desarrolló.

Al término del siglo XIX, los únicos materiales plásticos disponibles para usos prácticos eran el Shellac (laca), la Gutta Percha, la Ebonita y el Celuloide, el Ámbar y el Bitumen, moldeados en formas artesanales.

La Primera Guerra Mundial (1914-1918) intensificó el uso del celuloide y sus derivados, como el acetato de celulosa, que permitió aplicaciones a los vehículos aéreos militares del momento. El fin de la guerra permitió volcar tales investigaciones en la llamada seda artificial, o rayón. En 1929 aparecen nuevos plásticos rígidos o termoestables, todavía basados en materia prima de origen natural como la Urea, que constituyen una revolución estética, porque este material permite una diversidad de colores que la baquelita o la ebonita no permitían.

En 1926, la expansión de materiales plásticos y las experiencias en el diseño de máquinas para procesarlos, estimulan la creación de máquinas con aplicación industrial, en la construcción y fabricación en serie de inyectores de émbolo impulsada por la Síntesis del Poliestireno (PS) y Acrílico (PMMA).



En 1935 Paul Toroester, en Alemania, construye una máquina extrusora de termoplásticos, basada en diseños anteriores para el procesamiento de hules. A Partir de estas fechas inicia el uso de electricidad para el calentamiento, que sustituye al vapor y en Italia se genera el concepto del uso de husillos gemelos.

En 1938, se concibe la idea industrial de termoformado, y en 1940 el moldeo por soplado. A la fecha, se cuenta con la existencia de cientos de plásticos patentados; de ellos aproximadamente 30 son imprescindibles. Los productos manufacturados con plásticos, son obtenidos por más de 20 procesos de moldeo distintos aproximadamente 10 gobiernan la mayor parte del volumen de plásticos transformados aplicando calor y presión.

Durante la II Guerra Mundial la industria de los plásticos demostró ser una fuente inagotable de sustitutos aceptables. Alemania, que perdió sus fuentes naturales de látex, inició un gran programa que llevó al desarrollo de un caucho sintético utilizable.

La entrada de Japón en el conflicto mundial cortó los suministros de caucho natural y seda a Estados Unidos. La respuesta estadounidense fue la intensificación del desarrollo y producción de plásticos. El nylon se convirtió en una de las fuentes principales de fibras textiles, los poliésteres se utilizaron en la fabricación de blindajes y otros materiales bélicos.

A partir del fin de la Segunda Guerra Mundial se produce una expansión formidable de la industria de los plásticos. En el Reino Unido, entre 1950 y 1961 se cuadruplica la producción: pasa de 150 mil toneladas anuales a 600 mil. El volumen de la producción mundial anual de plásticos en los 90 se estuvo equiparando al de la producción mundial total de metales.

En 1953, el químico alemán Karl Ziegler desarrolló el polietileno, y en 1954 el italiano Giulio Natta desarrolló el polipropileno, que son los dos plásticos más utilizados en la actualidad.

La década de los sesenta se distinguió porque se lograron fabricar algunos plásticos mediante nuevos procesos, aumentando de manera considerable el número de materiales disponibles. Dentro de este grupo destacan las llamadas "resinas reactivas" como: Resinas Epoxi, Poliésteres Insaturados, y principalmente Poliuretanos, que generalmente se suministran en forma líquida, requiriendo del uso de métodos de transformación especiales. En los años siguientes, se desarrolló la copolimerización, mezcla con otros polímeros, con elementos de carga y de refuerzo. En los años setentas y ochentas se inició la producción de plásticos de altas propiedades como la Polisulfornas, Poliariletercetonas y Polímeros de Cristal Líquido.



En la actualidad existen también materiales plásticos que sus propiedades nos llevan a la correcta utilización con choques de microondas, pues no cualquier polímero tiene la capacidad de soportar cantidades de energía que un horno nos brinda, y es por este motivo que se hacen pruebas mecánicas a perfiles extrudidos con combinaciones específicas de materia prima, como puede ser HDPE, LDPE, PP o ACETAL.

1.1 Tipos de plásticos

A través del tiempo, el ser humano se ha percatado que la materia prima brindada por la naturaleza no es suficiente para el desarrollo tecnológico que se requiere día con día, por lo que el hombre se ha inclinado hacia el desarrollo de materiales sintéticos, materia prima con sustancias químicas que otorgan capacidades mecánicas diferentes a las de origen natural.

Plásticos de origen natural con modificación química

En este caso se usan los materiales que ofrece la propia naturaleza desde la goma laca por ejemplo , hasta otros que si bien son de extracción de sustancias naturales, requerían de una transformación química, con el fin de modificar sus componentes moleculares y conferirles las características de las propiedades plásticas deseadas, por ejemplo la celulosa y la caseína.

Dentro de este grupo se encuentran: el acetato de celulosa, plástico de caseína, cauchos sintéticos, celulosa metilica, esteres-goma, etilcelulosa, plástico del lignito y nitrato de celulosa.

Plásticos de obtención sintética

Se obtienen siempre por reacciones químicas a partir de dos o más elementos igualmente químicos, que por sucesivas reacciones se transforman en resinas artificiales. Dentro de este grupo se encuentran: las resinas acrílicas, fenólicas, fluoroplásticos, resinas de hidrocarburo, melaminas, poliaminas, poliésteres, poliestirenos, poliéter (epoxi), polidefíricas (polietileno y polipropileno), poliuretano, siliconas, urea-formol y vinilos (policloruros de vinilo y poliacetatos de vinilo).

1.2 Conformado de plásticos

La mayoría de los procedimientos de conformado aprovechan la facilidad con que estos se funden o reblandecen para obtener de diversos productos; láminas, tubos, hilos, botellas... McKelvey ha definido el procesamiento de plástico como “las operaciones que se llevan a cabo con los materiales o sistemas poliméricos para incrementar su utilidad”.

Estos tipos de cambios producen flujo, cambios químicos y/o un cambio permanente en las propiedades físicas.

En la industria del plástico existen disímiles formas de conformar plásticos entre las cuales encontramos:

- Extrusión
- Extrusión sopro
- Inyección
- Rotomoldeo
- Termoformado

Extrusión

La extrusión es una operación mediante la cual se produce la conversión de un polímero; en ella un material termoplástico se funde o se ablanda y es forzado a pasar a través de un orificio (matriz) que tiene la sección transversal que se desea y entonces se enfría.

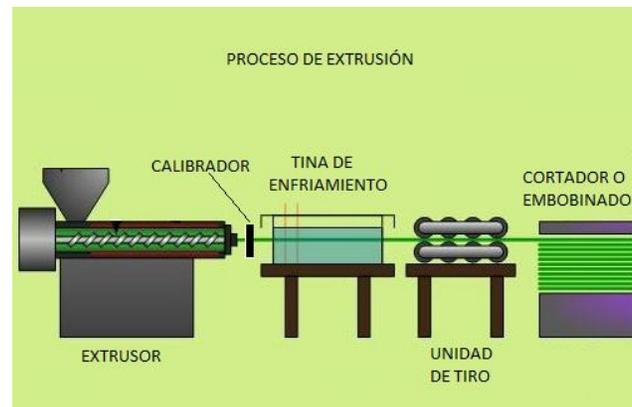


Fig. 1.2 Elementos pertinentes dentro del proceso de extrusión [1]

Ventajas y restricciones

Presenta alta productividad y es el proceso más importante para la obtención de formas plásticas en volumen de producción. Su operación es de las más sencillas, ya que una vez establecidas las condiciones de operación, la producción continúa sin problemas siempre y cuando no exista un disturbio mayor.

El costo de la maquinaria de extrusión es moderado, en comparación con otros procesos como inyección, soplado o termoformado, y con una buena flexibilidad para cambios de productos sin necesidad de hacer inversiones mayores.

La restricción principal es que los productos obtenidos por extrusión deben tener una sección transversal constante en cualquier punto de su longitud (tubo, lámina) o periódica (tubería corrugada); quedan excluidos todos aquellos con formas irregulares o no uniformes.

La mayor parte de los productos obtenidos de una línea de extrusión requieren de procesos posteriores con el fin de habilitar adecuadamente el artículo, como en el caso del sellado y cortado, para la obtención de bolsas a partir de película tubular o la formación de la unión o socket en el caso de tubería.

Aplicaciones actuales:

A continuación, se enlistan productos que encuentran en el mercado, transformados por el proceso de extrusión:

- Película tubular
- Bolsa (comercial, supermercado)
- Película plástica para uso diverso
- Película para arropado de cultivos.
- Bolsa para envase de alimentos y productos de alto consumos
- Tubería uso eléctrico
- Tubería para condición de agua y drenaje
- Manguera para jardín
- Miguera para uso médico
- Popotes
- Alambre para uso eléctrico y telefónico
- Perfilaría
- Hojas para persiana
- Ventanería
- Canales de flujo de Agua
- Lámina y Película Plana
- Rafia
- Cinta Adhesiva
- Flejes para embalaje
- Monofilamento y filamentos
- Filamento de las alfombras.



Figura 1.3 Aplicaciones más comunes del proceso de extrusión

Extrusión soplado

El moldeo por extrusión soplado se define como un proceso de transformación primario discontinuo para la producción de recipientes y artículos huecos; donde una resina termoplástica es fundida, transformada en un tubo hueco o párison y llevada a un molde en donde se expande hasta tomar la forma del mismo, por la introducción de aire a presión en su interior; posteriormente es enfriado dentro del molde y expulsado como un artículo terminado.

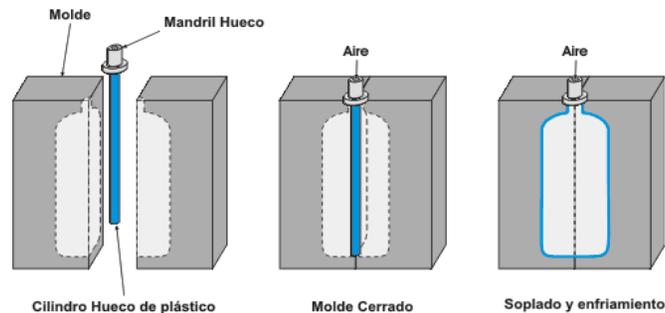


Figura 1.4 Etapas del proceso extrusión-soplado

Ventajas y restricciones

El proceso tiene la ventaja de ser el único para la producción de recipientes de boca angosta. Para el proceso Extrusión-soplado, la producción de la pieza final no requiere de moldes muy costosos. Otra ventaja es la obtención de artículos de paredes muy delgadas con gran resistencia mecánica. Operativamente permite cambios en la producción con relativa sencillez, tomando en cuenta que los moldes no son voluminosos ni pesados.

Como restricciones del proceso se pueden mencionar que se producen artículos huecos que requieren de grandes espacios de almacenaje y dificultan la comercialización a regiones que no estén próximas a la planta productora. Por otra parte, en el proceso de extrusión, se tienen en cada ciclo una porción de material residual que debe ser molido y retornado al material virgen para su recuperación, lo que reduce la relación producto obtenido/material alimentado, y que se debe adicionar al precio del producto.

Con respecto a los aditivos del proceso, se restringe el uso de cargas o refuerzos, ya que estos últimos generalmente provocan la ruptura de las paredes del artículo cuando está en la etapa de soplado.

Aplicaciones actuales:

Prácticamente el moldeo de cualquier recipiente se puede lograr por medio del proceso de soplado, siendo el único para la producción de recipientes de cuello angosto de alto consumo en industrias como la alimenticia, cosmética y química, aunque en envases de cuello ancho, puede encontrar cierta competencia en algunos otros procesos (inyección-soplado). El proceso se encuentra en franco crecimiento, bajo la necesidad de abastecer a un mercado de alimentos también en constante auge.

Ejemplos de la diversidad de aplicaciones son:

- Sector cosméticos y farmacéutico
- Envases de tratamiento tipo ampollas
- Envases pequeños para muestras médicas
- Recipientes para medicamentos en pastillas
- Recipientes para lociones y perfumes
- Sector de Alimentos
- Botellas para aceite comestible
- Botellas para agua potable
- Botellas para bebida carbonatadas con o sin retorno
- Botellas para bebidas alcohólicas
- Envases pequeños para golosinas
- Envases para bebidas refrescantes no carbonatadas
- Envases para condimentos
- Envases para bebidas en polvo.



Figura 1.5 Aplicaciones del proceso extrusión-soplado

Inyección

La inyección es un proceso secuencial que está conformado por un conjunto de etapas que se denomina ciclo de inyección. El parámetro más importante, desde el punto de vista económico, es la duración o el tiempo de ciclo, pues finalmente de éste dependen la productividad y el costo del proceso.

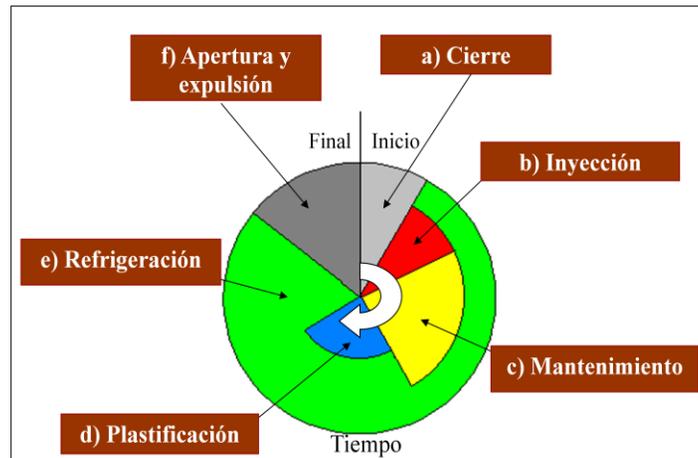


Figura 1.6 Estados de operación dentro del proceso de inyección

En la primera etapa la resina alimenta a la tolva de una máquina de inyección, luego entra al cañón y por la acción del husillo y de la resistencia calefactora es fundida, homogeneizada y transportada hacia la punta de la unidad de inyección; ahí se acumula temporalmente.

Al reunirse la cantidad de material suficiente para inyectar la pieza y teniendo el molde listo para la recepción del material, el husillo de la unidad de plastificación avanza, expulsando al material plastificado hacia la cavidad del molde para producir la forma final.

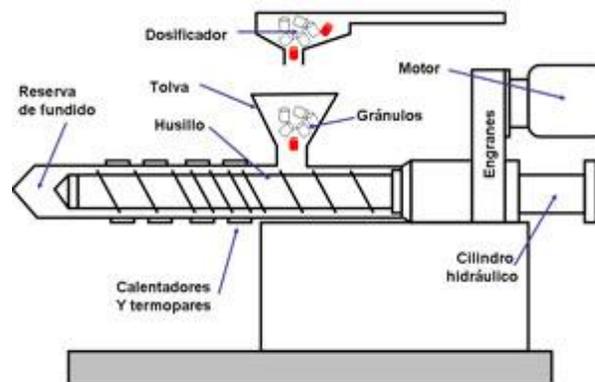


Figura 1.7 Componentes principales de una máquina de inyección



En la actualidad, la mayoría de las máquinas inyectoras utilizan el principio del tornillo de Arquímedes para plastificar y bombear el material. En un tornillo de inyección se produce el fenómeno de plastificación debido al calor generado por la fricción del material con las paredes del barril y por el aporte de calor de las resistencias eléctricas en derredor del barril.

El moldeo por inyección es la técnica de procesamiento de mayor utilización para la transformación de plásticos. Su popularidad radica en la versatilidad para obtener productos de variadas geometrías y para diversos usos.

Ventajas y restricciones

Uno de los puntos a favor de este proceso es la posibilidad de fabricar piezas de difícil geometría a las cuales se les puede añadir aditivos, cargas naturales y sintéticas en beneficio de sus propiedades físicas, químicas o mecánicas. Este proceso tiene la particularidad de ser cíclico, es decir, el material es inyectado en el molde, se enfría la pieza y la obtenemos, enseguida se inyecta nuevamente para realizar otro ciclo. Otra ventaja es que el molde utilizado, puede tener una o más cavidades con formas determinadas, esto nos permite obtener varias piezas en una sola inyección.

Entre las restricciones principales de este método se encuentran los elevados costos de fabricación de moldes, debido a que estos cuentan con sistemas de enfriamiento y calefacción internos e independientes a la máquina inyectora. Por otro lado, debe contarse con barrenos adecuados para el óptimo funcionamiento del sistema de empuje de piezas, botadores, lo que le agrega cierto costo al molde. Finalmente, no podemos dejar de lado el costo de la máquina en general.

Aplicaciones actuales

Las aplicaciones de inyección de polímeros son más comunes de lo que percibimos, en todos los sectores está presente el plástico. Por lo cual, constantemente surgen productos a los que podemos evitar procesos de ensamblado y economizarlos reduciendo los materiales necesarios para su construcción.

Con respecto a las propiedades, se logran una amplia variedad de elementos que pueden sustituir a las piezas metálicas, un ejemplo son las partes de los automóviles, que anteriormente eran de metal, hoy en día se sustituyen por piezas plásticas.

Ejemplos de la diversidad de aplicaciones son:

- Contenedores de diversos tamaños
- Piezas con aplicaciones específicas
- Guanteras
- Perillas
- Facias
- Carcasas para equipo eléctricos
- Recipientes, entre otras.



Figura 1.8 Aplicaciones del proceso de inyección

Rotomoldeo

El proceso se inicia con uno o varios hornos que son colocados en la máquina de rotomoldeo la cual cuenta con los mecanismos y etapas de calentamiento, enfriamiento, carga y descarga del molde (Fig. 1.9). El procedimiento de base es sencillo. Un polvo o polímero líquido se introduce en el molde que, girando simultáneamente sobre dos ejes perpendiculares, primero se calienta y luego se enfría.

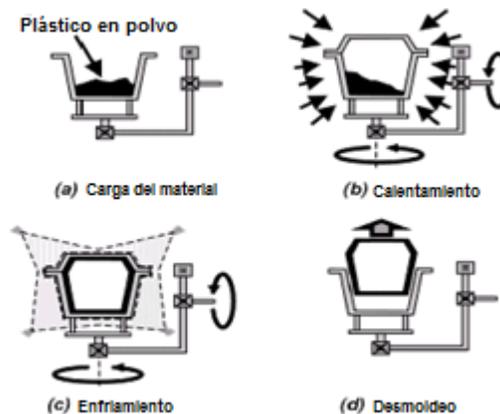


Figura 1.9 Etapas del efectuadas durante el proceso de rotomoldeo



El polvo (normalmente polietileno) durante la fase de calentamiento, forma inicialmente una película porosa en la superficie interna del molde a la que se adhiere, luego el resto del material, que se había vuelto gradualmente fluido, formar una capa uniforme que se solidificará en la posterior fase de enfriamiento. Como última etapa se tiene la apertura del molde para la extracción del producto.

Ventajas

- El rotomoldeo ofrece ventajas básicas que lo diferencian de otros procesos:
- Máxima versatilidad: posibilidad de obtener simultáneamente y con la misma máquina artículos de diferentes formas y tamaños.
- Campo casi ilimitado en el diseño del artículo a producir.
- Los artículos de forma compleja pueden moldearse en un cuerpo único conservando la homogeneidad del espesor de las paredes.
- Se pueden cambiar fácilmente colores y materiales.
- Las bajas presiones utilizadas y las velocidades reducidas de las rotaciones minimizan el desgaste de los moldes y de las piezas mecánicas.
- Limitadísimas cantidades de desperdicios: correspondencia casi absoluta de la cantidad de material necesario con la cantidad empleada.
- En relación a su tamaño, las piezas rotomoldeadas tienen paredes delgadas que permiten ahorros en materiales.
- Comparado con piezas producidas por otros procesos, las piezas rotomoldeadas pueden tener niveles relativamente bajos de esfuerzos intrínsecos. Debido a lo anterior se mejora tanto la resistencia al impacto como la resistencia a agentes químicos.

Restricciones

- No es un proceso continuo. Debido a esta dificultad el número de piezas fabricadas suelen ser muy pocas.
- Los materiales fabricados por rotomoldeo suelen tener muy mala presentación interna debido a la distribución de la materia.
- El transporte de las piezas es de dificultad considerable debido a las dimensiones de las mismas.

Aplicaciones actuales

- Recipientes de almacenamiento
- Recipientes de alimentación
- Vasijas para productos químicos
- Depósitos para almacenar agua
- Elementos de mobiliario para oficina
- Artículos de jardín
- Bidones para residuos
- Barcas, canoas y juguetes.



Figura 1.10 Piezas realizadas por rotomoldeo

Termoformado

El Termoformado es un proceso de transformación de plástico que involucra una lámina polimérica que es calentada y que toma la forma del molde sobre el que se coloca. El termoformado puede llevarse a cabo por medio de vacío, presión y temperatura. Un exceso de temperatura puede "degradar" a la lámina y la falta de calor incurrirá en una pieza defectuosa y sin detalles definidos.

Los materiales que se utilizan en el termoformado son numerosos y van a depender de la aplicación y las propiedades que se requieran. Los materiales más utilizados son PAI, PET, ABS, PEAD, PVC.

Ventajas y restricciones

Las ventajas del termoformado es la utilización de pocas herramientas, costo bajo de ingeniería y menos tiempo, lo que hace que el termoformado sea ideal para el desarrollo de prototipos y un bajo volumen de producción.

Una restricción característica de este proceso es que la pieza a termoformar debe ser fácilmente "desmoldable" esto significa que la matriz debe ser más ancha en la base y más angosta en la parte superior. Esto comúnmente se denomina ángulo de desmolde o de salida y generalmente es de 5 grados como mínimo.



Aplicaciones actuales

- Interiores automotrices
- Contenedores para empaque
- Empaques farmacéuticos
- Contenedores para transporte
- Equipo médico
- Empaque para herramienta

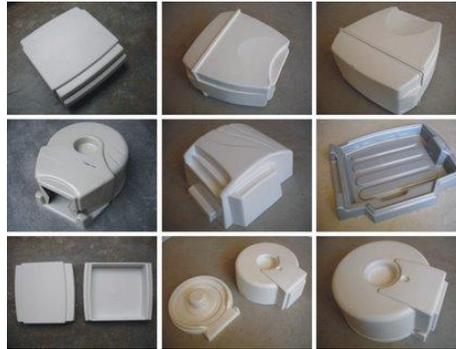


Figura 1.11 Productos fabricados por termoformado

CAPÍTULO 2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN Y SUS COMPONENTES

En las últimas décadas, una de las principales preocupaciones en la industria de los plásticos ha sido la de mejorar los tiempos muertos durante el proceso de extrusión, para eso se necesita optimizar el ciclo, para lograr dicho propósito el operador del proceso toma en cuenta el comportamiento del material a extrudir, esto arrojará datos esenciales para el ajuste de la unidad de tiro a emplear, con el fin de obtener, satisfactoriamente, las propiedades deseadas del producto. En el diagrama mostrado en la figura 2.1 se muestra la secuencia de un ciclo general de extrusión de piezas plásticas.

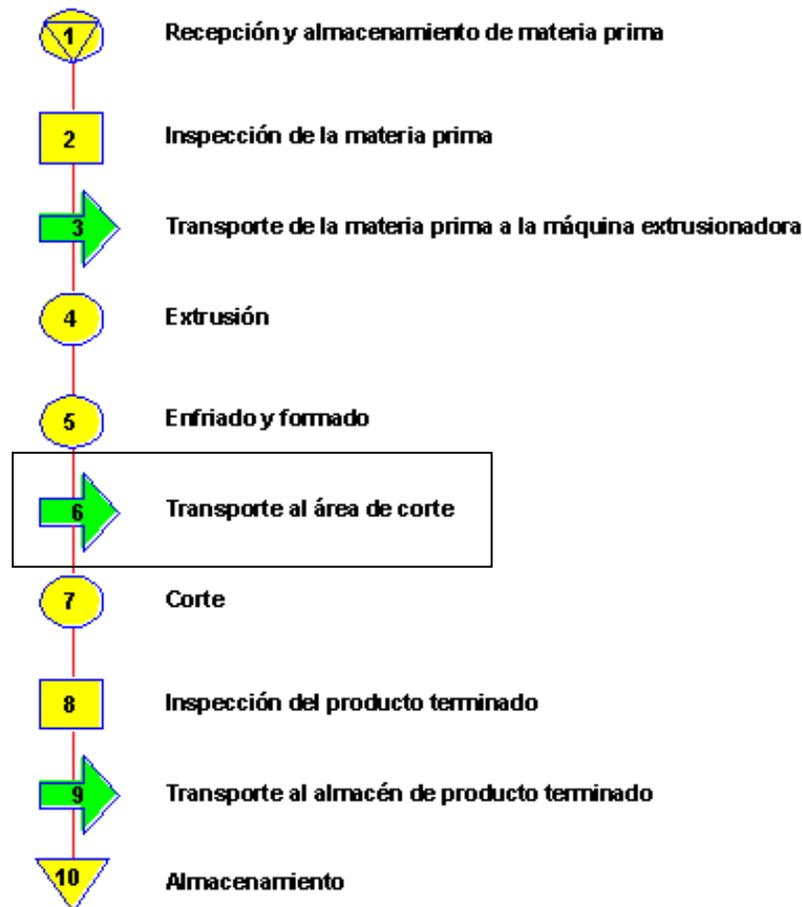


Figura 2.1 Ciclo de operación del proceso de extrusión simple [2]

Como puede verse en la figura 2.1, el ciclo de operación durante el proceso de extrusión incluye todos los pasos que no contemplan el uso del extrusor, y que repercuten, como todo proceso de plásticos, en la optimización de los tiempos de producción. Cada uno de los pasos presentados, se describirán a continuación.

Recepción y almacenamiento de materia prima

Se debe contar con la ficha técnica del plástico y el conocimiento previo para su manejo. La presentación del material, en forma granular uniforme (pellets) o en polvo, puede ser en sacos o bolsas de plástico de 25 kg, aunque puede variar según las necesidades del comprador. El lugar de almacenamiento tiene que ser fresco ya que existen plásticos que absorben la humedad del medio y para su utilización se requiere de un pre secado.



Figura 2.2 Presentación del material a extrudir en forma de pellets

Inspección de materia prima

Se deben verificar las características de la materia prima como son la viscosidad, el contenido de plomo, estaño, su composición química, reactividad con otros plásticos, aditivos, afinidad con refuerzos metálicos y naturales entre otros.

Del mismo modo, debe inspeccionarse exteriormente, es decir, verificar que los sacos del material virgen no presenten fallas en el empaque para así evitar pérdidas o contaminación del mismo en el traslado.

Transporte de la materia prima a la máquina

Los sacos que contienen el polímero a extrudir son transportados con un montacargas o una banda transportadora a la máquina extrusora. En seguida se deposita el material seleccionado con las cantidades necesarias en la tolva del equipo.

Extrusión

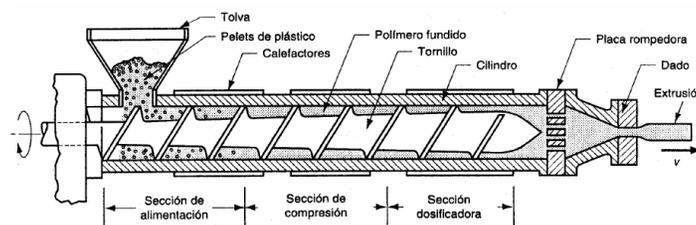


Figura 2.3 Elementos principales de una máquina de extrusión [3]

En el moldeo por extrusión (Fig. 2.3) se emplea un transportador de tornillo helicoidal generalmente conocido como husillo. El polímero es transportado desde la tolva, a través del cilindro o cámara de calentamiento, hasta la boca de descarga, en una corriente continua, es decir, la resina es fundida por la acción de temperatura brindada por los calefactores, la fricción dada por la rotación del husillo y la pared del cañón, este efecto fuerza a nuestro fundido a un comportamiento turbulento lo cual nos acarrea posibles defectos en el perfil. Al final del tornillo y antes del dado, la fusión de polímero pasa a través de un empaque cernidor y de una placa rompedora para enderezar las líneas de flujo.

Luego fluye hacia la entrada convergente del dado, forma diseñada generalmente para mantener el flujo laminar y evitar los puntos muertos en las esquinas que podrían presentarse cerca de la abertura del dado.

Para la optimización de dicho proceso se deben considerar diversas variables como temperatura, tiempo, presión y velocidades del husillo que, en conjunto, deben otorgarnos un material listo para ser manipulado, de lo contrario, surge la necesidad de equipo periférico que complemente el proceso (Fig. 2.5).

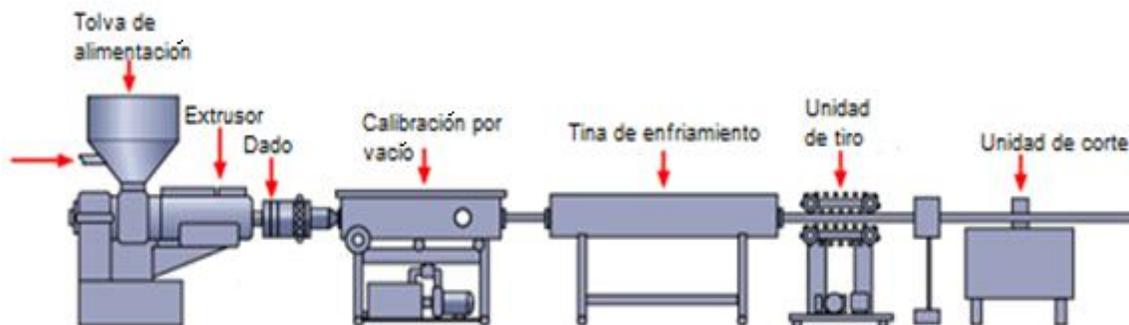


Figura 2.5 Componente periféricos que conforman la línea de extrusión

Calibración

Tiene la función de proporcionar al perfil dimensiones específicas y la forma que el producto requiere. Se pueden distinguir dos tipos de sistemas de calibración.

- Calibración externa utilizando vacío
- Calibración interna utilizando presión

Calibración Externa (Vacío)

Es la forma de calibración que se encuentra con mayor frecuencia. En este tipo de calibración, el vacío provocado en la parte externa del perfil ocasiona una diferencia de presiones que motiva al plástico, aún moldeable por la temperatura elevada a la que se encuentra, a adquirir la figura de la preforma metálica, la cual tiene las dimensiones internas igual a las especificadas para el producto.

Calibración Interna (Presión)

En este tipo de calibración, el aire a presión penetra por conductos ubicados en el cabezal y se inyectan en el material extrudido aún caliente. La diferencia de presión provocada moldea la pared del plástico contra los formadores móviles. Ver figura 2.6.

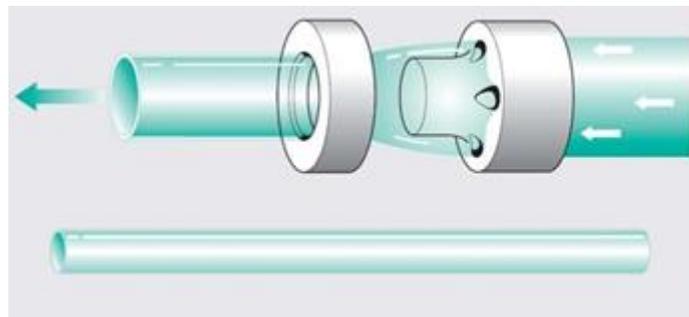


Figura 2.6 Calibración interna de un perfil tubular

Enfriamiento

Tiene por objeto remover el calor excedente que el perfil conserva a la salida del tanque de calibración. La importancia del enfriamiento, radica en la estabilidad que adquiere el plástico para no deformarse al pasar por la unidad de tiro, en donde el producto se somete a presiones que podría producir alteraciones en la forma requerida. Se puede encontrar dos tipos de tinas de enfriamiento:

- Enfriamiento por esparado
- Enfriamiento por inmersión

Enfriamiento por esparado

El perfil pasa por la unidad de enfriamiento, que consiste en una cámara donde numerosas boquillas instaladas rocían agua fría sobre el material extrudido. Este enfriamiento es usado para perfilería de grandes dimensiones donde las velocidades de producción son bajas y la aspersion puede lograr un enfriamiento efectivo, por el tiempo de permanencia elevado del producto dentro de este equipo.



Figura 2.7 Tina de enfriamiento usando esreado

Enfriamiento por inmersión

En el enfriamiento por inmersión, el extrudido pasa por una tina llena de agua en constante enfriamiento; así se lleva a cabo por un intercambio de calor también constante. A diferencia del enfriamiento por esreado, la inmersión es usada para perfilería de pequeñas dimensiones, donde por la velocidad alta de extrusión se requiere de un enfriamiento intenso.



Figura 2.8 Tina de enfriamiento tipo inmersión

En ambos métodos, se sugieren el cálculo exacto de la longitud de la tina de enfriamiento, requiriendo datos como: forma transversal, espesor, material de fabricación, velocidad de producción y temperatura de agua de enfriamiento. También es común, para los dos métodos, el uso de un enfriador y una bomba de recirculación para poder enfriar el agua que se calienta por el contacto con el plástico, se devuelve a la tina de enfriamiento y se completa el ciclo.

Transporte al área de corte o embobinado

Una vez terminado el paso por la unidad del enfriamiento, el perfil pasa a la unidad de tiro donde se genera toda la fuerza que mantiene al plástico en movimiento dentro de una línea de extrusión. Se conocen tres tipos de unidades de tiro:

- Por Oruga
- De Bandas
- De Ruedas o Rodillos

De estos tipos de unidades, las dos primeras se prefieren cuando el artículo producido es sensible a la presión, esto es, que pueda sufrir deformaciones bajo presiones moderadas o en productos de grandes dimensiones. Los sistemas por rodillos, son más sencillos y adecuados cuando es muy pequeña de área de contacto. Figura 2.12.



Figura 2.12 Unidad de tiro tipo oruga y rueda

Corte o embobinado

Existen varios tipos de unidades de corte, diseñadas para adecuarse al trabajo requerido en la producción de perfilera flexible, la práctica común es formar rollos, lo cual reduce el trabajo de corte, mientras que en la producción de perfilera rígida el corte del producto debe hacerse con precisión en intervalos de longitud iguales. En la figura 2.13 se muestran dos posibilidades de configuración para el jalador. 2.13a) muestra la configuración de jalador y cortador para una perfilera rígida, mientras que 2.13b) muestra la configuración para un jalador embobinador característicos de los perfiles flexibles.

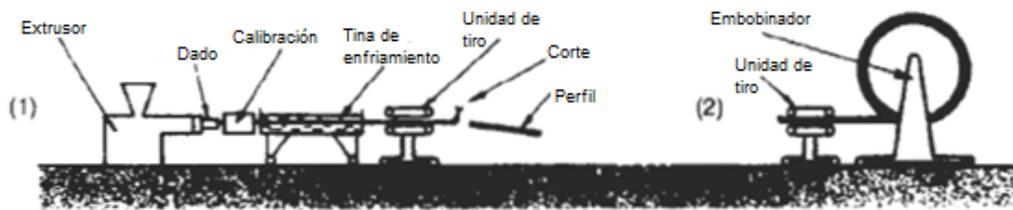


Figura 2.13 Producción de perfilería 1) perfil rígido; 2) perfil flexible [4]

Tipos de cortadores

El tipo de guillotina usado en el corte de perfilería semirrígida como PEAD, PP ó PEBD, es el más común, figura 2.14, pero puede conducir a ligeras deformaciones por acción de impacto de la cuchilla.



Figura 2.14 Cortador tipo guillotina

En los cortes por sierras, las pequeñas dentaciones que cortan al material extrudido provocan al mismo tiempo la formación de pequeñas virutas que algunas veces permanece unidas al producto. Cuando se requiere evitar la formación de estos residuos, se utilizan mecanismos donde las cuchillas se insertan en la pared del tubo y giran a alta velocidad, produciendo sólo una viruta que por su tamaño relativamente grande se desprende de la tubería.

En el caso de tener una perfilería rígida, el cortador de tipo cuchillas periféricas es el de uso común, figura 2.15, ya que el cortador es del tipo giratorio para evitar las rebabas que pudieran ocasionarse con los cortadores anteriores. Dada la configuración del cortador, éste se utiliza únicamente para perfiles circulares.



Figura 2.15 Cortador tipo cuchillas periféricas

Unidades de Enrollado

Se ocupa para materiales flexibles, es decir, aquellos que no sufren una deformación permanente por ser enrollados, por ejemplo la tubería de poliolefinas y mangueras de PA y PVC flexible.



Figura 2.16 embobinador de perfiles flexibles y cortador para tubería rígida

Para la selección de unidades de corte de perfilería rígida y flexible, será necesario tomar en cuenta los siguientes factores:

- Forma transversal y espesor de pared
- La materia prima utilizada
- La forma y calidad del corte
- La longitud del Corte

Inspección del producto terminado

Aquí se realizan pruebas a una muestra del producto terminado, estas pruebas incluyen; peso, aplastamiento, impacto, espesor del cuerpo, presión mínima de rotura, longitud, presión sostenida a 1000 horas, absorción de agua, resistencia química, combustibilidad, deflexión por temperatura, etc. En el caso de que un lote no cumpla con las especificaciones requeridas el material puede molerse y reciclarse, recuperándolo en nuevos productos.

Transporte al almacén de producto terminado

Si los perfiles cumplen con las especificaciones de control de calidad, entonces pasa al almacén de producto terminado. El producto se transporta por medio de montacargas, siendo sujetados previamente los elementos rígidos o del mismo modo se transportan los carretes de producto flexible.

Almacenamiento

El producto terminado es depositado en almacenes que cuentan con las características necesarias para mantener la producción en perfectas condiciones, tomando en cuenta la humedad del espacio, la radiación solar y libre de partículas contaminantes. Del mismo modo se debe clasificar al producto conforme a la materia prima utilizada y su disposición según la demanda del mismo.

2.1 Configuraciones de dados y productos extrudidos

La forma del orificio del dado determina la figura de la sección transversal del producto extrudido. Las características comunes del dado y las formas correspondientes de las extrusiones son:

- 1) perfiles sólidos
- 2) perfiles huecos, tubos por ejemplo
- 3) láminas y películas
- 4) recubrimientos de cables y alambres.

Las primeras dos categorías se cubren en la presente sección. En la figura 2.17 se muestra la salida del plástico extrudido a través de un dado con una configuración irregular, la sección transversal del perfil extrudido se muestra también en la misma figura.

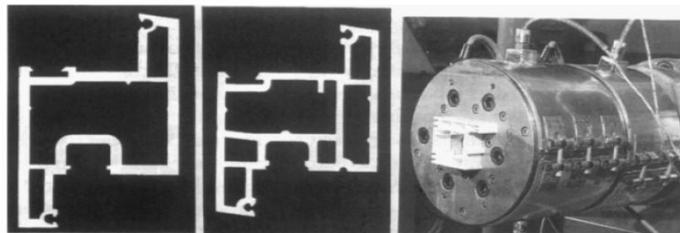


Figura 2.17 Extrusión de perfil sólido, irregular y hueco

Perfiles sólidos

Los perfiles sólidos incluyen formas regulares, como secciones redondas y cuadradas e irregulares, como los perfiles estructurales, molduras para puertas y ventanas, accesorios automotrices y chapas domésticas. En la figura 2.18 se ilustra una vista lateral de la sección de un dado para producir estas formas sólidas.

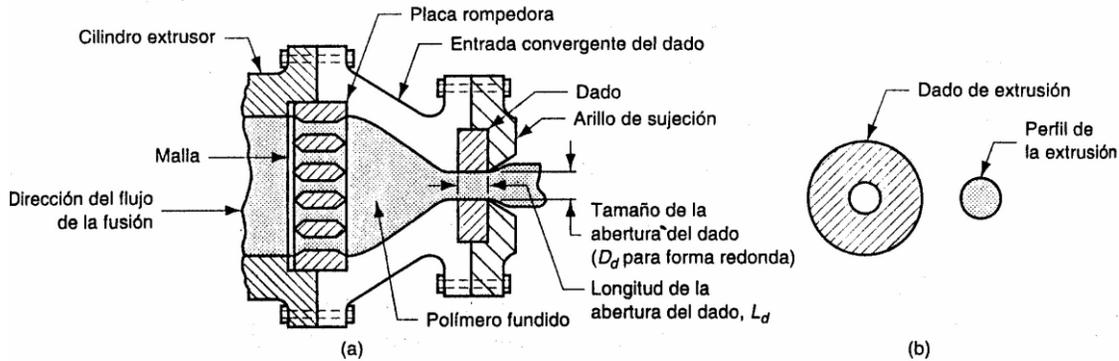


FIGURA 2.18 (a) Vista lateral de la sección de un dado de extrusión para formas sólidas regulares; (b) vista frontal del dado con el perfil de la extrusión. La dilatación en el dado es evidente en ambas vistas [3]

Para formas no redondas, la abertura del dado se diseña con una sección ligeramente diferente del perfil deseado, debido a un defecto, propio del proceso de extrusión, llamado defecto de expansión o hinchamiento el cual se trata en la sección “Defecto de extrusión”, así dicho efecto en el dado provee la corrección de la forma.

La corrección se ilustra en la figura 2.19 para una sección cuadrada. La forma de la sección del dado depende del material a extrudir, ya que los diferentes polímeros exhiben diferentes grados de dilatación en el dado.

Se requiere considerable habilidad y experiencia para diseñar un dado para secciones transversales complejas.

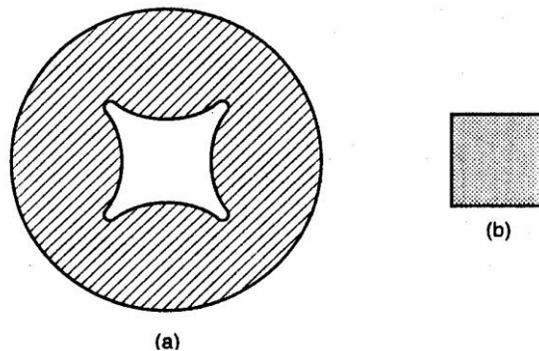


FIGURA 2.19 (a) Sección transversal del dado mostrando el perfil requerido para obtener (b) un perfil cuadrado de extrusión [3]

Perfiles huecos

La extrusión de perfiles huecos, como tubos, ductos, mangueras y otras secciones similares, requiere un mandril para dar la forma hueca. Una configuración típica del dado se ilustra en la figura 2.20. El mandril se mantiene en su lugar usando un centrador llamado comúnmente “araña”, como se muestra en la sección A-A de la misma. El polímero fundido fluye alrededor de las patas que soportan el mandril para volver a reunirse, formando la pared monolítica del tubo.

El mandril incluye frecuentemente un canal a través del cual se sopla aire para mantener la forma hueca de la extrusión durante el endurecimiento. Los tubos y ductos se enfrían utilizando rociado de agua con espresas abiertas o jalando la extrusión suavemente conduciéndola hacia tanques llenos de agua con calibradores que limitan el diámetro exterior del tubo, mientras se mantiene la presión de aire en el interior.

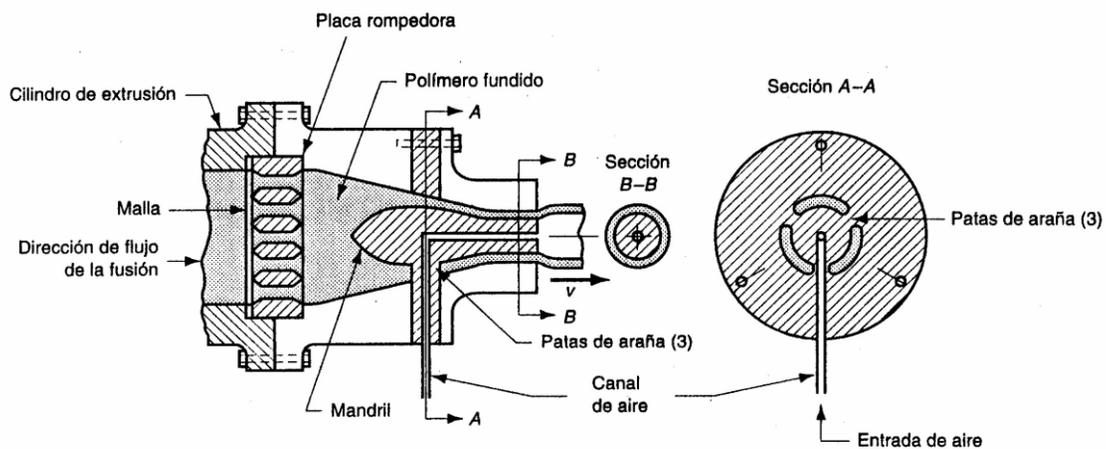


FIGURA 2.20 Vista lateral del corte de un dado de extrusión para formar secciones huecas como ductos y tubos; la sección A-A es una vista frontal que muestra cómo se sujeta el mandril en su lugar; la sección B-B muestra la sección transversal tubular poco antes de salir del dado; la dilatación en el dado causa una dimensión mayor en el diámetro. (Algunos detalles de construcción están simplificados) [3]

2.2 Defectos de extrusión

Son diversos los tipos y motivos por los que se presentan defectos en el material procesado mostrándose claramente en la superficie, en el interior o en la forma general del producto final, lo que nos acarrea una infinidad de efectos contraproducentes como el gasto innecesario de material, reducción en el costo del producto y pérdidas en lo que corresponde a tiempo de proceso.

Para evitar estos defectos es necesario un amplio criterio en el manejo adecuado de los parámetros del ciclo de extrusión como lo son: temperatura de fusión del material, velocidad de husillo, temperaturas en las bandas calefactoras y en la boquilla de salida.

Los defectos más comunes en un proceso de extrusión son:

- Hinchamiento de la pieza – Este defecto se presenta en perfiles sólidos y huecos, este efecto es natural debido a las propiedades del polímero extrudido, en perfiles huecos este defecto se controla mediante el jalador, el cual minimiza el hinchamiento gracias al esfuerzo normal proporcionado en la parte transversal de la pieza.

En un perfil sólido este defecto es causado por el mal diseño del dado, debido a que al momento de ser diseñado no se tomó en cuenta la dilatación del material el cual acarrea un producto con deformidades no deseadas.

- Con una forma cuadrada de boquilla, la dilatación ocurre más en el centro de las caras que en las esquinas (fig. 2.21), esto es resultado de que los esfuerzos normales que se producen dentro del material serán mayores en la zona central. Si el producto extruido sufre tensiones no uniformes, la relajación puede conducir a una torcedura o combadura del mismo, especialmente en las piezas que contengan partes gruesas y delgadas.

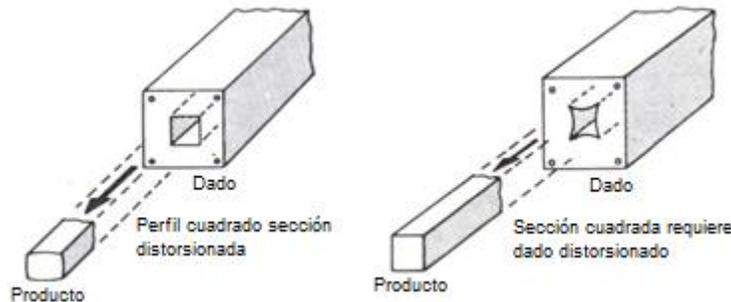


Figura 2.21 Defecto por hinchamiento 1) Diseño de dado sin tomar en cuenta el hinchamiento 2) Dado diseñado bajo parámetros de hinchamiento [3]

Para dar solución a este defecto se estudia el Número de Débora, éste involucra dos parámetros importantes para lograr cuantificar numéricamente el efecto elástico durante el flujo del polímero en un proceso de extrusión. Es un número adimensional definido como la relación entre el tiempo de relajación λ y el tiempo de proceso t_p .

$$\text{Número de Débora } De = \frac{\lambda}{t_p} \left\{ \begin{array}{l} De = 0 \text{ Representa un fluido newtoniano.} \\ De > 1 \text{ indica que el polímero no tiene tiempo de relajar durante el proceso dando lugar a fenómenos como el hinchamiento postextrusión y la rotura del fundido.} \end{array} \right.$$

En la figura 2.22 se representa un esquema del comportamiento del perfil que se obtendría para dos diferentes materiales, polietileno y PVC. Como se puede ver en la figura, el polietileno que tiene mayor contracción que el PVC rígido presenta mayor deformación en las esquinas de las figuras, pero que cambia conforme se incrementa la relación L/R_H del dado.

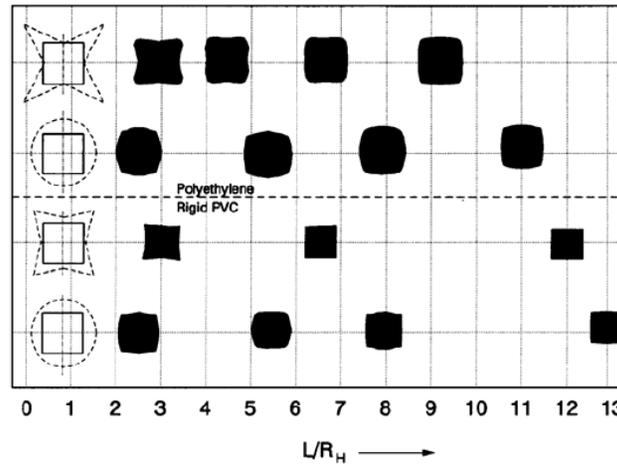


Figura 2.22 Comportamiento del perfil extruido en función de la razón L / R [5]

- Quebradura de superficie – Existe cuando hay grietas en la superficie de extrusión. Esto se debe al inadecuado control de temperatura en el proceso, fricción con las paredes del dado, o alta velocidad de extrusión. Ocurre también a bajas temperaturas, si el producto temporalmente se pega al troquel.

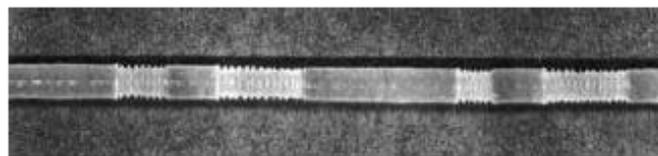


Figura 2.23 Fenómeno producido por altas velocidades de extrusión que produce una separación intermitente en la superficie del perfil [6]

- Defecto “stick–slip” o de tubo – Se atribuye a las altas tensiones de corte entre el polímero y la pared del molde. Se crea una estructura interna del producto diferente a la deseada debido al flujo que arrastra los óxidos e impurezas de la pared interna del cañón y del dado al centro del producto. Tales patrones son frecuentemente causados por altas fricciones y bajas temperaturas.

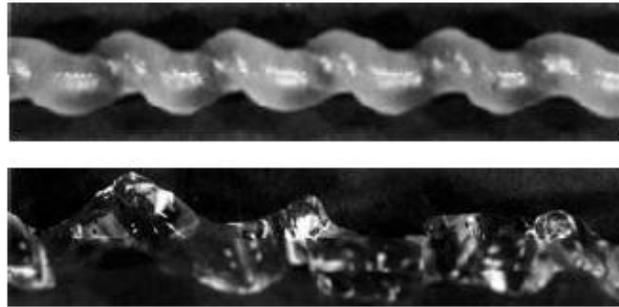


Figura 2.24 Fenómeno producido por altas velocidades de extrusión y altas tensiones de corte entre polímero y pared del molde [6]

- Agrietamiento interior o defecto *Chevron* -- Se produce cuando el centro de la extrusión desarrolla grietas o vacíos como resultado de los esfuerzos de tensión a lo largo de la línea central de la parte de trabajo durante la extrusión. Para reducir este defecto, el ángulo del dado y las impurezas del fundido deben ser minimizadas

Tales defectos internos pueden permanecer sin ser detectados, y posteriormente provocar el fallo de la pieza en servicio.

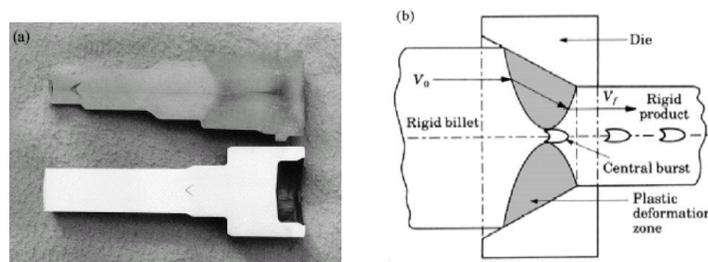


Figura 2.25 Ilustración esquemática del efecto Chevron en las zonas rígidas y plásticas en la extrusión [7]

- Piel de tiburón – En la cual la superficie del producto se arruga al salir del dado. Conforme la fusión atraviesa la abertura del dado, la fricción con la pared produce un perfil diferencial de velocidades a través de la sección transversal (figura 2.26). Esto ocasiona esfuerzos en la superficie del material que se estira para igualar el movimiento más rápido del núcleo central. Estos esfuerzos causan rupturas menores que arrugan la superficie. Si el gradiente de velocidad se vuelve más grande, se forman marcas prominentes en la superficie que dan la apariencia de un tallo de bambú de aquí el nombre de este defecto más severo.

Entre las posibles soluciones se tiene el aumento de la temperatura del material y reducción de la velocidad del husillo, o bien, el empleo de lubricante externo.

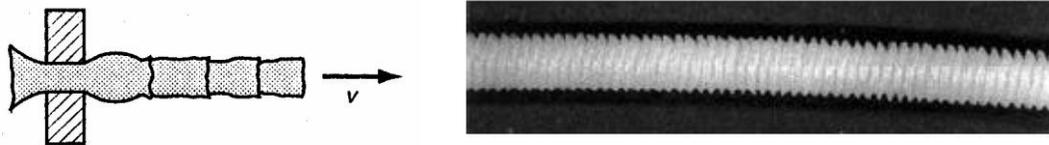


Figura 2.26 Este fenómeno se conoce generalmente como la piel de tiburón: a) Esquema “tallo de bambú”, b) Polietileno de alta densidad con el defecto en estudio [6]

- Fractura de fusión – En la cual los esfuerzos que actúan sobre el material fundido inmediatamente antes de la salida del dado, son tan altos que causan rupturas tan pronunciadas en el producto extruido y originan una superficie altamente irregular. Como se indica en figura 2.27, la fractura de fusión puede ser causada por una aguda reducción en la entrada del dado que causa un flujo turbulento.

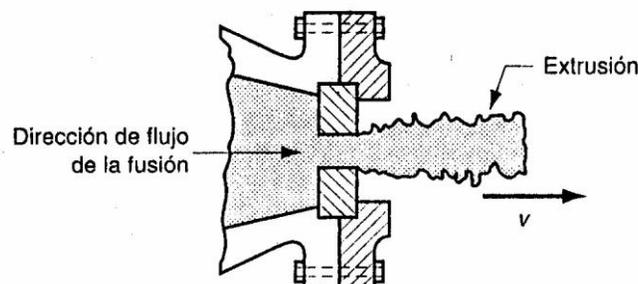


FIGURA 2.27 Fractura de la fusión causada por flujo turbulento en la fusión a través de una aguda reducción a la entrada del dado [3]

2.3 Líneas de extrusión

Para fabricar un producto extruido, además de una extrusora, se necesita una serie de equipos auxiliares que en algunos casos son muy comunes a todas las líneas de extrusión y en otros son característicos de un producto concreto. En general todas las líneas constan de unidades de refrigeración, calibrado, tensionado y embobinado o cortado.

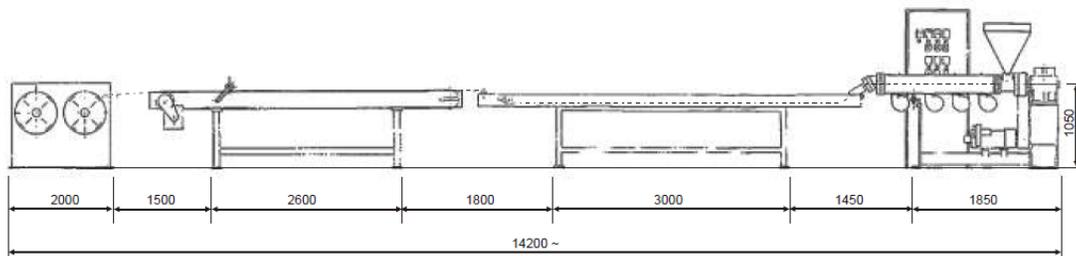


Figura 2.28 Longitud total de una línea de extrusión de perfil flexible. Acotaciones en cm. [8]

La velocidad de producción está limitada por lo general por la velocidad a la que el material puede ser enfriado, que básicamente depende del diámetro y del espesor de la pared de la pieza. Por ejemplo, para tubos de diámetro de 2.5 mm y 0.4 mm de espesor de pared la velocidad de extrusión puede ser de 4 mm/s, mientras que para tuberías de 1 m de diámetro interno y 60 mm de espesor de pared una velocidad de producción típica podría ser de 3 m/h.

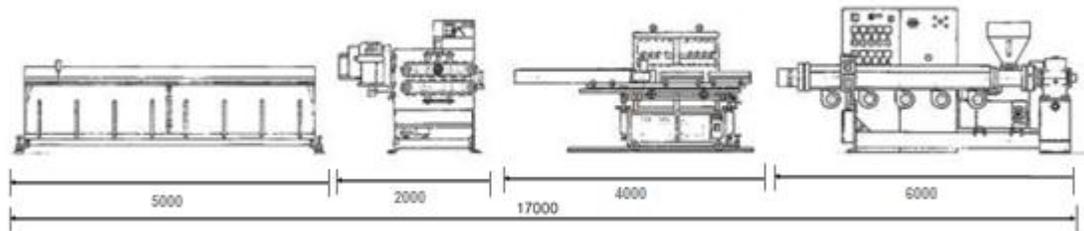


Figura 2.29 Longitud total de una línea de extrusión de perfil rígido. Acotaciones en cm. [8]

En la figura 2.29 se muestra una línea de extrusión de perfiles rígidos, ésta cuenta con un extrusor, calibrador, zona de enfriamiento, jalador con cortador integrado el cual corta al perfil extruido en determinadas secciones de igual longitud para posteriormente ser estibadas.

Muchas líneas de extrusión se utilizan para la producción de perfiles, las líneas de perfiles tienen muchas formas y tamaños, pero por lo general son muy similares a las líneas de tubos y tuberías, cambiando lógicamente la forma de la boquilla y la posibilidad de emplear aire interno a presión.

En la siguiente ficha técnica (Qingdao Haitaisheng Machinery Manufacturing), se presenta la descripción de distintos modelos de líneas de extrusión con la cual nos podemos dar una idea de las dimensiones reales de cada línea en función del diámetro del perfil extruido, del caudal máximo y velocidad de extrusión.

Línea de extrusión de perfil tubular



Principales Parámetros Técnicos						
Modelo	Rango de diámetro	Modelo de extrusión	Salida máxima (Kg/h)	Velocidad máxima de transporte (m/min)	Potencia Total Instalada	Longitud de línea
LSDP-63UPVC	φ 16- φ 63	LSE-65	180	12	100	24
LSDP-110PVC	φ 75- φ 110	LSE-80	450	6	190	27
LSP-160UPVC	φ 50- φ 160	LSE-65	250	10	100	25
LSP-250UPVC-A	φ 75- φ 250	LSE-65	250	8	120	25.5
LSP-250UPVC-B	φ 75- φ 250	LSE-80	450	8	180	26
LSP-400UPVC	φ 160- φ 400	LSE-80	450	3	200	35
LSP-630UPVC	φ 315- φ 630	LSE-92	700	1	230	36

Figura 2.30 Ficha técnica de líneas de extrusión [9]



DISEÑO Y MANUFACTURA DE UN CARRO DE ARRASTRE PARA UNA MÁQUINA DE EXTRUSIÓN





CAPÍTULO 3

DISEÑO CONCEPTUAL DEL PROTOTIPO

En el capítulo anterior se mostraron los equipos fundamentales de la línea de producción por extrusión, en este capítulo nos enfocaremos en la unidad de tiro (puller), ya que en esto se resume nuestro proyecto.

3.1 Planteamiento del problema

Se diseñará un jalador capaz de acoplarse a una máquina de extrusión simple de marca Nieto, la cual se encuentra operando en la Facultad de Ingeniería de la UNAM, para lograr el tirado de los perfiles extrudidos con los dados con los que cuenta esta institución.

Necesidades a satisfacer:

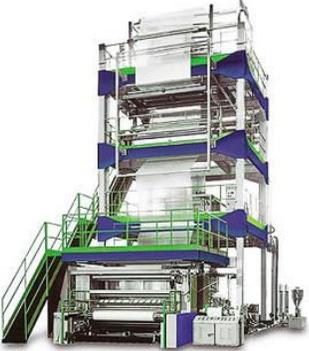
- Diseñar la unidad de tiro para el proceso de extrusión simple.
- La máquina debe ser capaz de tirar perfiles rígidos y flexibles.
- También debe ser capaz de sujetar perfiles muy pequeños al igual que perfiles grandes (hasta 5 cm del espesor o diámetro del perfil).
- El manejo del dispositivo debe ser de una forma sencilla y de fácil acoplamiento en el proceso de extrusión.
- La posibilidad de ser acoplable a otros dispositivos periféricos para un proceso de extrusión completo.
- La máquina debe lograr sincronizar su velocidad con la rapidez del gasto extrudido.
- Se planea trabajar con todo tipo de material que la extrusora sea capaz de procesar.

Una vez mencionado tales elementos, es momento de iniciar con el proceso de comparación de los diferentes tipos de dispositivos que se encuentran actualmente en el mercado. Para esto nos ayudaremos de una herramienta llamada *Benchmarking*, ésta es un anglicismo traducible al castellano como comparativa, puede definirse como un proceso sistemático y continuo para evaluar comparativamente los productos, servicios y procesos de trabajo en organizaciones y sistemas.

Aplicado a este trabajo, la “comparativa” nos facilitará localizar los aspectos críticos de cada propuesta existente como son: el número de motores empleados, puntos de sujeción del perfil, la manera de afianzar el producto, manejabilidad, dimensiones y la forma de transmitir potencia dentro del mecanismo.

En la siguiente tabla (Tabla 3.1) podremos observar que el objetivo fundamental de todos los equipos es el de jalar un perfil extrudido, mas la forma en que esto se hace, es lo que nos dará la pauta para obtener la mejor selección de nuestro diseño.

Comparativa

	<p style="text-align: center;">Tirador tipo llanta</p> <p>Este jalador se utiliza para una producción muy pequeña de perfiles, debido al tamaño del área de contacto, además se elimina el dispositivo de transmisión de potencia utilizando dos motores para proporcionar el par independiente en cada rueda. La apertura y cierre de la mordaza es muy sencillo utilizando únicamente la manivela.</p>
<p style="text-align: center;">Tirador tipo cuatro llantas</p> <p>Este jalador utiliza el mismo principio de funcionamiento que el prototipo anterior sólo que éste equipo utiliza otro par de ruedas para lograr una mejor tracción de los perfiles, además cuenta con guidores para mantener fija la posición del mismo.</p>	
	<p style="text-align: center;">Unidad de tiro de rodillos</p> <p>Esta unidad logra el transporte y tirado de películas plásticas mediante sistemas de rodillos continuos para evitar la pérdida de tensión. Este dispositivo es ampliamente utilizado en la industria para la fabricación de bolsas.</p>

<p align="center">Tirador embobinador vertical</p> <p>Su principio de funcionamiento se basa en el embobinado directo de la tina de enfriamiento calibrado y guiado por rodillos transversales al sentido de tiro del propio embobinador. Este dispositivo puede cumplir satisfactoriamente con su función siempre y cuando el perfil tirado sea flexible.</p>	
	<p align="center">Tirador embobinador horizontal</p> <p>El principio de funcionamiento es similar al anterior, con la diferencia que el tiro de este sistema es horizontal e impulsado por un motor acoplado con sistemas de transmisión flexible al embobinador. Permite de forma más rápida el cambio de los embobinados.</p>
<p align="center">Tirador simple tipo oruga</p> <p>Este mecanismo utiliza bandas para el transporte y tirado de los distintos tipos de perfiles extrudidos por la máquina que le antecede. Cuenta un sistema de apertura y cierre similar al tirador tipo llanta.</p>	
	<p align="center">Tirador tipo oruga (automatizado)</p> <p>El funcionamiento de esta máquina es similar al anterior, con la diferencia de que cuenta con un panel de control que nos permite el ajuste de velocidades para un proceso determinado.</p>

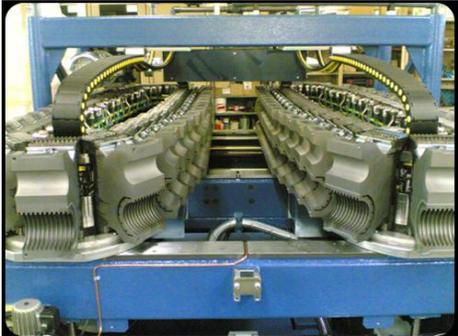
<p align="center">Tirador tipo oruga hidráulico</p> <p>La característica principal de este dispositivo es el sistema hidráulico en la apertura y cierre del mecanismo de transporte, esto debido a las dimensiones y capacidades del sistema en general.</p>	
	<p align="center">Tirador tipo oruga (4 orugas)</p> <p>Este tipo de jalador se ocupa para el tirado de perfiles tubulares o de perfiles cuadrados por la disponibilidad de sus componentes.</p>
<p align="center">Tirador tipo oruga (6 orugas)</p> <p>Este tipo de jalador se ocupa para el tirado de perfiles tubulares o de perfiles hexagonales por la disponibilidad de sus componentes.</p>	
	<p align="center">Tirador tipo oruga (transversal)</p> <p>Sistema empleado en perfiles tubulares aun deformables para adquirir el acabado proporcionado por las bandas transportadoras.</p>

Tabla 3.1 Comparativa entre los diferentes sistemas de tiro comerciales



A partir de esta tabla determinamos los diferentes dispositivos que cumplen con las necesidades antes ya mencionadas, obteniendo como resultado cuatro referencias para continuar con la discrepancia entre uno y otro, en términos generales, entre estos se encuentran:

- Tirador tipo llanta
- Tirador tipo cuatro llantas
- Tirador embobinador
- Tirador tipo oruga

A partir de esto hacemos uso de otra herramienta (matriz de selección) para lograr un panorama más amplio de nuestro prototipo a diseñar.

Matriz de selección

La matriz de selección nos permite comparar de manera gráfica y práctica los rubros bajo los cuales se está diseñando un equipo con la capacidad de otorgar numéricamente un grado a cada opción basándose en un criterio determinado. Tal criterio se complementó con la mención de los requerimientos del sistema, estos requerimientos enumeran las características que le darán plusvalía a este dispositivo.

Los requerimientos son los siguientes:

- La variación de la velocidad de tiro debe ser gradual y a su vez mantenerla constante en un proceso de extrusión en particular.
- Mayor área de tiro posible para obtener una óptima distribución de fuerzas.
- La fuerza de sujeción a la entrada debe ser la idónea para no deformar nuestro producto.
- La fuerza de sujeción y de tiro a lo largo del dispositivo debe permanecer constante y no presentar concentraciones en algún punto en particular.
- La máquina trabajará como mínimo a la velocidad de extrusión de la máquina Nieto ubicada en el laboratorio de procesamiento de plásticos.
- La perfilería para la que esta máquina está hecha se le confieren a perfiles tubulares y geometrías sólidas compactas.
- La presión de sujeción que aplica la mordaza en el perfil debe ser constante aun cuando el perfil tenga restos de refrigerante.
- La apertura de la mordaza debe ser variable desde un valor mínimo a un valor máximo idóneo al proceso, para una buena sujeción de nuestro perfil.
- Los dispositivos de transmisión de potencia deben permitir el fácil reajuste en el proceso de tiro (apertura y cierre de mordaza).



En seguida se describen los elementos de la matriz de decisión utilizada en la selección de las alternativas de diseño. En el eje vertical observamos las alternativas de solución al problema a tratar, mientras que en el eje horizontal aparecen las capacidades a evaluar en cada alternativa de solución.

Además se agrega una fila con información de la calificación que se otorga a cada propuesta y un porcentaje de la misma, pues cada punto a evaluar tiene distinto grado de importancia. Al final de la tabla se muestra una calificación total obtenida de un promedio aritmético de las calificaciones parciales calculadas para cada característica.

Matriz de decisión (tipos de unidades de tiro)

Características	Número de motores	Perfil a tirar		dimensiones	Velocidad tangencial de tiro	Zonas de contacto	Acoplable a otras máquinas
		Rígido	flexible				
Alternativas	10%	15%	15%	10%	20%	20%	10%
"X"	Cantidad de motores empleados	Capacidad de tiro en perfiles rígidos	Capacidad de tiro en perfiles flexibles	Tamaño del dispositivo	Velocidad de tiro constante en cada evento	Superficie total de contacto en el material extrudido	Disponibilidad de complementar con otros dispositivos

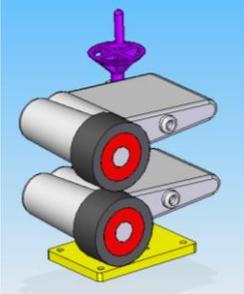
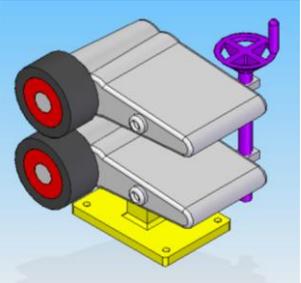
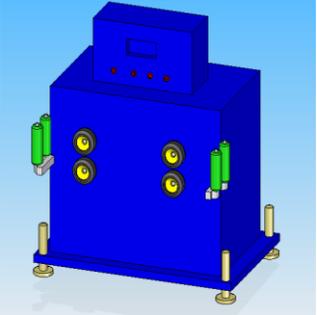
Tabla 3.2 Ponderaciones para los puntos a evaluar en cada alternativa

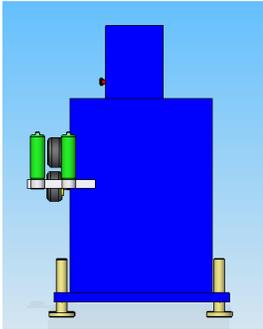
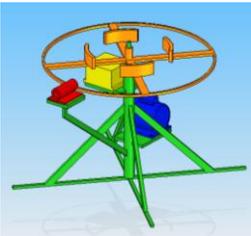
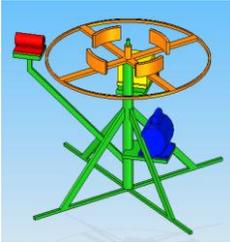
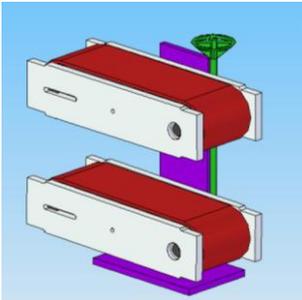
Alternativas.

- A : Tirador tipo llanta
- B : Tirador tipo cuatro llantas
- C : Tirador embobinador
- D: Tirador simple tipo oruga

Haciendo uso de una tabla comparativa 3.3 podremos justificar los valores otorgados en la matriz 3.2.1.

Tabla comparativa

Prototipo	Ventajas	Desventajas
<p align="center">Prototipo A</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Posibilidad de tirar perfiles rígidos y también flexibles. • Regulación gradual de la velocidad de acuerdo a las necesidades del proceso. • Velocidad tangencial constante en las ruedas de tiro para cada evento. • Tamaño pequeño. 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de dos motores (sincronización de ambos). • Concentración de esfuerzo normal en una superficie pequeña (deformación de perfiles).
	<ul style="list-style-type: none"> • Puede ser acoplable a dispositivos periféricos (corte, embobinado, calibrador...) 	
<p align="center">Prototipo B</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Manejo de perfilaría rígida y flexible. • Puede ser acoplable a dispositivos periféricos (corte, embobinado, calibrador...) • Regulación gradual de la velocidad de acuerdo a las necesidades del proceso. 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de dos motores (sincronización de ambos). • Existe la posibilidad de deformación en perfiles flexibles por pandeo y/o elongación. • Concentración de esfuerzo normal en dos superficies pequeñas (deformación de perfiles).

		<ul style="list-style-type: none"> • De grandes dimensiones debido a los sistemas de transmisión. • Longitud de apertura constante, por lo que sólo es funcional para un perfil específico.
<p align="center">Prototipo C</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Empleo de un solo motor. • Entrega del producto ya embobinado. • La zona de contacto es la periferia del embobinado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Manejo exclusivo de perfiles flexibles. • Necesidad de un dispositivo adicional para el control del embobinado. • Velocidad de tiro en función del radio del embobinado. • Limita el uso de otros equipos periféricos por ser un dispositivo terminal.
		<ul style="list-style-type: none"> • Pequeñas deformaciones por compresión al embobinar el perfil.
<p align="center">Prototipo D</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Posibilidad de tirar perfiles rígidos y también flexibles. • Regulación gradual de la velocidad de acuerdo a las necesidades del proceso. • Velocidad tangencial constante en las ruedas de tiro para cada evento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Implementación de sistema independiente de apertura y cierre. • Necesidad de sistema adicional de transmisión de potencia debido al empleo de un solo motor.

	<ul style="list-style-type: none"> • Puede ser acoplable a dispositivos periféricos (corte, embobinado, calibrador...). • Uso de un solo motor. • Concentración de esfuerzo normal en una superficie proporcionada por la banda transportadora. • Longitud de apertura variable de acuerdo a las necesidades del proceso. 	
--	---	--

Tabla 3.3 Características generales de los prototipos a evaluar

Utilizando una escala de calificación del 5 al 10 en donde la menor calificación posible es 5 y la mayor calificación es 10 procederemos a evaluar nuestras opciones.

Características Alternativas	Número de motores		Perfil a tirar				Dimensiones		Velocidad tangencial de tiro		Zonas de contacto		Acoplable a otras máquinas		Total
			Rígido		Flexible										
	10%	%C	15%		15%		10%		20%		20%		10%		
Calificación	C	%C	C	%C	C	%C	C	%C	C	%C	C	%C	C	%C	
A	7	0.7	10	1.5	10	1.5	10	1	9	1.8	6	1.2	10	1	8.70
B	7	0.7	8	1.2	7	1.05	6	0.6	7	1.4	7	1.4	10	1	7.35
C	10	1	5	0.75	10	1.5	8	0.8	5	1	8	1.6	6	0.6	7.25
D	10	1	10	1.5	10	1.5	8	0.8	10	2	8	1.6	10	1	9.40

Tabla 3.2.1 Matriz de selección de los prototipos evaluados

Realizando la comparación de los prototipos antes mencionados se obtuvo que la opción mejor calificada es la **D** la cual se refiere a la unidad de tiro oruga. Una vez obtenido este resultado, nos daremos a la tarea de comparar los diferentes mecanismos que complementan las necesidades de nuestro diseño, los cuales son: sistema de apertura – cierre, transmisión de potencia y sistema motriz.



3.2 Sistema de apertura-cierre

Antes de operar el jalador, es fundamental ajustar los parámetros necesarios para lograr un proceso de extrusión sin interrupciones logísticas, es decir, debemos tener a la mano las dimensiones y propiedades mecánicas específicas del producto requerido.

Por lo que es necesario un ajuste previo del jalador con base en el perfil a extrudir y la máquina extrusora a utilizar (altura, orientación de salida del perfil, tipo de perfil,...).

En la tabla 3.5 cotejamos las capacidades – alternativas que se encontraron para cada diseño del sistema de tiro del cual nos importa conocer las dificultades con las que el operador se pueda enfrentar. Del mismo modo, se utilizó el recurso de matricial para formar un criterio adecuado respecto a la selección del sistema de apertura y cierre del dispositivo a desarrollar.

Las características que se evalúan se muestran en la Tabla 3.4, y son aquellas que tienen un papel determinante durante el proceso de extrusión puesto que el perfil no debe sufrir alteraciones superficiales al momento de ser jalado.

Matriz de decisión (apertura y cierre)

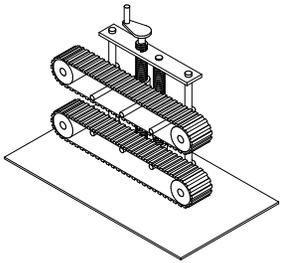
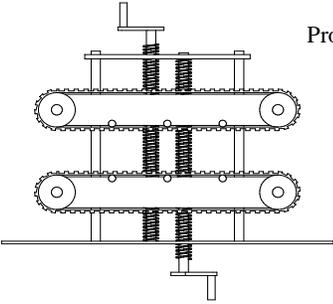
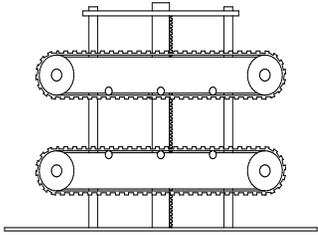
Características Alternativas	Tipo de ajuste		Efecto de gravedad en el perfil	Fácil ajuste de oruga	Montado de equipo	Tamaño del equipo	Número de Componentes
	Independiente	Conjunto					
porcentaje	20%	20%	15%	15%	10%	10%	10%
“X”	Movimiento de una sola oruga	Movimiento simultáneo ambas orugas	Posición de las orugas	Comodidad de ajuste	Facilidad de armado	Dimensiones de frontera	No. Piezas

Tabla 3.4 Matriz de descripción de los aspectos a evaluar para cada alternativa seleccionada en el sistema (apertura y cierre)

Alternativas

- A: Doble sinfín: Inferior - Superior
- B: Piñón – Cremallera
- C: Doble sinfín superior

Tabla comparativa

Prototipo	Ventajas	Desventajas
 <p align="center">Prototipo A</p> <p>Número de componentes</p> <p>2 sinfines 2 manivelas 2 roscas para sinfin</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Apertura y cierre de ambas orugas, con manivelas independientes. • Movimiento totalmente mecánico de las orugas para su posicionamiento vertical. • Apertura y cierre de oruga superior independiente una de la otra • Mecanismo sencillo • Posibilidad de apertura y cierre de oruga aún con el equipo trabajando 	<ul style="list-style-type: none"> • Movimiento manual para el ajuste de las orugas. • Poco factible en la disposición de la oruga inferior. • No se puede desplazar ambas orugas al mismo tiempo conservando una distancia constante.
 <p align="center">Prototipo A</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Apertura y cierre de ambas orugas. • Movimiento manual de las orugas para su posicionamiento vertical. • Apertura y cierre de oruga superior independiente una de la otra 	<ul style="list-style-type: none"> • Movimiento manual para el ajuste de las orugas. • Poco factible en la disposición de ambas orugas. • Imposibilidad de mover ambas orugas manteniendo una apertura constante.
 <p align="center">Prototipo B</p> <p>Número de componentes</p> <p>1 cremallera 2 piñones 1 eje guía 2 manivelas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Apertura y cierre de ambas orugas. • Movimiento manual de las orugas para su posicionamiento vertical. • Apertura y cierre de oruga superior independiente una de la otra 	<ul style="list-style-type: none"> • Movimiento manual para el ajuste de las orugas. • Poco factible en la disposición de ambas orugas. • Imposibilidad de mover ambas orugas manteniendo una apertura constante.

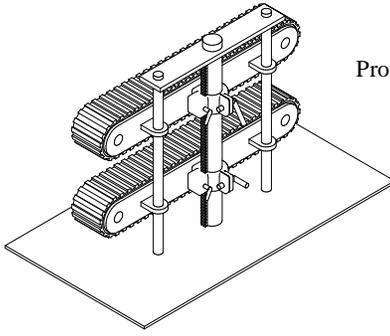
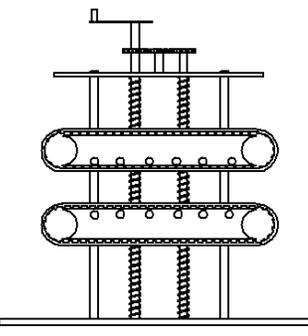
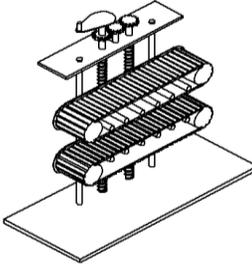
 <p align="right">Prototipo B</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Posibilidad de apertura y cierre de oruga aún con el equipo trabajando • Uso de un solo eje cremallera. 	
<p>Número de componentes</p> <p>2 Sinfines 2 roscas para sinfín 1 manivela 3 engranes rectos 1 junta prismática</p>  <p align="right">Prototipo C</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Apertura y cierre de ambas orugas en un mismo movimiento. • Apertura y cierre de uruga superior independiente bajo el mismo principio que el movimiento conjunto. • Engranes del mismo paso. • Posibilidad de apertura y cierre de oruga aún con el equipo trabajando. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto costo en los tornillos sinfín (2) • Movimiento manual para el acoplamiento del engrane conjunto. • Junta prismática circular incluida en soporte superior
 <p align="right">Prototipo C</p>		

Tabla 3.5 Ventajas y desventajas de los sistemas (apertura y cierre)

Con base en la tabla anterior, se calificará y determinará cuál es la mejor opción para nuestro prototipo sin considerar hasta ahora cuestiones monetarias, simplemente con el cumplimiento de los requerimientos establecidos con anterioridad.



Cabe mencionar que el porcentaje dado para cada rubro se estableció a partir de la existencia de dispositivos que contienen cada uno de ellos, es decir, el tipo de ajuste en los dispositivos comerciales es muy similar y en el objetivo de esta tesis se propone innovar un mecanismo que facilite la operación de tal dispositivo.

Por tal motivo, el tipo de ajuste tiene el mayor porcentaje ya que es la parte que más varía en los elementos existentes, enseguida se muestra el fácil ajuste, montado de equipo y su tamaño; características de suma importancia en el diseño del mecanismo. Tabla 3.4.1.

La calificación se otorga con base en una escala de 5 a 10, en donde 5 es la mínima calificación y 10 es la máxima calificación.

Características Alternativas	Tipo de ajuste				Efecto de gravedad en el perfil		Fácil ajuste De oruga		Montado de equipo		Tamaño del equipo		Número de Componentes		Total
	Independiente		Conjunto		C	%C	C	%C	C	%C	C	%C	C	%C	
	20%		20%		15%		15%		10%		10%		10%		
Calificación	C	%C	C	%C	C	%C	C	%C	C	%C	C	%C	C	%C	
A	10	2	5	1	10	1.5	7	1.05	8	0.8	9	0.9	8	0.8	8.05
B	10	2	5	1	10	1.5	6	0.9	7	0.7	9	0.9	7	0.7	7.70
C	10	2	7	1.4	6	0.9	10	1.5	6	0.6	6	0.6	6	0.6	7.00

Tabla 3.4.1 Matriz de selección (apertura y cierre)

Los resultados arrojaron que la mejor opción es la **A**

Posteriormente, se implementó un nuevo diseño del jalador el cual cumple con un punto medular planteado en los objetivos de esta tesis; nuestra propuesta de diseño busca facilitar y optimizar el tiempo de proceso de un artículo determinado.

Como se puede observar, la propuesta D cuenta con la facilidad de apertura y cierre en un solo movimiento de ambas orugas, es decir, al rotar el sinfín de doble cuerda se tiene un movimiento vertical de ambas orugas en direcciones opuestas, lo que permite ahorrar tiempo en el desplazamiento verticalmente de todo el sistema de tiro, ya que no es necesario mover primeramente una oruga y después la siguiente.

Tabla comparativa prototipo D

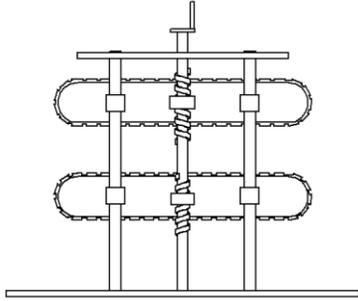
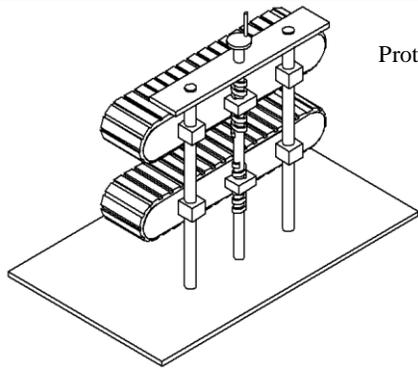
Prototipo		Ventajas	Desventajas
 <p align="right">Prototipo D</p>		<ul style="list-style-type: none"> Activación de la apertura y cierre del sistema en un solo movimiento. Menos elementos mecánicos para el sistema de apertura y cierre. Empleo de una barra con doble cuerda de dimensiones específicas. No se modifica la restricción de la apertura máxima y mínima. 	<ul style="list-style-type: none"> No existe un control de apertura constante en el mecanismo principal. Manufactura de la barra con doble cuerda. Acoplamiento general del sistema.
 <p align="right">Prototipo D</p>			

Tabla 3.5.1 Elemento comparativo y nuevo prototipo (apertura y cierre)

A continuación se presenta la siguiente tabla para determinar la mejor opción con base en la matriz de selección 3.4.1. Los resultados son los siguientes:

Características / Alternativas	Tipo de ajuste				Efecto de gravedad en el perfil		Fácil ajuste De oruga		Montado de equipo		Tamaño del equipo		Número de Componentes		Total
	Independiente		Conjunto		C	%C	C	%C	C	%C	C	%C	C	%C	
	20%		20%		15%		15%		10%		10%		10%		
Calificación	C	%C	C	%C	C	%C	C	%C	C	%C	C	%C	C	%C	
A	10	2	5	1	10	1.5	7	1.05	8	0.8	9	0.9	8	0.8	8.05
D	5	1	10	2	10	1.5	9	1.35	7	0.7	9	0.9	10	1	8.45

Tabla 3.4.2 Nueva matriz de selección (apertura y cierre)



A partir de las Matrices de decisión antes mostradas, se concluye que la mejor opción para la fabricación de una máquina jaladora con base en las especificaciones en cuestión es la **D** (Tornillo doble cuerda).

3.3 Sistema de Transmisión de Potencia

En la transmisión de potencia existen varios factores para decidir entre una opción u otra, pero uno muy importante es la eficiencia, sin olvidar los costos generados. La determinación de la potencia requerida en la periferia de la oruga se basa en las características específicas del producto a tirar.

Matriz de decisión (transmisión de potencia)

Características Alternativas	Empleo de un solo motor	Ajuste de Sistema con la máquina operando	Eficiencia	Montado de equipo	Recursos
Porcentaje	25%	25%	20%	15%	15%
"X"	Menor número de motores, menor costo	Capacidad de modificar apertura sin necesidad de detener el motor	Se busca tener las menores pérdidas de potencia posibles	Sencillez al armar el dispositivo	Se calificará de acuerdo al número de elementos

Tabla 3.6 Descripción de los aspectos a evaluar para cada alternativa seleccionada para la transmisión de potencia

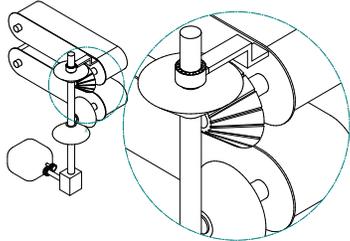
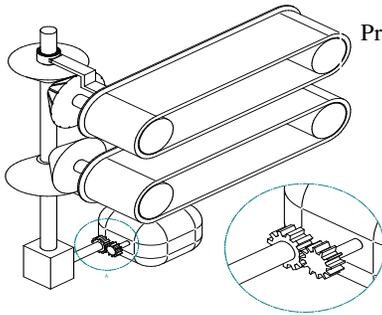
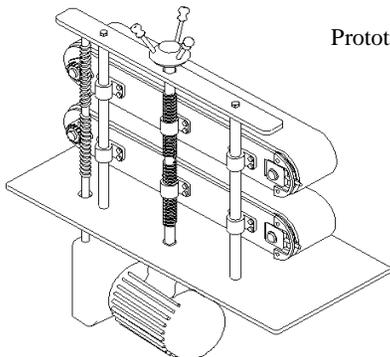
Con respecto a la tabla anterior, hemos seleccionado cuatro alternativas para discriminar las que no cumplan con nuestras necesidades.

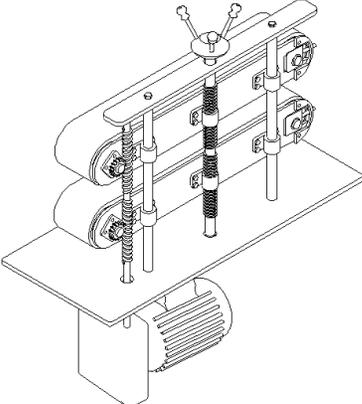
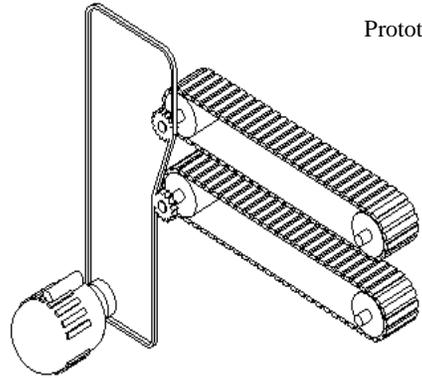
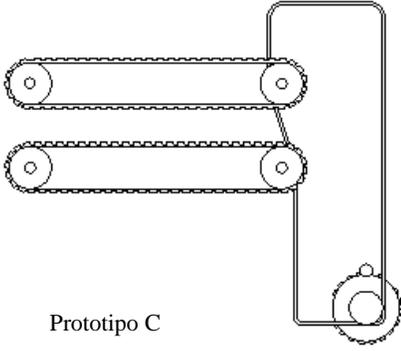
Alternativas

- A: Engranés cónicos – helicoidales
- B: Sinfín doble cuerda – engranes rectos
- C: Transmisión flexible
- D: Dos motores

Para tener un panorama más amplio de las posibilidades existentes de acuerdo a la fabricación, compra y costos de elementos para transmisión de potencia, mostramos a continuación una tabla comparativa 3.7 donde se consideran aspectos esenciales de cada propuesta como: facilidad de montaje, eficiencia, recursos y número de elementos. Con la cual justificaremos los valores otorgados en la matriz de decisión 3.6.

Tabla comparativa

prototipo	ventajas	desventajas
<p align="center">Prototipo A</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Movimiento conjunto de sistema de transmisión de potencia y sistema de tiro. • Alta eficiencia en la transmisión de potencia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo elevado de los engranes helicoidales. • Empleo de elementos auxiliares para aumentar los grados de libertad.
<p align="center">Prototipo A</p> 		
<p align="center">Prototipo B</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Empleo de un solo elemento común para transmitir la potencia (sinfín doble cuerda) • Costo relativamente bajo en comparación con el prototipo A por las características de los elementos primarios (engranes rectos). 	<ul style="list-style-type: none"> • Pequeñas pérdidas de potencia debido al empleo de engranes rectos.

 <p align="right">Prototipo B</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil mantenimiento del equipo. • Utiliza un solo motor para lograr la tracción del sistema. 	
 <p align="right">Prototipo C</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Utilización de pocos recursos mecánicos. • Empleo de un solo motor para accionar el sistema. • Sencillez al montar el equipo y mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Necesidad de elementos auxiliares para la tensión de la banda. • Pérdidas por deslizamiento. • Imposibilidad de ajuste de orugas con el sistema operando.
 <p>Prototipo C</p>		

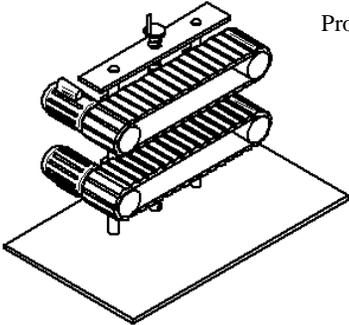
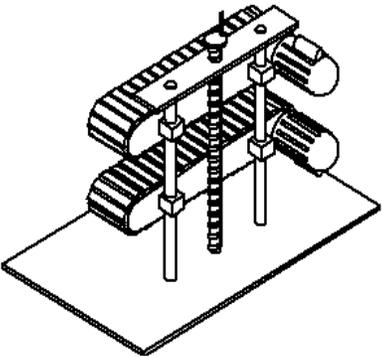
 <p align="center">Prototipo D</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Necesita menos elementos para la transmisión de potencia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de dos motores para lograr el movimiento independiente de cada oruga. • Se necesita un sistema de control especial para sincronizar ambos motores. • Depende de los tipos de motores a usar (CD, CA o servomotor).
		

Tabla 3.7 Ventajas y desventajas de los prototipos (sistema de transmisión de potencia)

En la tabla 3.6.1 se procederá a evaluar la matriz de decisión como se ha venido haciendo utilizando la escala de evaluación aplicada.

Capacidad / Alternativas	Número de motores		Ajuste de Sistema con la máquina operando		Eficiencia		Montado de equipo		Recursos		TOTAL
	20%		30%		25%		15%		10%		
	C	% C	C	% C	C	% C	C	% C	C	% C	
A	10	2	10	3	10	2.5	6	0.9	7	0.7	9.10
B	10	2	10	3	9	2.25	9	1.35	9	0.9	9.75
C	10	2	5	1.5	8	2.0	7	1.05	8	0.8	7.35
D	5	1	10	3	10	2.5	8	1.20	9	0.9	8.60

Tabla 3.6.1 Matriz de selección (sistema de transmisión de potencia)



Evaluando la matriz (tabla 3.6.1) de las diferentes opciones de transmisión de potencia observamos que el empleo de un solo motor es la característica especial de este diseño, no obstante es difícil dejar a un lado el uso de dos motores para lograr la tracción del mecanismo.

Como se puede apreciar, la opción con un mayor puntaje es la **B (Sinfín doble cuerda-engranes rectos)** la cual consta de un tornillo sinfín doble cuerda con acoplamientos a engranes rectos. La funcionalidad de este dispositivo es que existe la posibilidad de un ajuste después de poner en marcha la máquina, así como el movimiento conjunto de las orugas para no perder el ajuste previo para un proceso determinado.

3.4 Sistema motriz

Para un óptimo funcionamiento de la sección motriz del dispositivo, es necesaria la adecuada selección del corazón de la máquina: el motor, sin perder de vista los requerimientos que de éste necesitamos; potencia, torque, par, tipo de alimentación y control. Ahora buscaremos la mejor opción de motor de entre los de corriente directa, corriente alterna o servomotores.

No hay que perder de vista los puntos fundamentales y aplicaciones que daremos a este elemento, transmitir potencia bajo un control preciso de revoluciones para evitar modificar propiedades del material.

3.4.1 Motor de corriente continua

El motor de corriente continua es una máquina que convierte la energía eléctrica en mecánica mediante un movimiento rotatorio. El tipo de alimentación que esta máquina necesita es de corriente continua, donde las cargas eléctricas o electrones fluyen siempre en el mismo sentido en un circuito eléctrico cerrado, moviéndose del polo negativo hacia el polo positivo de una fuente de fuerza electromotriz (FEM).

En la figura 3.5 se muestran los principales componentes dentro de un motor de C.D., cuyos nombres se ocuparan para la caracterización de las configuraciones para este tipo de motor.

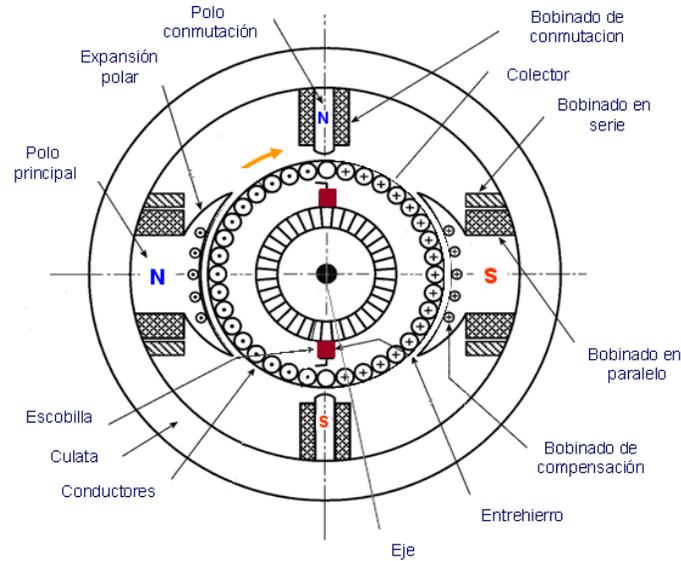


Figura 3.5 Esquema de un motor de corriente directa

Existe una gran variedad de configuraciones para el motor (figura 3.6) de corriente continua, y eso debido al tipo de excitación que presenta al arrancar la máquina, tipo de campo de excitación y la conexión del embobinado principal.



Figura 3.6 Clasificación de los motores de corriente directa

En la tabla 3.7 se muestran las clasificaciones de un motor de C.D.

Motor de corriente continua				
Excitación Independiente Significa que la energía utilizada por el estator proviene de una fuente independiente a la que alimenta el rotor.		Autoexcitado La energía utilizada en el inductor e inducido proviene de una misma fuente		
Imán permanente Cuenta con un inductor fabricado de imán permanente	Electromagnético Cuyo inductor es un electroimán	Conexión serie Son aquellos en los que el inductor está conectado en serie con el inducido.	Conexión paralelo Son aquellos en los que el inductor está conectado en paralelo con el inducido.	Conexión compuesta Son aquellos en los que se combina la conexión serie y paralelo.
<ul style="list-style-type: none"> ○ Baja inercia (grandes aceleraciones) ○ Bajos pares de retención Relación tensión-velocidad LINEAL ○ Relación corriente-par LINEAL ○ Volumen bajo ○ Baja tensión de arranque. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Se necesita dos fuentes para excitar el inductor y otra para la excitación del inducido. ○ Se puede regular la velocidad del motor aumentando o disminuyendo la corriente en el inducido. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Se embala cuando funciona en vacío, debido a que la velocidad de un motor de corriente continua aumenta al disminuir el flujo inductor y, en el motor serie, éste disminuye al aumentar la velocidad, puesto que la intensidad en el inductor es la misma que en el inducido. ○ La potencia es casi constante a cualquier velocidad. ○ Le afectan poco la variaciones bruscas de la tensión de alimentación, ya que un aumento de ésta provoca un aumento de la intensidad y, por lo tanto, del flujo y de la fuerza contraelectromotriz, estabilizándose la intensidad absorbida. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ En el instante del arranque, el par motor que se desarrolla es menor que el motor serie. ○ La velocidad no disminuye solo ligeramente cuando el par aumenta. ○ Son adecuados para aplicaciones en donde se necesita velocidad constante a cualquier ajuste del control. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Son utilizados donde se requiera una respuesta estable de par constante para un rango de velocidades amplio. ○ La velocidad se puede disminuir por debajo de la normal por medio de un reóstato colocado en el circuito del inducido y aumentarse por encima de la normal mediante un reóstato en el circuito de campo.

Tabla 3.8 Particularidades entre diferentes tipos de configuración para un motor de corriente directa

En la figura 3.8 se muestran los componentes principales de un motor de corriente directa, los cuales pueden ser divididos en dos partes; la parte fija (inductor) y la parte rotatoria (inducido)

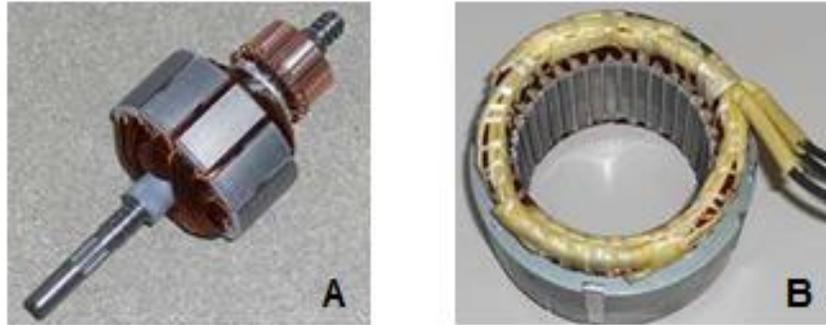


Figura 3.8 A) (inducido) parte rotatoria del motor; B) (inductor) parte fija del motor que produce el campo de giro del rotor

Como hemos observado existen varias configuraciones para el uso de un motor de corriente continua, sin embargo, es difícil seleccionar uno con respecto de otro si no conocemos el principio de funcionamiento de tal, para esta selección nos basamos en las necesidades de nuestra máquina las cuales son regulación de velocidad con un par conveniente para vencer la inercia de arranque del equipo.

La alternativa que satisface dichas necesidades es:

- A: Motor CC con excitación en serie

3.4.2 Motor de corriente alterna

A diferencia del motor CC, la fuente que alimenta este dispositivo suministra corriente alterna cuya magnitud y dirección varían cíclicamente realizando un campo magnético intermitente que permite al rotor su libre giro.

Los motores eléctricos rotativos de corriente alterna pueden clasificarse respecto a tres características esenciales:



En la tabla 3.9 se describen las particularidades de los motores de C.A. de una con respecto de otra.

MOTOR DE CORRIENTE ALTERNA		
Por su velocidad de giro	Por el tipo de rotor	Por el número de fases de alimentación
<p align="center">Asíncronos</p> <p>Un motor se considera asíncrono cuando la velocidad del campo magnético generado por el estator supera a la velocidad de giro del rotor. Su principio de funcionamiento se basa en la acción que ejerce sobre el rotor un campo magnético giratorio producido por el devanado estatórico.</p>	<p align="center">Motores de anillos rozantes</p> <p>Las ranuras de la corona rotórica se alojan, por lo general, tres devanados conectados por un punto común.</p> <p>Los extremos libres pueden estar conectados a tres anillos de cobre (anillos rozantes) que giran solidariamente con el eje.</p> <p>Haciendo contacto con los anillos rozantes, se encuentran unas escobillas, generalmente de grafito, que están fijas respecto al estator y que permiten realizar la conexión de los tres devanados rotóricos con el exterior.</p>	<p align="center">Motores monofásicos</p> <p>Ya que no hay campo magnético rotacional en el estator, un motor monofásico de inducción no tiene par de arranque puesto que solo hay una sola fase en el devanado del estator.</p>
<p align="center">Síncronos</p> <p>Un motor se considera síncrono cuando la velocidad del campo magnético del estator es igual a la velocidad de giro del rotor. Este motor tiene la característica de que su velocidad de giro es directamente proporcional a la frecuencia de la red de corriente alterna que lo alimenta.</p>	<p align="center">Motores con colector</p> <p>Los motores de corriente eléctrica a colector encuentran aplicación en muchos campos debido a varias razones</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pueden entregar alta potencia con dimensiones y peso reducidos. 2. Pueden soportar considerables sobrecargas temporales sin detenerse completamente. 3. Se adaptan a las sobrecargas disminuyendo la velocidad de rotación, sin excesivo consumo eléctrico. 4. Producen un elevado torque de funcionamiento. 	<p align="center">Motores bifásicos</p> <p>En este tipo de motor lo único que cambia con respecto al motor monofásico es la alimentación la cual es conectado a dos fases en lugar de una fase y el común.</p>
	<p align="center">Motores de jaula de ardilla</p> <p>En los motores de jaula de ardilla el devanado del rotor está constituido por barras de cobre o de aluminio colocadas en las ranuras de la corona rotórica y unidas en sus extremos a dos anillos del mismo material.</p>	<p align="center">Motores trifásicos.</p> <p>Los motores trifásicos son construidos para velocidades que corresponden directamente con las polaridades del bobinado y la frecuencia de la red. El motor trifásico absorbe de la red la intensidad que necesita, dependiendo de la fase en que se encuentre, por esta razón existen diferentes modos de arranques, para ahorrar energía y preservar el motor.</p>

Figura 3.9 Clasificaciones de motores de CA

En la figura 3.10 se observa los componentes particulares de un motor de C.A., para tener en cuenta a que parte nos estaremos refiriendo en las descripciones posteriores.

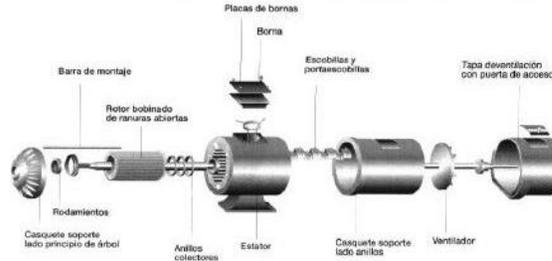


Figura 3.10 Componentes de un motores de CA

Dadas las diferencias en elementos rotativos y de composición eléctrica en los motores de corriente alterna, se presentan características especiales positivas y negativas para cada arreglo; a partir de esto se seleccionará el que más cumpla con los requerimientos del prototipo.

Similitudes y diferencias generales de motores de CA y CC

MOTOR DE CC	MOTOR DE CA
La velocidad aumenta con la tensión aplicada, al disminuir la corriente del inducido y al disminuir el flujo producido por el campo inductor.	Su velocidad depende de la corriente alterna con la que se les alimenta.
La regulación de velocidad se puede hacer de dos formas diferentes: manteniendo constante el flujo y variando la tensión aplicada al inducido o manteniendo constante la tensión y variando el flujo de la excitación.	La única forma de regular su velocidad de giro consiste en alimentarlos a través de variadores electrónicos de frecuencia.
Se pueden conectar en estrella o en triángulo, dependiendo de la tensión de la red.	Dependiendo de cómo se conecte el devanado de excitación respecto al inducido se consiguen diferentes conexiones de motor: motor de excitación independiente, motor de excitación en derivación o shunt, motor de excitación en serie y motor de excitación compound.
El par motor es proporcional a la corriente del inducido y al flujo del campo magnético del inductor.	El par motor depende del campo giratorio.
Se usan mucho en la industria, sobretodo el motor trifásico asíncrono de jaula de ardilla.	Suelen utilizarse cuando se necesita precisión en la velocidad.
Sus partes básicas son: inductor, inducido y colector.	Sus partes básicas son: estator y rotor.
Requieren de mayor mantenimiento al tener más piezas (escobillas, colector, etc.).	El mantenimiento requerido es mínimo.
Diseño para multi – velocidad.	Diseño para velocidad variable utilizando un frecuencímetro.
Se necesita rectificar la onda de alimentación de A.C. a D.C. para gran consumo de corriente.	Con referencia al control, se requiere un control variador de frecuencia para regular la velocidad de giro del rotor.

Figura 3.11 Clasificaciones de motores de CA

Servomotor

Estos motores son muy utilizados en las máquinas herramientas modernas. Con ellos se consiguen movimientos precisos gracias a la regulación y control electrónico que se ejerce sobre ellos. Se trata de un motor de corriente continua de pequeña potencia en el que la excitación se realiza mediante imanes permanentes especiales de tipo cerámico que producen una elevada intensidad de campo magnético. El rotor es similar al de un motor C.D. y es alimentado a través de un colector, con C.D. regulada mediante circuitos electrónicos.

Ratio de inercia

El primer factor clave para dimensionar un servomotor es el ratio del momento de inercia. Cualquier objeto rotando tiene un momento de inercia. El momento de inercia es una medida de lo difícil que es cambiar la velocidad de rotación de un objeto. El momento de inercia de un servosistema puede dividirse en dos partes: inercia del motor e inercia de la carga.

Control

Este tipo de motor requiere de una programación especial y adicional para su óptimo desempeño como motor con alto par de arranque, la programación, normalmente, se realiza mediante microprocesadores (pic's) el cual decodifica la información que nos entrega un sistema de monitoreo posicional, éste puede ser un encoder, ubicado en la zona de control deseado.



Figura 3.11 servomotor y su equipo de control

Matriz de decisión para el sistema motriz

De acuerdo a las características antes mencionadas de cada tipo de motor, es momento de concluir cuál de éstos cumple con los requerimientos de este trabajo con base únicamente en principios generales como son: el par de arranque, alimentación, componentes auxiliares y control sin determinar numéricamente cada uno de éstos, ya que en el capítulo cuatro se realizarán los cálculos necesarios para determinar la potencia necesaria del motor en este dispositivo y así obtener un estimado numérico fundamentado en todas aquellas características referentes a la potencia útil del motor.



Matriz de decisión para el sistema motriz.

Capacidad / Alternativas	Par de arranque	Control de velocidad	Componentes del control de velocidad	Costo	TOTAL
	30%	30%	20%	20%	
"X"	Se requiere un par suficiente para romper la inercia del dispositivo.	Capacidad para controlar la velocidad del motor de acuerdo a la velocidad de salida del perfil.	El acoplamiento del control al dispositivo se busca sea sencillo.	Precio neto del elemento.	

Tabla 3.12 Aquí se describen los aspectos a evaluar para cada alternativa del sistema motriz

Alternativas

- A: Motor DC excitación en serie
- B: Motor CA trifásico síncrono rotor jaula de ardilla
- C: Servomotor

Capacidad / Alternativas	Par de arranque		Control de velocidad		Componentes del control de velocidad		Costo		TOTAL
	30%		30%		20%		20%		
	C	% C	C	% C	C	% C	C	% C	
A	10	3	8	2.4	6	1.2	6	1.2	7.8
B	8	2.4	9	2.7	10	2.0	10	2.0	9.1
C	10	3	10	3	6	1.2	6	1.2	8.4

Tabla 3.12.1 Matriz de selección (sistema motriz)

La mejor opción del sistema motriz es la determinada como **B**, ésta, aunque su par de arranque no es el mejor, tiene un componente de control compacto, económico y de fácil manejo (variador de frecuencia).

3.5 Cinta transportadora (oruga)

Una cinta transportadora es un sistema de transporte continuo formado básicamente por una banda continua que se mueve entre dos soportes cilíndricos (rodillos), ésta es arrastrada por fricción por uno de los rodillos, que a su vez es accionado por un motor, el otro tambor suele girar libre, sin ningún tipo de accionamiento, y su función es servirle de retorno.

Las bandas ocupadas en el proceso de extrusión están fabricadas de diferentes materiales o a su vez confinadas de dos o más, para lograr los requerimientos necesarios en el proceso. Los materiales más utilizados son:

- Poliuretano
- Neopreno
- Uretano
- Pura goma
- Esponja y lienzo

Como el material extrudido presenta relativamente alta temperatura, sólo se hará la comparación entre el poliuretano y el neopreno.



Figura 3.13 Diferentes materiales para la fabricación de bandas transportadora



Poliuretano

La composición de la goma de cubierta es Caucho Natural o SBR. Con frecuencia las bandas transportadoras han de satisfacer requisitos especiales, tales como resistencia a hidrocarburos o a temperaturas extremas, que sólo pueden lograrse con determinados tipos de cauchos sintéticos.

Aplicaciones

Bandas tractoras o extrusoras; Utilizada en la extrusión de tubos de plástico, persianas, plumas de tinta, bombillas, mangueras, perfiles, tuberías, etc. Substratos de banda plana o sincrónica y Poly-V.

Características del poliuretano

- Alta resistencia al desgaste y a la abrasión.
- Alta resistencia a la tracción y al desgarre.
- Muy buena capacidad de amortiguación.
- Muy buena flexibilidad a bajas temperaturas.
- Alta resistencia a grasas, aceites, oxígeno y ozono.
- Es tenaz.
- Excelente recuperación elástica, especialmente cuando se ha reticulado con aditivos específicos.
- Posee un coeficiente de transmisión de calor muy bajo, mejor que el de los aislantes tradicionales, lo cual permite usar espesores menores en aislaciones equivalentes.
- Tiene una excelente adherencia a los materiales normalmente usados en la construcción sin necesidad de adherentes de ninguna especie.
- Tiene una alta resistencia a la absorción de agua.
- Muy buena estabilidad dimensional entre rangos de temperatura desde -200 °C a 100 °C.
- Tiene muy buena resistencia al ataque de ácidos, álcalis, agua dulce y salada, hidrocarburos, etc
- Peso reducido.
- Óptima resistencia al envejecimiento.
- Ausencia de goteo en caso de incendio

Inconvenientes

El inconveniente principal que tienen las espumas de poliuretano, es que son degradadas por los rayos ultravioletas, por lo cual no pueden quedar expuestas a la radiación solar, debiendo ser protegidas de los mismos en el caso de aplicaciones exteriores.

Neopreno o Cloroprenos

Su nomenclatura internacional es “CR” (según normas ASTM), y corresponde al nombre comercial del producto 2-Cloro, 1-3 Butadieno, que es el equivalente al Policloropreno. Fue descubierto hacia 1925 por el químico estadounidense J. Carothers para la firma Dupont. Es el elastómero de uso especial más difundido en todo el mundo, pues sus excelentes propiedades y características garantizan óptimos resultados.

Características del neopreno

- Resiste a la degradación a causa del sol, el ozono y el clima.
- Es resistente a daños causados por la flexión y la torsión.
- Resistencia a la agresión química, tanto en soluciones ácidas como básicas y aceites.
- Su estructura química le confiere gran moldeabilidad al reprocesarlo y presenta gran poder de adhesión.
- su gran poder de adhesión, sobre todo en combinación con acero.
- Sus propiedades mecánicas no se ven afectadas por la vulcanización.
- Resiste altas temperaturas que oscila entre $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Es notoria su resistencia a la flama.
- De gran elasticidad.
- Muy buena capacidad de amortiguación.
- Peso reducido.
- Propiedades mecánicas elevadas.



Figura 3.14 Diferentes configuraciones en la superficie de la banda para la sujeción del perfil

Considerando características específicas sobre las propiedades mecánicas y químicas del material de la cinta transportadora, como resistencia a agentes químicos, resistencia a la flexión y torsión, absorción y elasticidad, se determina la matriz de decisión para dicho componente.

Matriz de decisión de banda transportadora.

Características	Resistencia a temperaturas mayor a 40°	Resistencia a agentes químicos.	Resistencia a la degradación a causa del clima.	Resistencia a daños por torsión y/o flexión.	Costos
Alternativas					
Porcentaje	25	25	15	15	20
"X"	Se busca de la cinta transportadora que soporte dichas temperaturas sin deformación.	Se tomará en cuenta que el refrigerante no siempre es agua natural.	No debe desajustarse la tensión especificada debido a la transferencia de calor del perfil tirado.	Para soportar los cambios de dirección en los rodillos actuadores.	Diferencia monetaria.

Tabla 3.14 Conceptos a evaluar para la selección de bandas

Alternativas.

- a) Neopreno
- b) Poliuretano

Capacidad	Resistencia a temperaturas mayor a 40°		Resistencia a agentes químicos.		Resistencia a la degradación a causa del clima.		Resistencia a daños por torsión y/o flexión.		Costos		TOTAL
	25%		25%		15%		15%		20 %		
	C	% C	C	% C	C	% C	C	% C	C	%C	
a	10	2.5	10	2.5	10	1.5	10	1.5	9	1.8	9.8
b	9	2.25	10	2.5	10	1.5	10	1.5	8	1.6	9.35

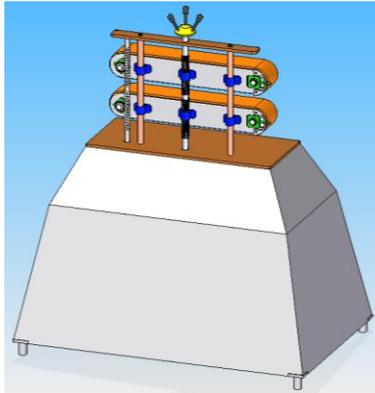
Tabla 3.14.1 Matriz de selección (Material usado en la banda)



Con base en la matriz de decisión de la banda transportadora, observamos que la cinta que cumple con las características y requerimientos establecidos es la alternativa: **a**. Finalmente, a modo de resumen, se menciona la selección de cada componente:

- Sistema de tiro: *Tipo oruga.*
- Sistema de apertura y cierre: *Tornillo doble cuerda.*
- Sistema de transmisión de potencia: *Sinfín doble cuerda-engranes rectos.*
- Sistema motriz: *Motor AC trifásico síncrono rotor jaula de ardilla con variador de velocidad.*
- Cinta transportadora: *Neopreno.*

Con base en la anterior selección de componentes de los diferentes sistemas que componen al dispositivo en cuestión, se llegó a la conclusión de ensamble, acoplamiento y ajuste de piezas periféricas para el óptimo funcionamiento de la máquina como se muestra en la figura 3.15.



Unidad de tiro tipo "Oruga"

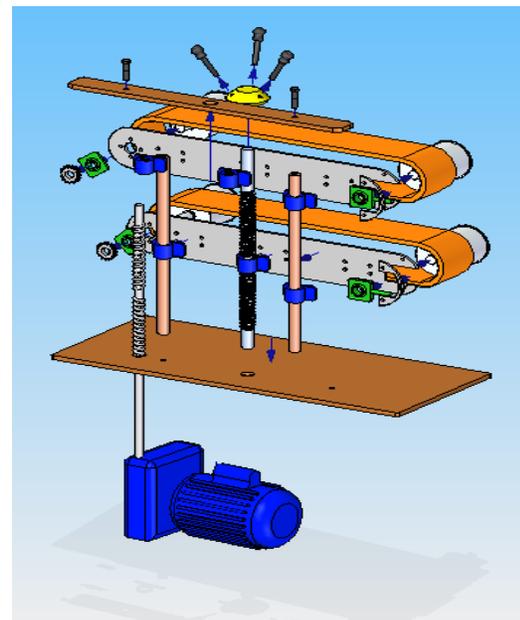
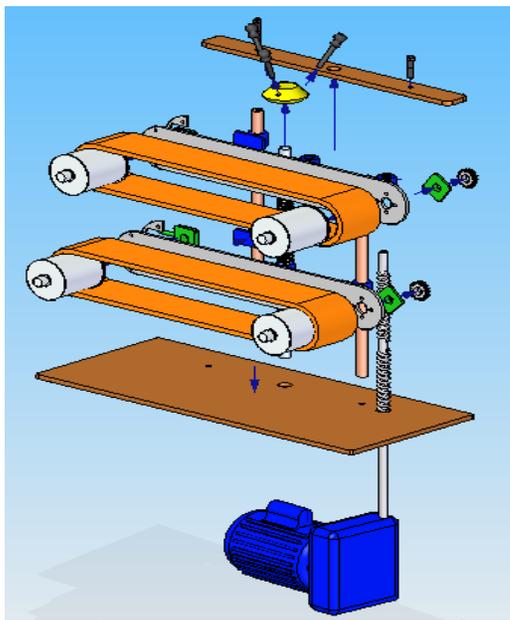
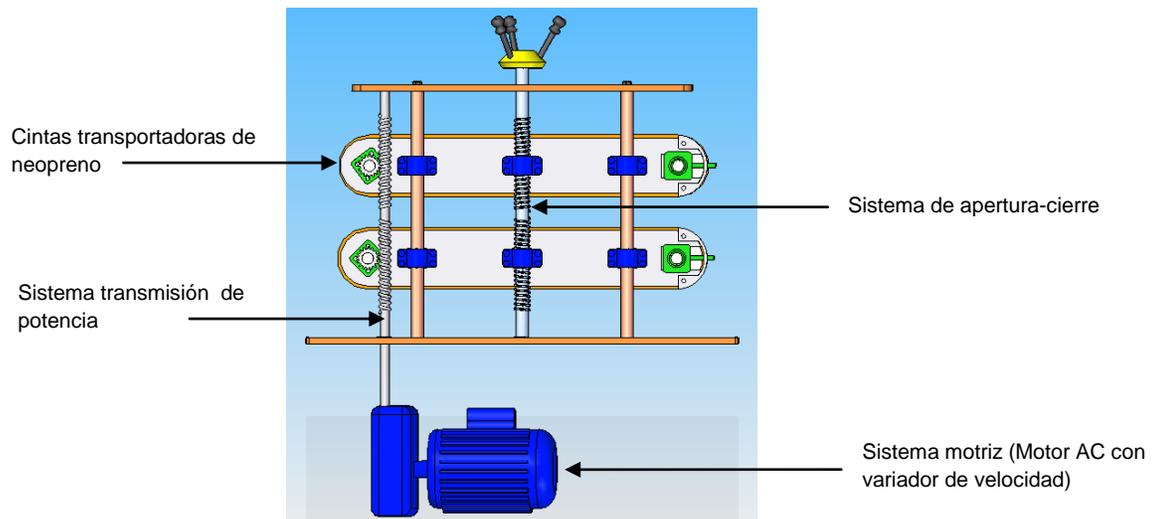
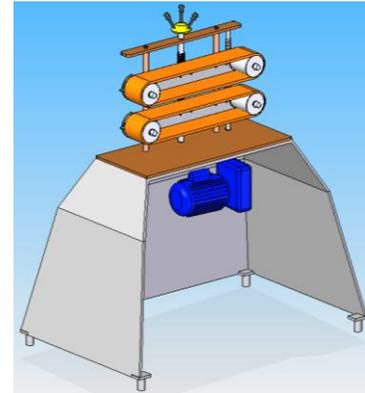


Figura 3.15 Prototipo final de diseño, acoplando todos los componentes seleccionados con anterioridad

CAPÍTULO 4 ANÁLISIS DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN

Como se ha mostrado en los capítulos anteriores, el proceso de extrusión se compone de equipos periféricos mismos que complementan el ciclo de producción de un perfil. En este capítulo se analizará la relación entre ellos con el fin de justificar los componentes y mecanismos determinados en el capítulo 3.

Punto de operación

Basándonos en el libro *Plastics Engineering* [2] del autor R. J. Crawford y la tesis: *Diseño de un dado para perfil anular* [3], donde se analiza el comportamiento reológico en el interior de una extrusora, podemos observar dos ecuaciones que emplearemos para justificar la relación entre la extrusora y la unidad de tiro que se diseña. Dichas ecuaciones se presentan en la siguiente figura (4.1).

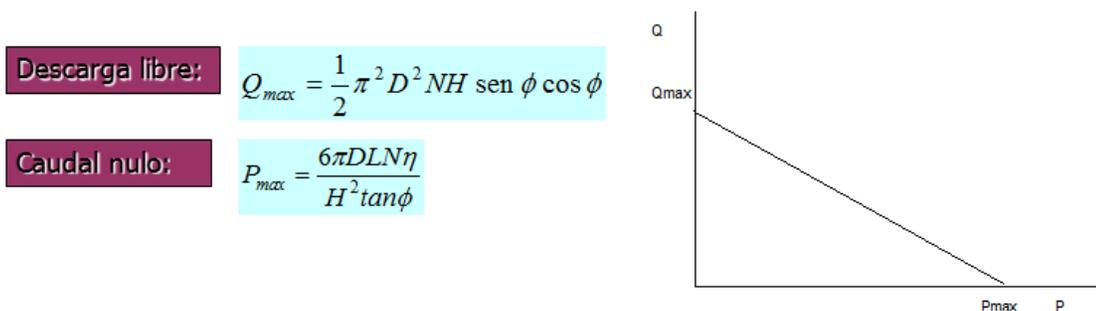


Figura 4.1 Análisis reológico del proceso de extrusión obteniendo el gasto y la presión máxima en dicho proceso [2]

4.1 Cálculo de las velocidades rotacional del husillo

La extrusora marca Nieto tiene la posibilidad de entregarnos tres velocidades de operación distintas, gracias al sistema de poleas que unen al motor con el reductor de velocidades. Para el desarrollo de esta tesis, se trabajó con la velocidad mínima de la extrusora. Se muestran en seguida las velocidades teóricas de operación de la extrusora.

$$V = w * r \quad (4.01)$$

Donde:

$$V = \text{velocidad tangencial}$$

$$w = \text{velocidad angular}$$

$$r = \text{radio de giro}$$

Considerando que no existe deslizamiento entre la banda y la polea $V_1 = V_2$ y la velocidad del motor es 1750 [rpm]

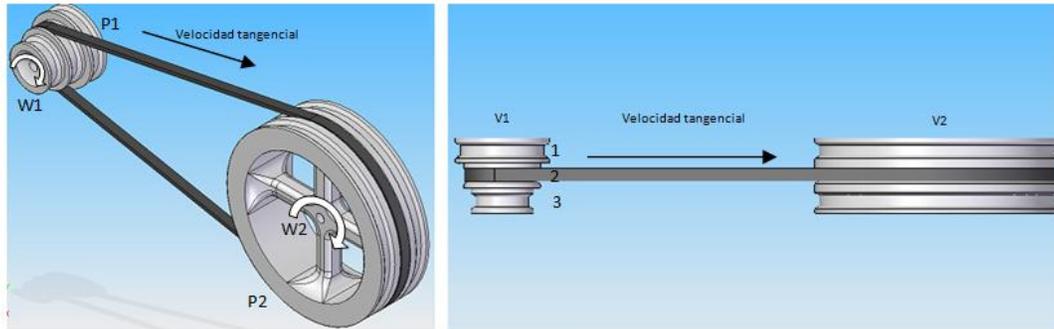


Figura 4.2 Esquema descriptivo de los componentes de transmisión en la extrusora de marca Nieto

$$v = w * r$$

Dado que: $v_1 = v_2 \rightarrow w_1 r_1 = w_2 r_2$

Despejamos w_2 y sustituimos datos:

$$w_2 = \frac{(1750[rpm])(0.0625[m])}{0.2[m]} = 546.87[rpm]$$

Factor de reducción 14:1

$$w_{husillo} = \frac{546.87}{14} = 39.0625 [rpm] \approx 39.1 [rpm]$$

La siguiente tabla 4.1 muestra un resumen de las velocidades de extrusión en la máquina Nieto establecidas como mínima, intermedia y máxima.

	r1 [m]	r2 [m]	w1 [rpm]	V1=V2 [m/s]	w2 [rpm]	velocidad de extrusión 14:1 [rpm]
Caso 1	0.0625	0.20	1750	109.37	546.85	39.1
Caso 2	0.078	0.20	1750	136.5	682.5	48.75
Caso 3	0.09	0.20	1750	157.5	787.5	56.25

Tabla 4.1 Velocidades disponibles en la extrusora NIETO

4.2 Análisis de flujo en la extrusora

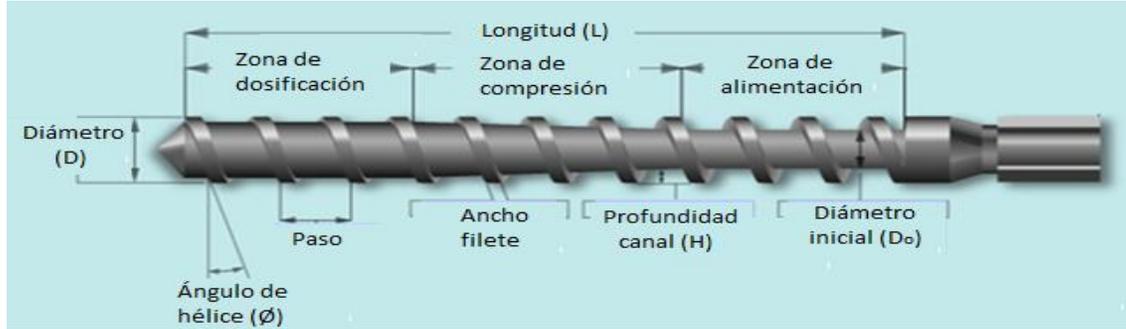


Figura 4.3 Características principales de un husillo [10]

$H=7.85 \text{ mm}$ $D=51 \text{ mm}$ $\phi=17^\circ$ $N=39.1 \text{ RPM}$
 $L=1067 \text{ mm}$ $\eta = 88.46 \text{ poises}$ (viscosidad del polietileno a 210°C)[♦]

Flujo volumétrico que puede entregar el equipo

$$Q_{max} = Q_d = \frac{1}{2} \pi^2 D^2 N H \text{sen} \phi \cos \phi \quad (4.02)$$

$$Q_{max} = Q_d = \frac{1}{2} \pi^2 (0.051)^2 \left(\frac{391}{300} \pi \right) (0.00785) \text{sen} 17^\circ \cos 17^\circ = 1.153 \times 10^{-4} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

Ahora la presión máxima se obtiene

$$P_{max} = \frac{6\pi D L N \eta}{H^2 \tan \phi} \quad (4.03)$$

$$\Delta P = P_{max} = \frac{6\pi (0.051) (1.067) (39.1) \left(\frac{2\pi}{60} \right) (88.46)}{(0.00785)^2 \tan 17^\circ} = 19.7 \text{ (MPa)}$$

Pérdidas del flujo volumétrico debido a la presión permisible y viscosidad del material

$$Q_p = \frac{\pi D H^3 \text{sen}^2 \phi \Delta P}{12 L \eta} \quad (4.04)$$

$$Q_p = \frac{\pi (0.051) (0.00785)^3 \text{sen}^2 17^\circ \left(\frac{18.1 \times 10^6}{88.46} \right)}{12 (1.067)} = 1.0589 \times 10^{-4} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

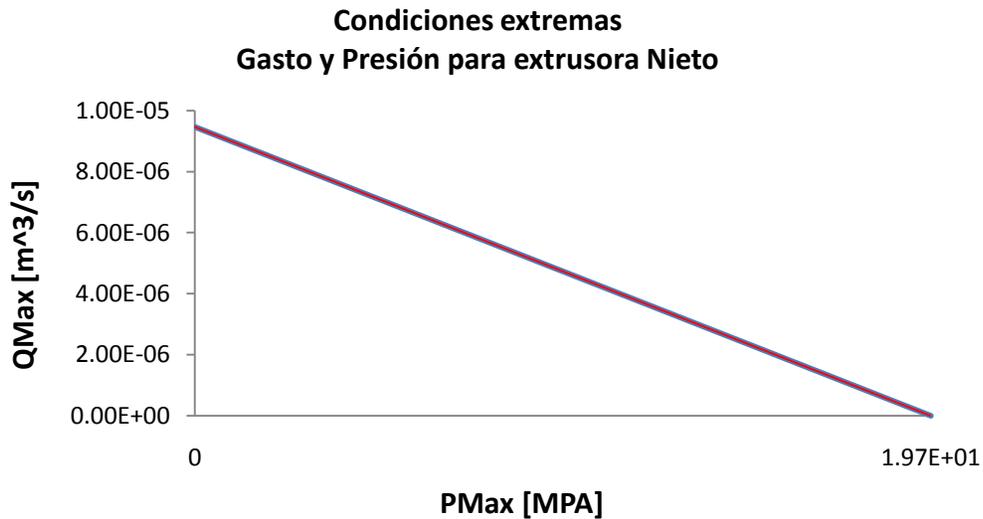
[♦] Datos calculados con la Ecuación de Arrhenius, a partir de los datos según referencia [11]

Flujo volumétrico total a la salida del extrusor en una descarga libre considerando pérdidas

$$Q = \frac{1}{2} \pi^2 D^2 N H \sin \phi \cos \phi - \frac{\pi D H^3 \sin^2 \phi \Delta P}{12 L \eta}$$

$$Q = 1.153 \times 10^{-4} - 1.0589 \times 10^{-4} = 9.41 \times 10^{-6} \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

Utilizando las cantidades obtenidas anteriormente de presión y caudal en descarga libre con el efecto que causa el PE en cada una de ellas, obtenemos la curva característica del extrusor. Gráfica 4.1



Gráfica 4.1. Representación de las condiciones extremas al operar la extrusora Nieto

Con los puntos críticos obtenidos determinamos ecuación que caracteriza el proceso en los casos extremos:

$$Q_{extrusor} = -4.77610^{-7}(P) + 9.4087 \times 10^{-6}$$

Sin embargo el gasto bajo condiciones extremas de operación del equipo no es el mismo cuando se tiene un dado específico; Éste será determinado basándonos en la geometría del perfil (Tabla 4.2), lo que nos restringirá el gasto a la salida de la extrusora que posteriormente será maniobrada por la unidad de tiro.

PERFIL	K_s	VARIABLES
Circular	$\frac{\pi R^4}{8L}$	R: radio L: longitud
Anular	$\frac{\pi R_0^4}{8L} \left[1 - R^4 - \frac{(1 - R^2)^2}{\ln\left(\frac{1}{R}\right)} \right]$	R_0 : radio exterior R_i : radio interior $R = R_i / R_0$
Rectangular	$\frac{(1 - 0.65H/W)WH^3}{12L}$	W: anchura H: altura
Troncocónica	$\frac{\pi r_0^4 3 \left(\frac{R_0}{r_0} - 1 \right)}{(8L) \left(1 - \left(\frac{r_0}{R_0} \right)^3 \right)}$	R_0 : radio de entrada r_0 : radio salida



Tabla 4.2 Flujo volumétrico en función de la geometría de salida del dado. Dependiendo del dado a utilizar se obtendrá diferente gasto, debido a las restricciones que genera el diseño del mismo [6]

4.3 Punto de operación

La operación de un extrusor depende tanto del husillo como del dado. La interacción del extrusor y su dado pueden comprenderse observando sus respectivas “curvas características”, [4]. Figura 4.4.

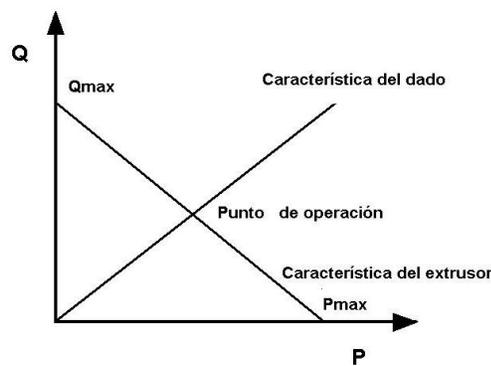


Figura 4.4 Interacción entre las líneas características del tornillo y del dado

Sabiendo que en la extrusora Nieto cuenta con un dado de tipo anular [11] y un dado tipo circular, se procederá a calcular el flujo volumétrico para cada dado bajo condiciones de operación máxima con lo que obtendremos la curva característica para cada dado y posteriormente la velocidad máxima del perfil a la salida en cada dado y así podremos asegurar la utilidad del carro de arrastre en el límite de operación para cada dado.



Dado tipo anular

El flujo volumétrico se puede obtener utilizando la siguiente ecuación:

Flujo volumétrico en la salida del dado anular

$$Q_{\text{dado anular}} = K_B \left(\frac{\Delta P}{\eta} \right) \tag{4.05}$$

$$K_B = \frac{\pi R_0^4}{8L} \left[1 - R^4 - \frac{(1 - R^2)^2}{\ln\left(\frac{1}{R}\right)} \right]$$

Dónde:

$$R = \frac{R_i}{R_0}$$

R_i =radio anular interior R_0 =radio anular exterior L =longitud de la boquilla

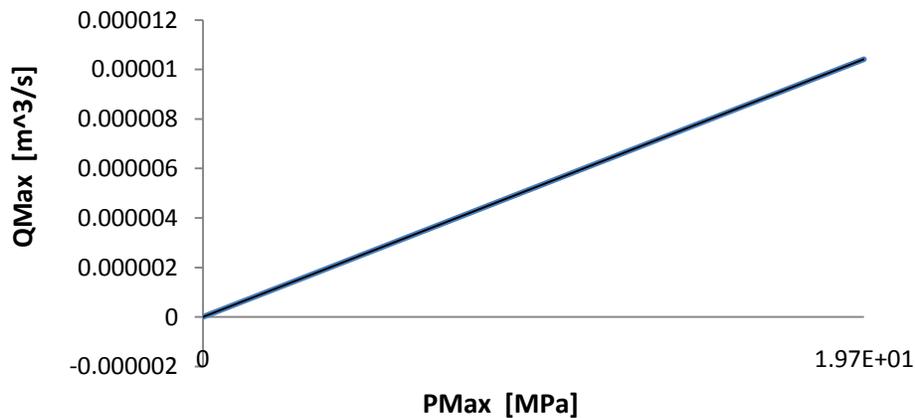
$$R = \frac{0.00275 \text{ m}}{0.00325 \text{ m}} = 0.84615 \quad R_i=0.00275 \text{ m} \quad R_0=0.00325 \text{ m} \quad L=0.00418 \text{ m}$$

$$K_B = \frac{\pi(0.00325)^4}{8(0.00418)} \left[1 - (0.84615)^4 - \frac{(1 - (0.84615)^2)^2}{\ln\left(\frac{1}{0.84615}\right)} \right] = 4.67 \times 10^{-11} (\text{m}^3)$$

Finalmente el flujo volumétrico

$$Q_{\text{dado anular}} = 4.67 \times 10^{-11} \left(\frac{19.7 \times 10^6}{88.46} \right) = 1.04 \times 10^{-5} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

Curva característica del dado anular bajo condiciones extremas

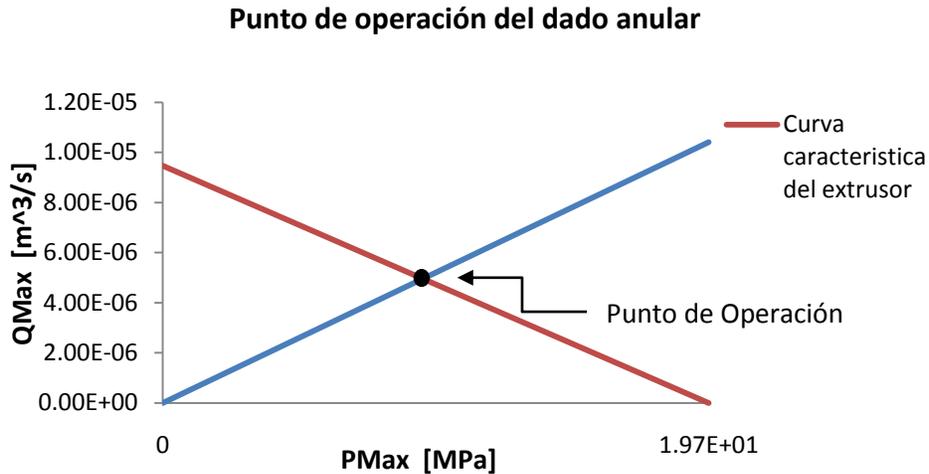


Gráfica 4.2 Curva característica del dado anular bajo condiciones extremas

Y la ecuación de la curva característica para el dado anular es:

$$Q = (5.279 \times 10^{-7})P$$

Superponiendo las curvas características obtenemos el punto de operación del dado en cuestión, tal como lo muestra la Gráfica 4.3



Gráfica 4.3 Punto de operación del dado anular

Igualando las dos ecuaciones en función de una variable, conocemos las coordenadas del punto de operación:

$$Q_{extrusor} = -4.77610^{-7}(P) + 9.4087 \times 10^{-6}$$

$$Q_{dado} = (5.279 \times 10^{-7})(P)$$

Resolviendo el sistema obtenemos:

$$Q_{operación\ dado\ anular} = 4.94 \times 10^{-6} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$P_{operación\ dado\ anular} = 9.357 [Mpa]$$

Dado tipo circular

El flujo volumétrico para el caso circular se puede obtener utilizando la siguiente ecuación:

$$Q_{dado\ circular} = K_B \left(\frac{\Delta P}{\eta} \right) \tag{4.06}$$

$$K_B = \frac{\pi R^4}{8L}$$



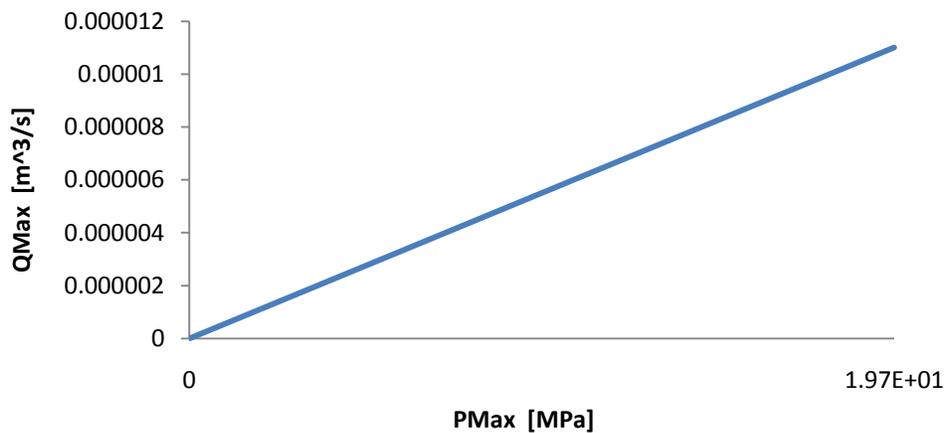
Donde: R= radio de boquilla = 0.0012 m L=longitud de la boquilla= 0.0164 m

$$K_B = \frac{\pi(0.0012)^4}{8(0.0164)} = 4.9393 \times 10^{-11} (m^3)$$

Finalmente, es flujo volumétrico es:

$$Q_{\text{dado circular}} = 4.9393 \times 10^{-11} \left(\frac{19.7 \times 10^6}{88.46} \right) = 1.1 \times 10^{-5} \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

Curva característica bajo condiciones extremas del dado circular



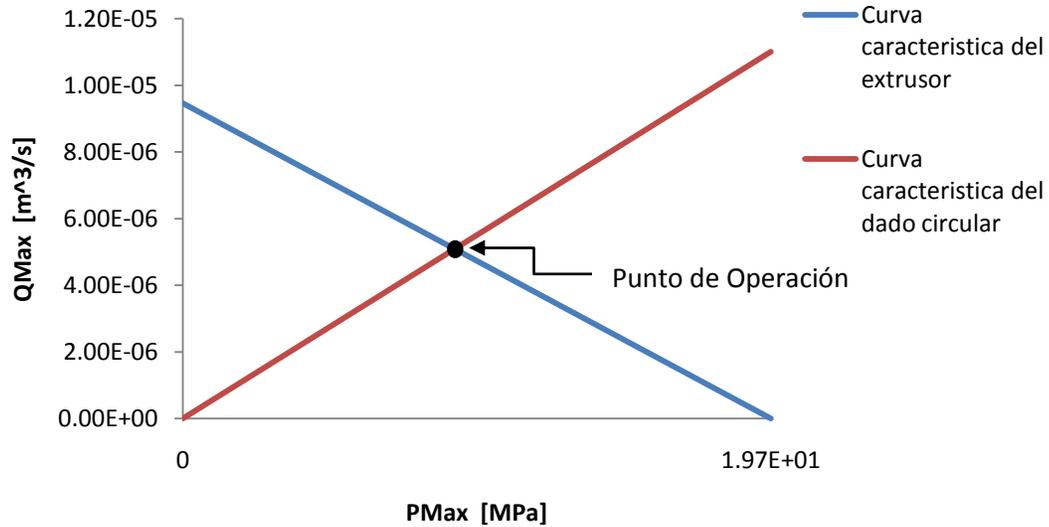
Gráfica 4.4 Curva característica bajo condiciones extremas del dado circular

Y la ecuación de la curva característica para el dado circular es:

$$Q = 5.583 \times 10^{-7} (P)$$

Superponiendo las curvas características obtenemos el punto de operación del dado circular, tal como lo muestra la Figura 4.5.

Punto de operación del dado circular



Gráfica 4.5 Punto de operación del dado circular

Igualando las dos ecuaciones en función de una variable, conocemos las coordenadas del punto de operación:

$$Q_{extrusor} = 4.77610^{-7}(P) + 9.4087 \times 10^{-6}$$

$$Q_{dado} = 5.583 \times 10^{-7}(P)$$

Resolviendo el sistema obtenemos:

$$Q_{operación\ dado\ circular} = 5.07 \times 10^{-6} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$P_{operación\ dado\ circular} = 9.08 [Mpa]$$

En resumen tenemos las siguientes condiciones de frontera para el diseño de un dado con el fin de determinar el rango de operación del carro de arrastre en función del área proyectada del dado de la extrusora. Tabla 4.2.

Caso		P _{Operación} [MPa]	Q _{Operación} $\left[\frac{m^3}{s} \right]$
1	Condición de frontera 1 "Descarga Libre"	0	9.408x10 ⁻⁶
2	Dado Circular	9.08	5.07x10 ⁻⁶
3	Dado Anular	9.39	4.96x10 ⁻⁶
4	Condición de frontera 2 "Descarga nula"	19.7	0

Tabla 4.3. Condiciones de frontera de los dados existentes y máquina extrusora

Conociendo las limitantes con respecto al área frontal de un dado, continuamos con el cálculo de las velocidades a la entrada de la unidad de tiro con base al flujo de operación para cada caso.

De la siguiente ecuación podemos calcular la velocidad lineal a la salida de cada dado

$$Q=AV \tag{4.07}$$

Dónde:

A=área de salida en la boquilla

V=velocidad lineal de salida del perfil

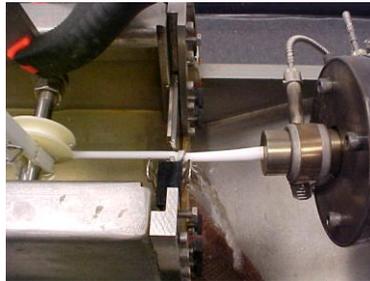


Figura 4.5. Representación de la velocidad lineal del perfil extrudido

Despejando la velocidad

$$V = \frac{Q}{A}$$

Caso 3: Dado anular

$$V = \frac{Q}{\pi(R_o^2 - R_i^2)}$$

$$V = \frac{4.96 \times 10^{-6}}{\pi(0.00325^2 - 0.00275^2)} = 0.5259 \left(\frac{m}{s} \right)$$

Fuerza del perfil

$$P = \frac{F}{A} \tag{4.08}$$

Despejando F de la ecuación tenemos:

$$F = PA$$

Ahora podemos calcular la fuerza del perfil:

$$F = (P) \left(\pi(R_o^2 - R_i^2) \right) = (9.39 \times 10^6) \left(\pi(0.00325^2 - 0.00275^2) \right) = 88.5 \text{ N}$$

4.3 Cálculo de potencia del motor

Dependiendo de la potencia entregada por la extrusora, se calcula la potencia a la entrada del carro de arrastre con la ecuación (4.09)

$$Pot = FV \tag{4.09}$$

Donde:

- F = Fuerza obtenida
- V = Velocidad lineal del perfil

$$Pot = (88.5)(0.5259) = 46.55 [W]$$

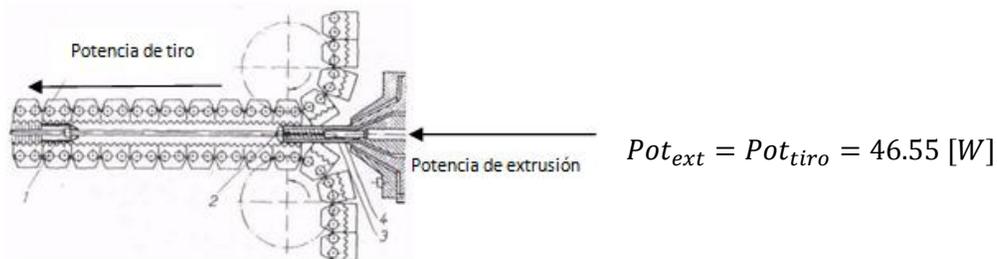


Figura 4.6 Equivalencia entre potencia del extrusor con respecto a la potencia de arrastre

Esta potencia es la que tendrá a la entrada el jalador, por lo que el cálculo de velocidades y factor de reducción empleando la ecuación (4.01) para el jalador es:

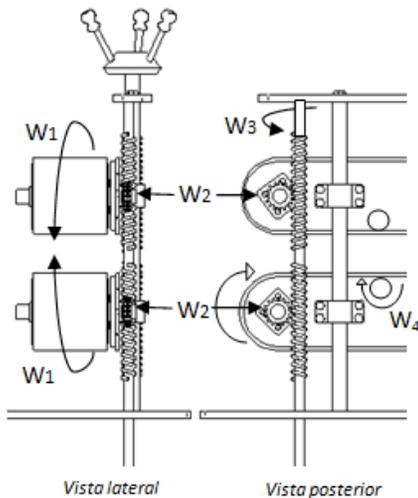


Figura 4.7 Sentido de giro de los elementos rotativos del carro de arrastre

$$V_1 = 0.5259 \frac{m}{s} \quad \phi_1 = 0.1 m \quad \phi_3 = 0.02m$$

$$\text{Engrane: } Z = 15 \quad \phi_2 = 0.038 m$$

$$\phi_4 = 0.03 m$$

Dado que 1 y 2 están en el mismo eslabón:

$$W_1 = W_2$$

$$W_1 = \frac{V_1}{r_1} = \frac{0.5259 \frac{m}{s}}{0.05m} = 10.51 \frac{rad}{s}$$

Luego:

$$W_1 = W_2 = \frac{V_2}{r_2} \quad V_2 = W_2 * r_2$$

$$V_2 = 0.1997 \frac{m}{s}$$



Para W_4 tenemos:

$$W_4 = \frac{V_4}{r_4} = \frac{V_1}{r_4}$$

$$W_4 = \frac{V_1}{r_4} = \frac{0.5259 \frac{m}{s}}{0.015 m} \rightarrow W_4 = 35.06 \frac{rad}{s}$$

Velocidad angular en el Engrane – Sinfín

Sabemos que:

$$W_2 = 10.51 \frac{rad}{s} = 100.45 rpm$$

El engrane gira a 139.8 rpm y la relación de acople Engrane - Sinfín es:

$$Relación_{sinfín-engrane} = \frac{No. de dientes del engrane}{No. de cuerdas del sinfín} \quad (4.10)$$

$$Re_{S-E} = \frac{15}{1}$$

Velocidad angular del Sinfín:

$$W_{SF} = Re_{S-E} * W_E$$

$$W_{SF} = \frac{15}{1} * 100.45 rpm \quad W_{SF} = 1506.75 rpm = 157.78 \frac{rad}{s}$$

Cálculo de pérdidas

Conocemos ya la potencia del material a la salida de la extrusora la cual debe ser la misma que el jalador sea capaz de tirar a la entrada del carro de arrastre; sin embargo, la potencia entregada a la entrada del carro de arrastre no es la nominal que el motor nos entrega debido a las pérdidas que por elementos rotativos se presentan.

Usando la ecuación de potencia mecánica para mecanismos rotativos

$$Pot = Hw \quad (4.11)$$

- H = Par mecánico
- w = Velocidad angular

Para conseguir el par que debe ejercer la unidad de tiro al perfil despejamos de la ecuación (4.11) a **H** para posteriormente se procede a resolver.

$$H = \frac{Pot}{w}$$

Conocemos también que la Energía Cinética de un cuerpo rígido está dada por:

$$T = \frac{1}{2} m V + \frac{1}{2} I \omega^2 \tag{4.12}$$

Puesto que cada elemento tiene únicamente movimiento angular:

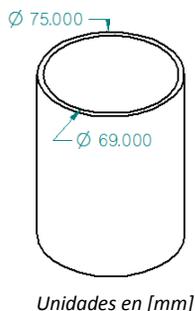
$$\cancel{T = \frac{1}{2} m V + \frac{1}{2} I \omega^2} \quad \rightarrow \quad T = \frac{1}{2} I \omega^2$$

Donde:

$$I_{cilindro} = \frac{1}{2} m r^2 \quad y \quad I_{cilindro\ hueco} = \frac{1}{2} m (r_1^2 + r_2^2) \tag{4.13} \text{ y } \tag{4.14}$$

Con base en las ecuaciones (4.12), (4.13) y (4.14), proseguimos a calcular el momento de inercia, energía cinética y finalmente la energía necesaria para poner en movimiento cada elemento rotativo.

RODILLOS PRINCIPALES



$$I = \frac{1}{2} (1.2)(0.0375^2 + 0.0345^2) = 1.558 \times 10^{-3} [Kg\ m^2]$$

$$T = \frac{1}{2} (1.558 \times 10^{-3} [Kg\ m^2]) \left(10.519 \left[\frac{rad}{s} \right] \right)^2 = 0.0862 [Nm]$$

$$T_{rodillo} = 0.0862 [Nm]$$

$$T_{4\ rodillos} = 0.0862 * 4 = 0.3448 [Nm]$$

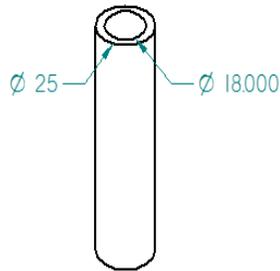
De la ecuación (4.11) concluimos:

$$P = H w = T w \left\{ \begin{array}{l} T = \text{Energía necesaria para mover a los elementos} \\ w = \text{Velocidad angular de giro de la pieza en cuestión} \end{array} \right.$$

Sustituyendo los valores calculados con anterioridad obtenemos la potencia necesaria para mover dichos elementos

$$P = (0.3448 [Nm]) \left(10.5192 \left[\frac{rad}{s} \right] \right) \quad P = 3.6268 [W]$$

RODILLOS DE SOPORTE



Unidades en [mm]

$$I = \frac{1}{2} (0.2) (0.0125^2 + 0.009^2) = 2.37 \times 10^{-5} [Kg m^2]$$

$$T = \frac{1}{2} (2.37 \times 10^{-5} [Kg m^2]) \left(35.06 \left[\frac{rad}{s} \right] \right)^2 = 0.0145 [Nm]$$

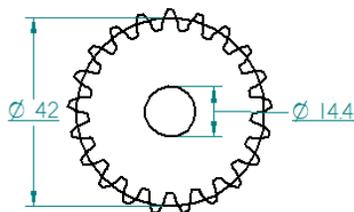
$$T_{rodillo\ soporte} = 0.0145 [Nm]$$

Se tienen 6 rodillos como soporte a lo largo de la banda, por lo tanto:

$$T_{6\ rodillos} = 0.0145 * 6 = 0.0875 [Nm]$$

$$P = (0.0875 [Nm]) \left(35.06 \left[\frac{rad}{s} \right] \right) \quad P = 3.067 [W]$$

ENGRANES



Unidades en [mm]

$$I = \frac{1}{2} (0.2) (0.021^2 + 0.0072^2) = 4.9223 \times 10^{-5} [Kg m^2]$$

$$T = \frac{1}{2} (4.9223 \times 10^{-5} [Kg m^2]) \left(10.51 \left[\frac{rad}{s} \right] \right)^2$$

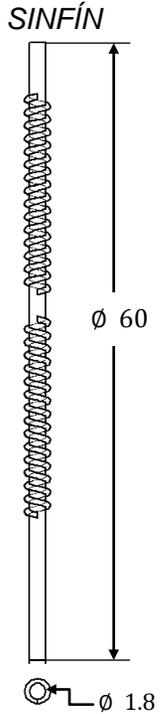
$$T_{engrane} = 2.726 \times 10^{-3} [Nm]$$

Se tienen 2 engranes acoplados entre ellos, por lo que la energía necesaria para moverlos es:

$$T_{2\ engranes} = 2.726 \times 10^{-3} * 2 = 5.452 \times 10^{-3} [Nm]$$

Sustituyendo los valores obtenidos obtenemos la potencia necesaria para mover dichos elementos

$$P = (5.452 \times 10^{-3} [Nm]) \left(10.51 \left[\frac{rad}{s} \right] \right) \quad P = 0.057 [W]$$



Unidades en [cm]

Para determinar el momento de inercia del sinfín utilizamos la ecuación (4.12)

$$I = \frac{1}{2}(2.7)(0.018/2)^2 = 1.09 \times 10^{-4} [Kg \ m^2]$$

$$T = \frac{1}{2}(1.09 \times 10^{-4} [Kg \ m^2]) \left(157.79 \left[\frac{rad}{s}\right]\right)^2$$

$$T_{sinfín} = 1.357 [Nm]$$

Sustituyendo los valores obtenidos obtenemos la potencia necesaria para mover el elemento en cuestión:

$$P = (1.357 [Nm]) \left(157.79 \left[\frac{rad}{s}\right]\right) \quad P = 214.1 [W]$$

Teniendo calculadas las potencias necesarias para mover cada elemento rotativo, sumamos algebraicamente cada una de éstas para conocer cuál es la potencia solicitada por la máquina, cabe mencionar que se debe sumar también la potencia de tiro (potencia de salida) para así obtener la potencia teórica total ($P_{Teórica}$) a emplear.

$$P_{máquina} = P_6 \text{ rodillos} + P_4 \text{ rodillos} + P_2 \text{ engranes} + P_{sinfín}$$

$$P_{máquina} = 3.067 + 0.3448 + 0.057 + 214.1 \quad \rightarrow \quad P_{máquina} = 217.54 [W]$$

Luego, la potencia a la entrada del carro de arrastre debe ser suficiente para tirar al perfil en proceso.

Para el perfil de tipo anular se tiene que la potencia de salida del extrusor es de 152.74 [Nm]

$$P_{Teórica} = P_{máquina} + P_{salida}$$

$$P_{Teórica 1} = 217.54 [W] + 46.55 [W] \quad \rightarrow \quad P_{Teórica 1} = 264.12 [W]$$



Para obtener la potencia real del motor, se calcularán las pérdidas de potencia en los rodamientos debidas a la fricción, posteriormente, se sumarán a la potencia teórica.

4.3.1 Cálculo de pérdida de potencia en los rodamientos

Puesto que se cuenta con rodamientos en distintas partes del mecanismo, proseguiremos a calcular las pérdidas de potencia del rodamiento en cada una de ellas, consecuentemente se contabilizará el total de las mismas para así obtener la potencia real (P_{Real}) solicitada por el carro de arrastre.

Las especificaciones de los rodamientos utilizados en el montado del equipo se encuentran en el anexo de esta tesis y los cálculos empleados para determinar momentos de inercia se realizaron con apoyo del software contenido en la página del proveedor^[5] y un *diagrama de estimación de la viscosidad cinemática mínima a la temperatura de funcionamiento*^[5] ubicado en el mismo anexo.

Se puede obtener la pérdida de potencia de un rodamiento como resultado de la fricción del mismo usando la ecuación

$$N_R = 1,05 \times 10^{-4} Mn \quad (4.15)$$

donde

N_R = pérdida de potencia, W

M = momento de fricción total del rodamiento, Nmm

n = velocidad de giro, rpm

Para calcular con precisión la fricción de un rodamiento, se deben tener en cuenta cuatro fuentes diferentes:

$$M = M_{rr} + M_{sl} + M_{seal} + M_{drag} \quad (4.16)$$

Donde

M = momento de fricción total, Nmm

M_{rr} = momento de fricción por rodadura, Nmm

M_{sl} = momento de fricción por deslizamiento, Nmm

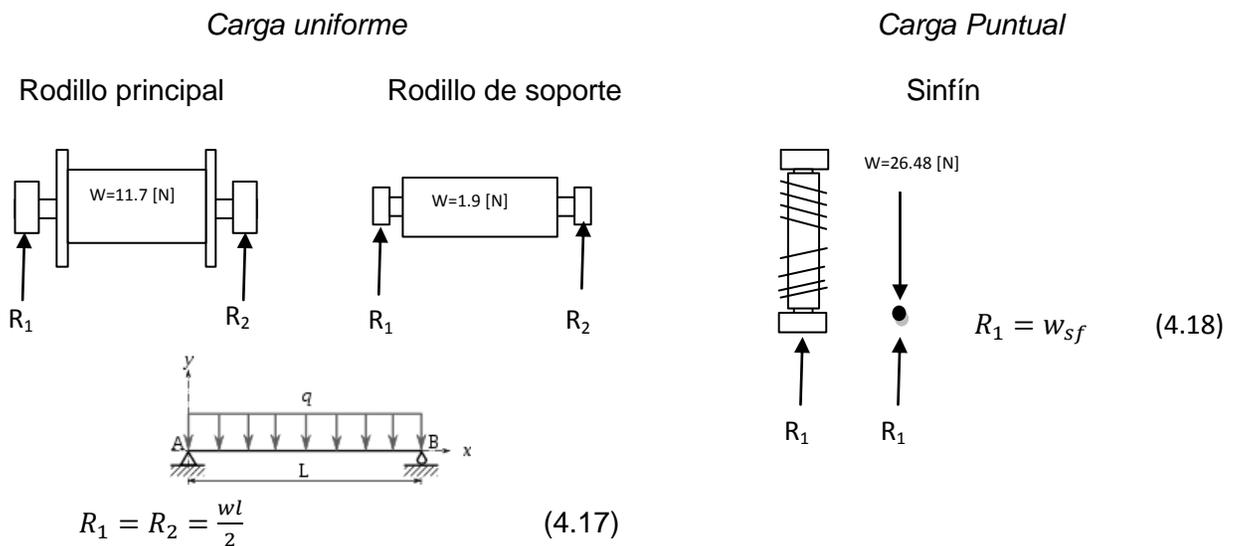
M_{seal} = momento de fricción de la(s) obturación(es), Nmm

M_{drag} = momento de fricción de las pérdidas de energía, agitación, salpicadura, etc, Nmm

Cabe mencionar que las cargas que actúan sobre un rodamiento se pueden calcular de acuerdo con las leyes de la mecánica siempre que se conozcan o se puedan determinar las fuerzas externas. Cuando se calculan las componentes de carga para un rodamiento individual, el eje se considera como una viga que descansa sobre soportes rígidos y no sometidos a momentos, a efecto de simplificar los cálculos. Tampoco se tienen en cuenta las deformaciones elásticas en el rodamiento, el soporte o bastidor de la máquina, ni los momentos producidos en el rodamiento como resultado de la flexión del eje.

Diagramas de cuerpo libre para los elementos con rodamientos

Apoyos simples:



Resultados

$$F_R = R_{principal\ 1} = R_{principal\ 2} = \frac{11.7[N] * 0.12[m]}{2} = 0.853 [N]$$

$$F_R = R_{soporte\ 1} = R_{soporte\ 2} = \frac{1.9[N] * 0.12[m]}{2} = 0.117 [N]$$

$$F_A = R_{sinfin\ 1} = w_{sf} = 26.48 [N]$$

Con estos resultados, podemos calcular el momento de fricción total [M] y las pérdidas de potencia por fricción en cada rodamiento con el apoyo del software antes mencionado ^[5], las hojas con los resultados puntuales se encuentran en el anexo de esta tesis.



Caso: Rodillo principal

$$N_R = 1.05 \times 10^{-4} Mn$$

$$M = 0.0896 \text{ [Nmm]} \quad n = 100.45 \text{ [rpm]}$$

Puesto que son 8 rodamientos bajo las mismas condiciones:

$$N_{1R} = 9.42 \times 10^{-4} \text{ [W]} \quad \rightarrow \quad N_{8R} = \mathbf{0.0075 \text{ [W]}}$$

Finalmente, la pérdida de potencia en 8 rodamientos bajo las condiciones determinadas es de **$N_{8R} = 0.0075 \text{ [W]}$** .

Se muestra ahora una tabla, a modo de resumen, de los resultados obtenidos bajo la premisa del resultado anterior.

Rodamiento	F _R [N]	F _A [N]	M [Nmm]	N _R [W]	N _R TOTAL [W]
Principal (8)	0.853	0	0.0896	9.45×10^{-4}	0.0075
Soporte (12)	0.117	0	0.00887	3.11×10^{-4}	3.74×10^{-3}
Sinfín (2)	0	26.48	3.51	0.555	1.11
				TOTAL DE PÉRDIDAS	1.122

Tabla 4.4 Pérdida individual y total en los elementos rotativos a causa de los rodamientos

Finalmente, la potencia real del motor calculada es:

$$P_{Real} = P_{Teórica} + P_{pérdidas}$$

$$P_{Real} = 264.12 + 1.122 \quad \rightarrow \quad P_{Real} = \mathbf{265.242 \text{ [W]}}$$

Esta potencia es la requerida para un dado tipo anular en operación, en seguida se muestra un resumen general de la disposición del motor y velocidades de los elementos rotativos para las condiciones de frontera definidas.

Cabe destacar que el caso hipotético mostrado en la tabla 4.6 expone los resultados en condiciones *límite* a la frontera estimados con base en la tendencia de un dado circular ya que si utilizamos las condiciones establecidas en la tabla 4.3, para el caso 4, los resultados no mostrarían la tendencia deseada en el rango de operación de la máquina de tiro.



Los datos de $Q_{Hip\ Máx}$ y $A_{Frontal}$ se propusieron con base en la tendencia de la tabla siguiente.

Tendencia de valores a presión máxima en función del área frontal del dado			
	$P_{Máxima}$ [MPa]	$Q_{Máximo}$ $\left[\frac{m^3}{s}\right]$	Área frontal $[m^2]$
Descarga Libre	19.7	9.41×10^{-6}	2.2062×10^{-3}
Dado Anular	19.7	1.04×10^{-5}	1.017×10^{-5}
Dado Circular	19.7	1.1×10^{-5}	9.425×10^{-6}
TENDENCIA	Cte.	Crece	Decrece

Tabla 4.5 Tendencia del caudal en función del área frontal del dado

Los datos para $Q_{Hip.oper}$ y $P_{Hip.oper.}$ se dan a partir de un procedimiento igual al caso 2 desarrollado con anterioridad.

Los datos de entrada para el caso 4 hipotético son:

$$Q_{Hip\ Máx} = 1.2 \times 10^{-5} \left[\frac{m^3}{s}\right] \quad P_{Máx} = 19.7 \text{ [MPa]} \quad Q_{Hip.oper} = 5.29 \left[\frac{m^3}{s}\right]$$

$$P_{Hip.oper.} = 8.7 \text{ [MPa]} \quad A_{Frontal} = 5 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]}$$

Caso	$V_{salida\ extr}$ $\left[\frac{m}{s}\right]$	F_{salida} [N]	$Pot_{sal\ extr}$ [W]	$Pot_{máquina}$ [W]	$Pot_{teórica}$ [W]	Nr_{Total} [W]	$VPot_{Real}$ [W]
1	0.0043	0	0	0.00012	0.00012	0.00915	0.0092
2	0.5	92.69	46.38	192.7	239.13	1.068	240.2
3	0.526	88.5	46.5	221.54	268.09	1.122	269.2
4 HIPOTÉTICO	1.05	43.4	46	1804.12	1850.13	2.25	1852.39

Tabla 4.6 Resultados de salida para los casos posibles e hipotético en esta tesis

Sabemos que para determinar la velocidad de salida del perfil, y en consecuencia la potencia del mismo, dependemos de forma indirectamente proporcional al área frontal del dado de acuerdo con la ecuación 4.07.



4.3.2 Factor de seguridad

Es necesario considerar diversos factores cuando se está determinando si un sistema motriz será capaz de sobreponerse a las resistencias durante el arranque:

- Eficiencia del ensamble de engranajes.
 - En general, las pérdidas incurridas por el traspaso de potencia a través de engranes están en derredor del 2% y 4%.
- Eficiencia del acoplamiento hidráulico (deslizamiento).
 - El dispositivo no cuenta con sistemas hidráulicos.
- Pérdidas de línea entre el controlador y el motor.
 - Las pérdidas eléctricas que ocurren entre el controlador del motor y el motor típicamente son posibles de calcular. Los valores típicos son del orden de 2 a 5% al establecer factores tales como las caídas de tensión.
- Consideración de pérdidas por correas con accionamientos planos.
 - A menudo ignorada, la fricción de arranque puede ser significativa, especialmente cuando se están analizando correas planas (horizontales). Es una práctica común en la industria el multiplicar el coeficiente de fricción de la banda por un factor de 1.1 a 1.5 para calcular las condiciones de arranque.

Al tener en cuenta los diversos factores de reducción, puede sostenerse con cierto grado de certidumbre que es posible utilizar un factor de seguridad en derredor de los rangos determinados en cada elemento, entre 10% y 15%; sin embargo, teniendo en cuenta que el motor tiene un arranque con carga plena se determinó utilizar un factor de seguridad del 20% (0.2).

La potencia real calculada es con el factor de seguridad determinado incluido es:

$$P_{Real} = 265.242 \times 1.2 [W] \quad \rightarrow \quad P_{Real} = 318.3 [W]$$

El resultado anterior corresponde a **0.42 [Hp]**, puesto que no hay potencia en ese valor, se tomó el valor posterior inmediato: **0.5 [Hp]**.



Con base en los resultados obtenidos, determinamos que la potencia suficiente y necesaria del motor para la máquina de tiro es de $\frac{1}{2} Hp$, sin embargo, se determinó emplear un motor de $\frac{3}{4} Hp$ con el fin de no limitar las posibilidades con respecto a diseños de dados y operación de la máquina extrusora, lo cual deja las puertas abiertas para futuros proyectos.

Como hemos comprobado, la dependencia de la potencia y velocidad lineal del perfil extrudido está en función del área frontal, se muestra a continuación los límites mínimos, en el diseño de futuros dados, del área frontal del mismo para cada caso.

	Potencia total de la máquina [W]	Potencia a la salida del dado [W]	PRM del motor [rpm]	Frecuencia del variador [Hz]	Área frontal del dado m^2
Dado anular	559.2	46.55	1991.13	66.37	$7.1323 \times 10^{-6} [m^2]$
Dado circular	559.2	46.39	1995.07	66.5	$7.308 \times 10^{-6} [m^2]$

Tabla 4.7 Condiciones mínimas para el diseño de futuros dados en función del área frontal del mismo

Variador de frecuencia

De acuerdo con la ecuación:

$$RPM = \frac{120 * f}{\rho} \left\{ \begin{array}{l} f = \text{frecuencia de suministro} \\ \rho = \text{No. de polos (adimensional)} \end{array} \right. \quad (4.18)$$

El carro de arrastre (jalador) se diseñó para la alimentación suministrada en el Laboratorio de Procesamiento de Plásticos de 240 [V] a 55 ~ 60 [Hz], de acuerdo a la ecuación (4.18), el motor a dicha frecuencia nos entregará una velocidad de:

$$RPM = \frac{120 * f}{\rho} = \frac{120 * 58.34}{4} = 1750 \text{ RPM}$$

Para lograr la velocidad de tiro requerida en el dado anular montado en la extrusora Nieto necesitamos una frecuencia de:

$$RPM = \frac{120 * f}{\rho} = \frac{120 * 55.22}{4} = 1506.77 \text{ RPM}$$

Con base en los resultados anteriores, se determinó que el intervalo de operación del variador de frecuencia requerido es de **0 – 100 [Hz]**.

Cabe mencionar que un motor tiene la capacidad de trabajar a un 300% más de su capacidad nominal gracias al aumento de la frecuencia suministrada. Así, bajo las condiciones requeridas y límites determinados en la tabla 4.7, el motor trabajará a un 14% más de su velocidad nominal, por lo que se asegura el adecuado funcionamiento del dispositivo.

4.4 Análisis de la longitud de una tina de enfriamiento por inmersión

En la figura 4.8 se muestra el esquema de un enfriador de tina por inmersión, y en la figura 4.9 se muestra el diagrama de enfriamiento del perfil extrudido de acuerdo a la transferencia de calor que se presenta en este sistema.

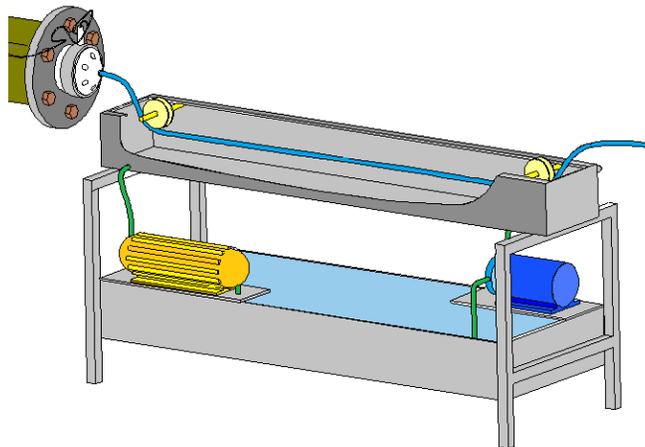


Figura 4.8 Sistema de enfriamiento con circulación de agua

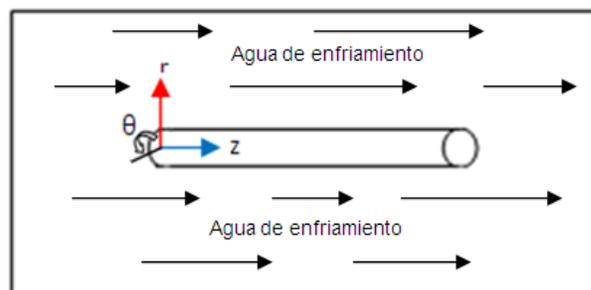


Figura 4.9 Modelo de perfil extrudido cuya dirección en r es donde se emite más calor, debido a que hay mayor área

El modelo de la figura 4.9, permite analizar el comportamiento de la energía calorífica que existe entre el agua de enfriamiento y el perfil extrudido. En la misma figura se puede observar que el calor en la dirección Z y θ tienen baja emisión, es por eso que se desprecia. Considerando sólo el calor que se emite en dirección r, tenemos:

$$\begin{aligned}q_{\theta} &= 0 \\q_Z &= 0 \\q_r &\neq 0\end{aligned}$$

Considerando las siguientes condiciones:

- Estado estacionario
- La conductividad térmica no varía con la temperatura.
- La mayor temperatura se encuentra en el centro del perfil plástico.
- Aunque el comportamiento real de la temperatura es una curva parabólica, se considera para efectos prácticos que el comportamiento es lineal.
- Se considera que el calor transferido por un perfil tubular es por convección de acuerdo al diagrama presentado en la figura 4.10.

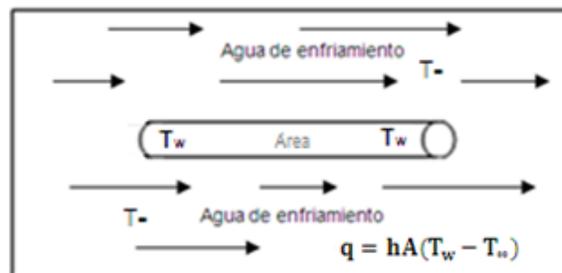


Figura 4.10 Calor que gana el agua proveniente del plástico, se obtiene con la correlación de Nusselt



Donde la ecuación de transferencia de calor por convección es:

$$\dot{q} = hA(T_w - T_\infty) \tag{4.19}$$

Siendo:

- h = Coeficiente de transferencia de calor por convección.
- A = Es el área del perfil, donde emite más calor en este caso es igual a $A=\pi dL_t$.
- d = Diámetro del perfil.
- L_t =Longitud de la tina.
- T_∞ = Temperatura del agua de enfriamiento.
- T_w = Temperatura en la superficie de la placa de plástico.

Además el cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección (h), toma las siguientes suposiciones:

- Estado estacionario
- El agua toma el calor del plástico
- La conductividad térmica ni la densidad varían con la temperatura
- Y para facilitar los cálculos del sistema se considera utilizar la correlación de Pohlhausen de transferencia de calor por convección para flujo externo con flujo laminar.

$$h = 0.664(Re)^{\frac{1}{2}}(Pr)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{K}{D_c}\right) \tag{4.20}$$

Datos para conocer el coeficiente de convección de nuestra tina usando agua a 20°C como refrigerante:

Alto L_1 (m)	Ancho L_2 (m)	área (m ²)	G (m ³ /s)	ρ (kg/m ³)	$V_{refrigerante}$ (m/s)	D_c (m)	μ (Kg/m*s)	C_p (J/kg*K)	k (W/m*K)	T_w (°C)	T_∞ (°C)
0.1	0.12	0.012	0.0000667	1000	0.00555833	0.0065	1.002	4181.8	0.5984	25	210

* ver apéndice



Donde:	C_p =Calor específico
Re=número de Reynolds	V= velocidad del flujo
Pr =número de Prandtl	G= gasto volumétrico
ρ = densidad del líquido refrigerante	D_p =Diámetro del perfil
μ = viscosidad del mismo	L_1 =altura de la tina
k= coeficiente térmico	L_2 =anchura de la tina

Comenzaremos calculando el número de Reynolds

$$Re = \frac{\rho * V * D_c}{\mu} \quad (4.21)$$

Para conocer la velocidad del refrigerante (en este caso agua) utilizaremos la ecuación 4.22

$$V = \frac{G}{A_t} = \frac{G}{L_1 * L_2} = \frac{0.0000667}{0.1 * 0.12} = 0.00555833 \left(\frac{m}{s} \right) \quad (4.22)$$

Considerando que la densidad del agua no cambia con respecto a la temperatura y sustituyendo los datos en la ecuación 4.21 obtenemos:

$$Re = \frac{\rho * V * D_c}{\mu} = \frac{1000 * 0.00555833 * 0.0065}{1.002} = 0.03605705$$

Como el número de $Re < 2000$ demostramos que el flujo se comporta de forma laminar. Ahora procederemos a calcular el número de Prandtl

$$Pr = \frac{C_p * \mu}{k} = \frac{4181.8 * 1.002}{0.5984} = 7002.27874$$

Por último utilizando la ecuación (4.20) obtenemos el valor del coeficiente de convección

$$h = 0.664(0.03605705)^{\frac{1}{2}}(7002.27874)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{0.5984}{0.0065} \right) = 222.068973 \left(\frac{W}{m^2 * K} \right)$$

Una vez conociendo h procedemos a utilizar la ecuación (4.19) quedando de la siguiente forma

$$\dot{q}_{absorbido} = h \pi d L_t (T_w - T_{\infty}) \quad (4.23)$$



Por una parte hemos calculado el flujo de calor que extrae el refrigerante al perfil con la ecuación (4.23); sin embargo necesitamos conocer la cantidad de calor que se debe extraer del perfil para lograr un buen manejo, es así que hacemos uso de otra herramienta para el cálculo de dicho flujo.

Calor sensible del perfil

$$\dot{q}_{cedido} = \dot{m}C_p(T_i - T_f) \quad (4.24)$$

Propiedades del perfil (HDPE)

Caudal (m ³ /s)	ρ (kg/m ³)	C_p (J/Kg*°C)	T_i (°C)	T_f (°C)	D_p (m)
0.00000496	930	1800	210	75	0.0065

* ver apéndice

$$\dot{q}_{cedido} = 0.00000496 * 930 * 1800(210 - 75) = 1120.91(W)$$

Igualando las ecuaciones (4.23) y (4.24) podemos observar que los flujos de calor deben ser iguales para lograr el manejo del perfil.

$$h\pi dL_t(T_w - T_\infty) = \dot{m}C_p(T_i - T_f) \quad (4.25)$$

De la ecuación (2.25) despejamos a L_t (longitud de tina) para conocer si nuestra tina de enfriamiento es la adecuada para el proceso.

$$L_t = \frac{\dot{m}C_p(T_i - T_f)}{h\pi d(T_w - T_\infty)} \quad (4.26)$$

Por último sustituimos los valores en la ecuación (4.25) y considerando que la temperatura del medio se encuentra constante a 17°C tenemos:

$$L_t = \frac{0.00000496 * 930 * 1800(210 - 75)}{222.068973 * \pi * 0.0065(210 - 17)} = 1.2807 \text{ (m)}$$

Con esto demostramos que la tina de enfriamiento que mide 1.30 (m) es funcional para el uso del dado anular siempre y cuando $T_\infty = 17^\circ\text{C}$.



CAPÍTULO 5

IMPLEMENTACIÓN DEL CARRO DE ARRASTRE DENTRO DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN

5.1 Aspectos generales

Para operar una máquina extrusora satisfactoriamente, debe tenerse a la mano características mecánicas y eléctricas de la misma, conocer las condiciones de trabajo del motor (potencia, voltaje y amperaje nominales) y si cuenta con un reductor de velocidad, conocer cuál es su tipo de ensamble con el motor; directo a modo de motorreductor, o bien, mediante poleas; En el segundo caso, es necesario contar con los diámetros de cada polea para poder calcular la relación de reducción previa al reductor de velocidad. Todo esto es importante ya que la velocidad de giro del husillo pende directamente de todas las variables antes citadas y esto a su vez, determinará, entre otras cosas, la velocidad de extrusión del perfil seleccionado.

Conocidas las características mecánicas y eléctricas de la extrusora, es necesario saber para qué tipo de materiales está diseñada. Una limitante que determina qué tipo de refuerzos son posibles extrudir, es el perfil máximo de temperaturas que puede alcanzar la máquina extrusora. Otra limitante es el tipo de dado, ya que si los refuerzos con los que se desee trabajar sobrepasan el diámetro de la boquilla, se dará una obstrucción del material procesado a la salida del dado.

Una vez equipada la máquina extrusora con el material determinado y con el respectivo perfil de temperaturas correspondientes al material a procesar, es de suma importancia conocer qué tipo de dado de empleará (ver tabla 4.2) y las características de diseño del mismo, i.e., área frontal a la salida de la boquilla y longitud del canal interno ya que éstas son parte medular para conocer cuál es la velocidad y caudal del material que nos entrega el dado.

Es aquí donde se presenta un problema recurrente en el proceso de extrusión; Por efectos naturales de la gravedad, todo perfil experimenta cambios en su configuración base. Por lo tanto, seguido y sin escalas, se utiliza un dispositivo llamado *Calibrador*. Importante es este equipo periférico ya que es quien nos dará los datos certeros de las características que convengan para cada perfil; Si se trabaja con perfiles circulares o anulares, es conveniente conocer el funcionamiento del calibrador que censa los diámetros óptimos del perfil extrudido, o bien la longitud de cada lado y cuadratura para un perfil rectangular.



Ya que se determinaron los puntos anteriores, es preciso solidificar al perfil en cuestión, para lo cual se tiene un dispositivo llamado *Tina de enfriamiento*. Luego, es necesario saber si la tina de enfriamiento con la que se cuenta es funcional, es decir, si realmente este dispositivo será capaz de solidificar al perfil seleccionado mediante su proceso de enfriamiento.

Para poder tener la respuesta a la anterior cuestión, se debe tener en cuenta las características de nuestra tina, tales como longitud total, condiciones del fluido (si su estado es estacionario, flujo en dirección del perfil o flujo cruzado), si cuenta con disipadores de calor v.g. aletas internas o externas y el tipo de fluido que se emplee (*Ver página 88 de este trabajo*).

Teniendo la certeza de solidificación del perfil, entra a cuadro el motivo de esta tesis, el carro de arrastre. Dado que el material dentro de la extrusora está sometido a grandes deformaciones y tensiones, se relaja conforme sale por la boquilla debido a su naturaleza viscoelástica (Fig. 2.21).

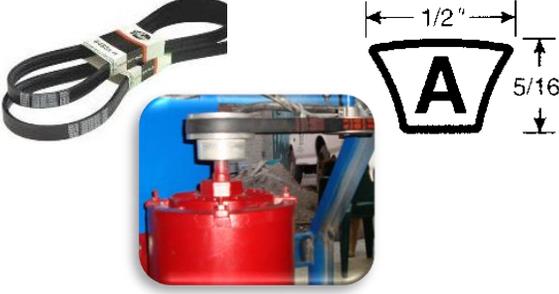
El papel primordial de este dispositivo es jalar al perfil con la velocidad necesaria con el propósito de tener un mayor control del producto que se está obteniendo, como lo es la relajación de esfuerzos que provoca el hinchamiento del material, y de ahí también obtener un control en el dimensionamiento del producto extrudido.

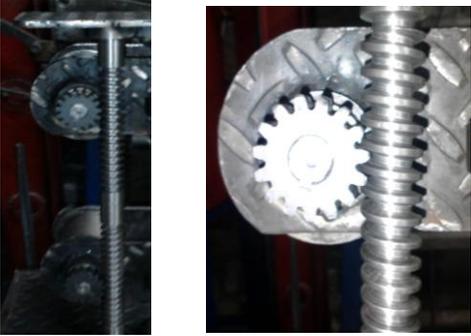
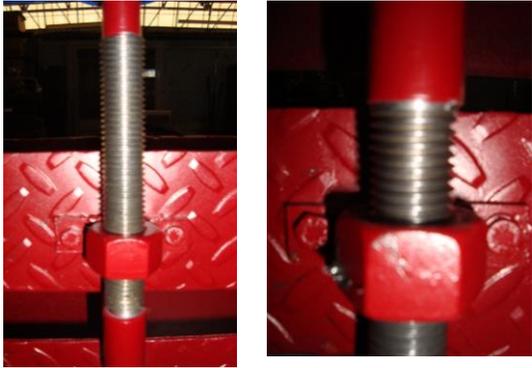
Si la velocidad de tiro está por debajo de la velocidad de extrusión, el perfil presentará una holgura a la salida de la boquilla, lo que se traduce en deformación del material fundido debido a la conglomeración del polímero en el dado y un producto inutilizable a la salida de la tina de enfriamiento. Por otro lado, si la velocidad de tiro es mucho mayor a la velocidad de extrusión, el perfil presentará una ruptura a la salida de la boquilla, lo que pausará la línea de extrusión y consecuencias que conlleve.

Finalmente, existen dos posibilidades para cerrar la línea de extrusión; El cortador y el embobinador. El primero corta al perfil en secciones determinadas, habitualmente para perfiles rígidos, mientras que el segundo enrolla al perfil para entregar un embobinado, éste se utiliza comúnmente para perfiles flexibles.

5.2 Componentes del dispositivo diseñado

Antes de operar la máquina, se presenta una descripción de cada elemento que la conforma con el fin de conocer su función así como sus capacidades nominales.

<p><i>Motor</i></p> <p>Se utilizó un motor SIEMENS trifásico de corriente alterna de servicio continuo a 60 Hz. Los datos de placa son los siguientes.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tipo: 1RA3055-4YK31 • Serie No. 5014-116 • Volts: 220 YY / 440 Y • Amps: 3.0 / 1.5 • RPM: 1730 • Armazón: NEMA 56 B • CP: 0.75 • Factor de servicio: 1.25 	
	<p><i>Banda de transmisión</i></p> <p>La banda de transmisión empleada entre el eje del motor y el sinfín doble cuerda tiene las siguientes características.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Marca: Gates • Tipo: A 24 • Ancho exterior: 1/2 " • Diámetro exterior: 26 " • Profundidad: 5/16 " • Ángulo: 40°
<p><i>Poleas</i></p> <p>Se emplearon 2 poleas de aluminio con un canal, 3 in. de diámetro exterior por 3/4 " de diámetro interior, para el motor y el sinfín doble cuerda.</p>	
	<p><i>Rodamientos rígidos de bolas de una hilera.</i></p> <p>Los rodamientos montados en los elementos rotativos son enunciados en la siguiente lista.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 10 Rodamientos con designación 98203 marca SKF • 2 Rodamientos con designación EE2TN9 marca SKF <p>La ficha técnica de cada rodamiento se encuentran en el anexo de esta tesis.</p>

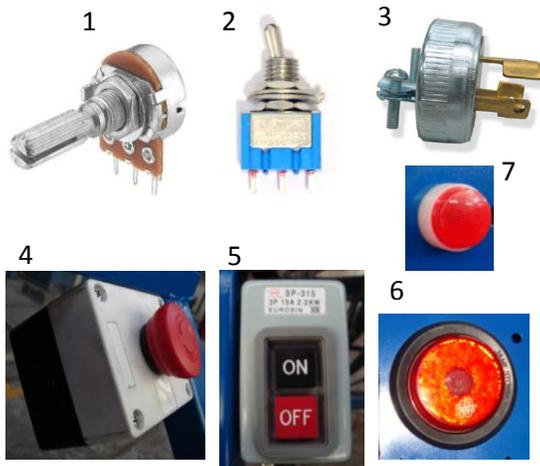
<p><i>Rodamientos lineales.</i></p> <p>Los rodamientos lineales se utilizaron en los ejes guías de las orugas para reducir la fricción entre los ejes y los bujes.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 4 Rodamientos de desplazamiento lineal con designación SDB8 <p>La ficha técnica de los rodamientos se encuentra en el anexo de esta tesis.</p>	
	<p><i>Sinfín doble cuerda</i></p> <p>Se maquinó un sinfín doble cuerda bajo las siguientes especificaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Paso 8 mm. • Cuerda ACME a 20° • Sinfín de una entrada • 0.200 in de profundidad • Espesor, 1 “.
<p><i>Tornillo doble cuerda</i></p> <p>Para el movimiento de las orugas propuesto en la tabla 3.5.1 (página 42) se maquinó un tornillo bajo las siguientes especificaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tornillo doble cuerda (estándar) • Diámetro exterior: 7/8 “. • Cuerda: 7/8 “ – 9 UNC 	
	<p><i>Engranés</i></p> <p>La transmisión de la potencia se llevó a cabo mediante dos engranes rectos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Paso: 0.0075 m • No. De dientes: 15 • Radio de pie: 0.016 m • Radio primitivo: 0.018 m • Radio de cabeza 0.021 m

Variador de Frecuencia

Para el control de la velocidad del motor se utilizó un variador de frecuencia *Marca Baldor* con los siguientes datos de placa.

- Modelo: VS1ST21-0
- Clasificación de Motor: 0.75 KW–1Hp
- **Entrada:** 3 fases, 50 – 60 Hz
- Rango de voltaje (AC): 200 – 240 V
- Amperes: 10 A
- **Salida:** 3 fases, 0 – 500 Hz
- Rango de voltaje (AC): 0 – 250 V
- Alimentación continua (A): 4.3 A

La ficha técnica del variador se encuentra en el anexo de esta tesis.



Accesorios varios

Para el óptimo control del variador y la máquina en general fue preciso el empleo de distintos accesorios.

- 3 potenciómetros (2 de 5 kohms, 1 de 10 Kohms) [1]
- 2 interruptores (on – off) [2]
- Clavija trifásica [3]
- Paro de emergencia [4]
- Caja de encendido – apagado general de la máquina. [5]
- Foco de paro de emergencia [6]
- Foco indicador de corriente eléctrica [7]

La alimentación de la máquina es a través de una red eléctrica trifásica a 220 V, misma que se tiene en el Laboratorio de procesamiento de plásticos. Una vez conocidas las características y capacidades nominales de los elementos primarios del carro de arrastre seguimos con la puesta en marcha y operación del mismo.

5.3 Modo de operación del carro de arrastre

Todo equipo mecánico debe encontrarse en un punto inicial de operación a fin de optimizar los tiempos de puesta a punto de la máquina a operar y consecuentemente, los tiempos de producción de la línea de trabajo. El carro de arrastre no es la excepción, por lo que se enuncian, en seguida, el estado inicial de los elementos que activan al dispositivo antes de conectarlo a la corriente eléctrica.

Estado inicial

Verificar que el botón de encendido general se encuentre desactivado. Figura 5.1.



Fig. 5.1. Botón de encendido – apagado general del carro

El paro de emergencia, por seguridad, debe estar activado, el indicador del mismo no emitirá luz alguna ya que esto sucederá una vez que el carro de arrastre se conecte a la corriente eléctrica. Figura 5.2 a – b.



Fig. 5.2a. Paro de emergencia



Fig. 5.2b. Indicador del paro de emergencia

El interruptor de encendido en el variador de frecuencia debe encontrarse en *stop*, esto hará que los hertz suministrados no causen efecto en el motor. Figura 5.3.



Fig. 5.3. Interruptor (run – stop) del variador de frecuencia

El interruptor de sentido de giro en el variador de frecuencia debe encontrarse en *forward*, estado en el cual, las orugas *jalarán* al perfil extrudido. Figura 5.4.



Fig. 5.4. Interruptor (reverse - forward) del variador de frecuencia

La *perilla principal* debe estar en el mínimo valor del intervalo que ésta permita, de este modo, los *hertz* que el variador entregue al conectar el carro de arrastre serán los mínimos establecidos. Figura5.5.



Fig. 5.5. Perilla principal del variador de frecuencia

Asegurándonos de los puntos anteriormente citados, continuamos con la puesta en marcha del carro de arrastre.

Puesta en marcha

Para operar, sin algún contratiempo, el carro de arrastre se muestran, seguidamente, los pasos que describen la puesta en marcha.

No de paso	Descripción	Imagen
1	Conecte la clavija del carro de arrastre a la red eléctrica, verificando que cumpla con los requisitos mencionados a priori.	
2	Encienda la máquina oprimiendo el botón <i>on</i> de la caja de <i>encendido – apagado</i> general ubicado en la parte inferior izquierda.	
3	Verifique que la máquina de encuentre energizada con los siguientes puntos: <ul style="list-style-type: none"> • Foco de <i>encendido general</i>. [1] • Foco de <i>paro de emergencia</i>. [2] • Display del tacómetro encendido con la leyenda: <i>Velocidad actual</i>. [3] • Display del variador de frecuencia con la leyenda: <i>Stop</i> [4] 	

4	<p>Programa al variador bajo las especificaciones de placa del motor con base en los siguientes puntos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Voltaje nominal.</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ Mantenga presionado el botón <i>Ent/Prog.</i> hasta que en el display aparezca la leyenda <i>P-01.</i> ○ Introduzca el voltaje nominal del motor (Dato de placa). ○ Oprima <i>Ent/Prog.</i> 	
5	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Amperaje nominal.</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ Mantenga presionado el botón <i>Ent/Prog.</i> hasta que en el display aparezca la leyenda <i>P-02.</i> ○ Introduzca el amperaje nominal del motor (Dato de placa). ○ Oprima <i>Ent/Prog.</i> 	
6	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Frecuencia de operación</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ Mantenga presionado el botón <i>Ent/Prog.</i> hasta que en el display aparezca la leyenda <i>P-03.</i> ○ Introduzca la frecuencia de operación del motor (Dato de placa). ○ Oprima <i>Ent/Prog.</i> 	
7	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Límites e incremento de frecuencia</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ Los límites inferior, incremento y superior de la frecuencia suministrada al motor corresponden a las leyendas <i>P-04, P-05 y P-06 respectivamente.</i> ○ Su programación es igual a los puntos anteriores. 	
8	<p>Una vez programado el variador de frecuencia salga del modo <i>progrm</i> manteniendo oprimido el botón <i>Ent/Prog.</i> hasta que aparezca la leyenda <i>Stop.</i></p>	

9	Active el <i>interruptor</i> de encendido del <i>variador de frecuencia</i> verificando que en el <i>display</i> del mismo marque <i>0.0</i> .	
10	Incremente la frecuencia suministrada al motor a través de la <i>perilla principal</i> hasta alcanzar la velocidad de tiro conveniente según la ecuación 4.18 de este trabajo.	
11	Luego, el sistema de tiro del <i>carro de arrastre</i> se encontrará funcionando adecuadamente para comenzar el ciclo de extrusión.	

Precauciones

En una línea de extrusión y de conformado de plásticos en general, debe tenerse en cuenta que se trabaja con material a alta temperatura, pues su manejo implica que éste se encuentre en su punto de fusión. Si se presenta alguna vicisitud, se debe contar con la vestimenta y equipo necesario para solucionar los problemas presentados.

Para operar una extrusora con su respectivo equipo periférico se requiere extremar precauciones de cuestiones térmicas, hidráulicas y mecánicas, por lo que se sugiere el siguiente equipo personal.

- Guantes de carnaza
- Zapatos industriales resistentes a altos impactos
- Bata
- Lentes protectores
- Herramienta en general

5.4 Pruebas y experimentación

Para la puesta en marcha de la máquina, se utilizó polietileno de alta densidad HDPE con un perfil de temperaturas dentro del husillo de: 110 °C en la zona de alimentación, 180 °C en la zona de compresión, 200 °C en la zona de dosificación y 210°C en la zona del dado.

Condiciones previas

Con el *carro de arrastre* instalado en la línea de extrusión se realizaron las primeras pruebas de tiro para un polietileno de alta densidad, HDPE, con las características mostradas en la tabla 5.1.

Polietileno alta densidad grado extrusión		
Grado	Índice de fluidez	densidad
PADMEX 56050	5.0 g / 10 min.	0.9665 g/cm ³

Tabla 5.1. Características del polímero utilizado en las pruebas de tiro

El procesamiento del material se llevó a cabo mediante un perfil de temperaturas como ya se dijo y mostrado en la tabla 5.2. La selección de estas temperaturas se tomó con base en la viscosidad del polietileno utilizada en los cálculos del capítulo 4 del presente trabajo.

Perfil de temperaturas (°C)			
Alimentación	Compresión	Dosificación	Dado
110	180	200	210

Tabla 5.2. Perfil de temperaturas de operación para el polietileno grado inyección

En la sección de enfriamiento se utilizó agua a temperatura ambiente (25°C) como refrigerante del perfil en el método denominado *por inmersión*.

Modo de operación de una línea de extrusión

Como primer paso suba la palanca de la caja de fusibles donde conectará la máquina. Conecte la clavija de alimentación de la extrusora en una terminal que cumpla con los requisitos eléctricos del motor; Seguido active el interruptor de encendido general de la máquina para energizar las resistencias del cañón y del dado. Luego, regule los termopares de cada zona de acuerdo al perfil de temperaturas establecido en la tabla 5.2; Active los interruptores de cada resistencia Figura 5.6.



Figura 5.6. Pasos a seguir para encender la extrusora y activar el perfil de temperaturas

Mientras los termopares alcanzan el perfil de temperaturas determinado, llene la tina de enfriamiento con el refrigerante seleccionado, en este caso agua a temperatura ambiente con anticongelante, verificando que no haya impurezas de consideración en la misma. Cuide que el nivel de agua en la tina sea el adecuado para que el perfil esté inmerso durante el proceso. En seguida, conecte la clavija de alimentación de la bomba de agua y verifique que la circulación se lleve a cabo de manera correcta. Figura 5.7.



Figura 5.7. Puesta a punto de la tina de enfriamiento

Antes de encender el motor del extrusor, ponga a punto el carro de arrastre con base en su *estado inicial* y *puesta en marcha* desarrollados a priori. Incremente paulatinamente la frecuencia suministrada al motor hasta que éste alcance la velocidad calculada en el capítulo 4 de este trabajo, ecuación 4.18. Posteriormente, calibre el diámetro de entrada de las orugas mediante el sistema de *apertura y cierre* del carro. Figura 5.8.

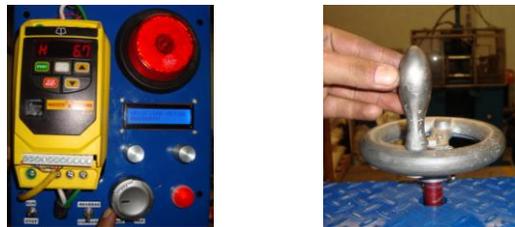


Figura 5.8. Parámetros en el panel de control y sistema de apertura y cierre del carro de arrastre

Una vez que se han alcanzado el perfil de temperatura, cada termopar emitirá una luz *verde*, lo que nos indicará que es tiempo de encender el motor. Encendido el motor, el polímero comenzará a fluir a través de la boquilla del dado; Dirija al perfil hacia la tina de enfriamiento y continúe así hasta la salida de la misma. Inmediatamente, diríjalo a la entrada del carro de arrastre hasta que éste lo tire automáticamente. Figura 5.9.



Figura 5.9. Parámetros en el panel de control y sistema de apertura y cierre del carro de arrastre

Cuando el ciclo haya terminado, apague el motor de la extrusora y deje que el carro siga jalando hasta que el material deje de fluir en la boquilla del dado. Desconecte la bomba del agua y deje al carro de arrastre en el *Estado Inicial* establecido. Apague los termopares de la extrusora y desconecte la alimentación de la misma y del carro de arrastre.

5.5 Resultados

Se realizaron 5 pruebas de tiro en el proceso de extrusión variando la frecuencia [Hz] suministrada al motor. La velocidad de tiro eliminó, conforme al incremento de la frecuencia, el defecto de *hinchamiento* dando así una variación en el diámetro del perfil tal como se muestra en la tabla 5.3.

Pruebas de tiro con el carro de arrastre		
Frecuencia (Hz)	Revoluciones del motor [rpm]	Imagen
30	900	
40	1200	
50	1500	
60	1800	
70	2100	

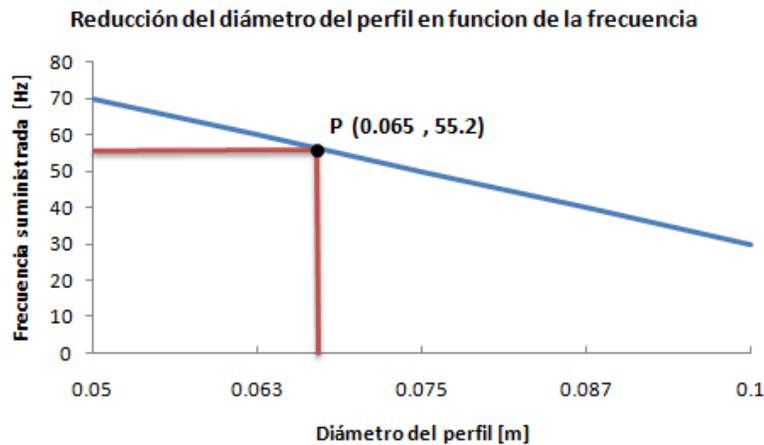
Tabla 5.3. Variación del espesor del perfil con respecto a la frecuencia suministrada al motor

Este efecto es apreciable visiblemente a la salida del dado, sin embargo, cuando el perfil pasa por la tina de enfriamiento sufre una contracción que modifica la dimensión del mismo. En la tabla 5.4 se cuantifica el espesor final del perfil, en cada prueba, una vez que éste pasó por la tina de enfriamiento y el carro de arrastre.

Dimensionamiento del perfil		
Prueba	Velocidad de tiro [m/s]	Diámetro [mm]
1	0.32	0.10
2	0.41	0.087
3	0.48	0.075
4	0.59	0.063
5	0.72	0.050

Tabla 5.4. Diámetro del perfil en cada paso

En el capítulo 4 se determinó la velocidad de extrusión para el dado anular (dado con el cual se realizaron las pruebas), ésta fue de 0.53 [m/s] con un diámetro a la boquilla de 0.065 [m]. Haciendo una regresión lineal con los datos obtenidos en las tablas 5.3 y 5.4 se obtiene la gráfica 5.1, la cual nos indica la razón en que disminuye la relajación de esfuerzos del polímero con respecto a la frecuencia suministrada.



Gráfica 5.1. Razón de disminución del diámetro del perfil en función de la frecuencia suministrada al motor

En la gráfica 5.1, el punto **P** representa las coordenadas de los parámetros bajo los cuales se diseñó el carro de arrastre. Finalmente, se comprueba que el diámetro final del perfil jalado por el carro de arrastre, programado en la frecuencia de la ecuación 4.18, corresponde al diámetro de la boquilla y en consecuencia, del adecuado funcionamiento del dispositivo fabricado.

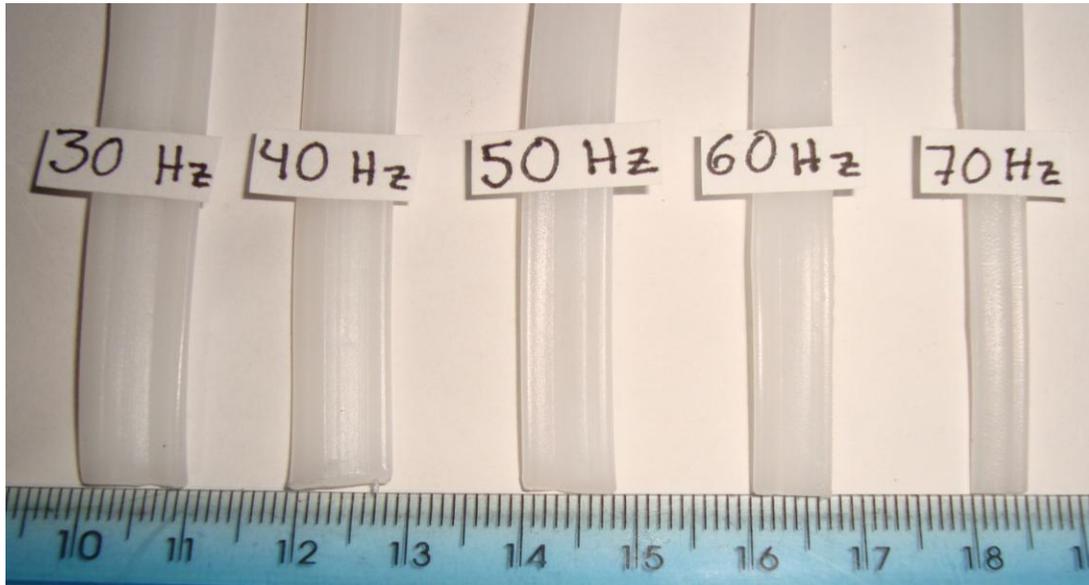


Figura 5.10. En esta imagen se puede ver una escala en centímetros que da una mejor idea de las dimensiones reales de los perfiles



CONCLUSIONES

- Abordando el objetivo planteado al inicio de la presente tesis, se cumplieron satisfactoriamente las especificaciones de diseño que eran desarrollar el sistema de sujeción y transmisión de potencia de la máquina sin perder de vista los dispositivos existentes en el mercado.
- Con el estudio de mercado se logró obtener una tabla comparativa de los diversos diseños de carros de arrastre, la que nos ayudó a determinar la selección de componentes con el fin de economizar la manufactura y construcción del dispositivo en cuestión.
- Respecto al proceso de fabricación de las piezas, la precisión y ajuste de los bujes y carcasas para los rodamientos presentaron diversos problemas como la presencia de fricción entre los postes guía y los bujes, y holgura del rodamiento dentro de su carcasa, no obstante, una vez montados en el dispositivo, se presentaba flexión en los postes debido al peso de los rodillos principales, la que nos aumentaba considerablemente la fuerza de fricción; Este problema se solucionó adicionando al diseño base rodamientos lineales para reducir la fricción en bujes y postes.
- A lo largo de la fabricación del carro de arrastre nos dimos cuenta de dos situaciones: El pasar del diseño conceptual a la manufactura implica enfrentarse con problemas de existencia y fabricación, i.e., no todo elemento que se proponga en el diseño necesariamente existe en el mercado, siendo la fabricación del mismo, la solución, no obstante, la maquinaria no siempre contará con los requisitos para su fabricación, v.g., el paso de un torno.
- Por otro lado, el haber logrado la construcción del dispositivo no asegura el óptimo funcionamiento una vez puesto en marcha; siempre existirán implementos por fabricar para una aplicación exitosa.
- Para la instrumentación, fue necesario aplicar las bases teóricas de circuitos eléctricos, pues la alimentación del dispositivo contaba de una red trifásica y no todos los circuitos empleados funcionaban con esta red; se tuvo que implementar un circuito que redujese 220 [V] a 110[V] para utilizar un transformador estándar (110 [V] a 12 [V]).
- En el proceso de experimentación, se lograron obtener disímiles características del perfil con la variación en la velocidad de tiro, diámetros del perfil, y anulación casi total de los esfuerzos de relajación del polímero, lo que se traduce en un adecuado diseño del carro de arrastre.



APORTACIONES FUTURAS

El carro de arrastre forma parte del equipo periférico final en una línea de extrusión de plásticos. Sin embargo, para conseguir una línea de extrusión completa dentro del Laboratorio de Procesamiento de Plásticos aún es necesario contar con un calibrador y un cortador o embobinador; sin embargo, existen tres puntos importantes que son:

1. Diseño y manufactura de un calibrador. Ya que se cuenta con dos dados para extrusión en el Laboratorio de Procesamiento de Plásticos, el diseño y manufactura del calibrador podría ser un diseño universal donde exista la posibilidad de *insertos calibradores* ya que este elemento es exclusivo para un dado en específico.
2. Diseño y manufactura de un cortador. Entre las diversas maneras de cortar un perfil, el diseño de un cortador por impacto podría ampliar el reciclado de los perfiles extrudidos en el Laboratorio para reutilizar el material con fines académicos.
3. Diseño y manufactura de un embobinador. Una vez fabricado el calibrador, existe la posibilidad de generar perfiles con características y acabado superficial idóneos para su venta, entregándose éstos en embobinados.

Puesto que el carro de arrastre se diseñó para trabajar en un amplio intervalo de velocidades de tiro, deja abierta la posibilidad de diseñar y manufacturar una gran cantidad dados con base en la tabla 4.7.

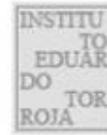


APÉNDICE A

PARTES COMERCIALES



CTE WEB



código técnico de la edificación

09 Plásticos / Plásticos / Polietileno alta densidad (HDPE) / Polietileno alta densidad (HDPE)

Materiales	ρ	λ	C_p	μ
Genérico	930	0.5	1800	100000

ρ : Densidad, en Kg/m³

λ : Conductividad térmica, en W/m·K

C_p : Calor específico, en J/Kg·K

μ : Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua, adimensional

<http://cte-web.iccl.es/>



DISEÑO Y MANUFACTURA DE UN CARRO DE ARRASTRE PARA UNA MÁQUINA DE EXTRUSIÓN



Water, H₂O

Categories: [Fluid](#)

Material Notes:

Key Words: H2O

Vendors: No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	0.95838 g/cc @Temperature 100 °C	0.034624 lb/in ³ @Temperature 212 °F	
	0.99823 g/cc @Temperature 20.0 °C	0.036063 lb/in ³ @Temperature 68.0 °F	
	0.99987 g/cc @Temperature 0.000 °C	0.036123 lb/in ³ @Temperature 32.0 °F	
	1.00000 g/cc @Temperature 3.98 °C	0.0361273 lb/in ³ @Temperature 39.2 °F	density = 1.00000 g/cc at 3.98°C (most dense temperature)
pH	7.00	7.00	
Viscosity	0.2818 cP @Pressure 0.100 MPa, Temperature 100 °C	0.2818 cP @Pressure 14.5 psi, Temperature 212 °F	
	0.3145 cP @Pressure 0.100 MPa, Temperature 90.0 °C	0.3145 cP @Pressure 14.5 psi, Temperature 194 °F	
	0.3544 cP @Pressure 0.100 MPa, Temperature 80.0 °C	0.3544 cP @Pressure 14.5 psi, Temperature 176 °F	
	0.404 cP @Pressure 0.100 MPa, Temperature 70.0 °C	0.404 cP @Pressure 14.5 psi, Temperature 158 °F	
	0.4665 cP @Pressure 0.100 MPa, Temperature 60.0 °C	0.4665 cP @Pressure 14.5 psi, Temperature 140 °F	
	0.547 cP @Pressure 0.100 MPa, Temperature 50.0 °C	0.547 cP @Pressure 14.5 psi, Temperature 122 °F	
	0.6532 cP @Pressure 0.100 MPa, Temperature 40.0 °C	0.6532 cP @Pressure 14.5 psi, Temperature 104 °F	
	0.7977 cP @Pressure 0.100 MPa, Temperature 30.0 °C	0.7977 cP @Pressure 14.5 psi, Temperature 86.0 °F	
	1.002 cP @Pressure 0.100 MPa, Temperature 20.0 °C	1.002 cP @Pressure 14.5 psi, Temperature 68.0 °F	

Specific Heat Capacity	4.1784 J/g-°C @Pressure 0.100 MPa, Temperature 30.0 °C	0.99866 BTU/lb-°F @Pressure 14.5 psi, Temperature 86.0 °F	C _p
	4.1785 J/g-°C @Pressure 0.100 MPa, Temperature 40.0 °C	0.99869 BTU/lb-°F @Pressure 14.5 psi, Temperature 104 °F	C _p
	4.1806 J/g-°C @Pressure 0.100 MPa, Temperature 50.0 °C	0.99919 BTU/lb-°F @Pressure 14.5 psi, Temperature 122 °F	C _p
	4.1818 J/g-°C @Pressure 0.100 MPa, Temperature 20.0 °C	0.99948 BTU/lb-°F @Pressure 14.5 psi, Temperature 68.0 °F	C _p
	4.1843 J/g-°C @Pressure 0.100 MPa, Temperature 60.0 °C	1.0001 BTU/lb-°F @Pressure 14.5 psi, Temperature 140 °F	C _p

Thermal Conductivity	0.561 W/m-K @Pressure 0.100 MPa, Temperature 0.000 °C	3.89 BTU-in/hr-ft ² -°F @Pressure 14.5 psi, Temperature 32.0 °F
	0.580 W/m-K @Pressure 0.100 MPa, Temperature 10.0 °C	4.03 BTU-in/hr-ft ² -°F @Pressure 14.5 psi, Temperature 50.0 °F
	0.5984 W/m-K @Pressure 0.100 MPa, Temperature 20.0 °C	4.153 BTU-in/hr-ft ² -°F @Pressure 14.5 psi, Temperature 68.0 °F



VS1ST AC DRIVES



Starter replacement drive that is compact, cost effective, and provides powerful control functions. The VS1ST can be started by adjusting just a few basic parameters.

The VS1ST is a feature rich V/Hz product targeted at the equipment manufacturing markets. Combining performance with an intuitive operator interface, the VS1ST can handle the most demanding applications.

Features

- Single Phase Input Voltage / Power Ratings
115 VAC: 0.5 to 1.5 hp (0.37 to 1.1 kW)
240 VAC: 0.5 to 3 hp (0.37 to 2.2 kW)
- Three Phase Input Voltage / Power Ratings
240 VAC: 0.5 to 5 hp (0.37 to 4 kW)
480 VAC: 1.0 to 10 hp (0.75 to 7.5 kW)
- IP20 Enclosure
DIN rail mounting
Pluggable I/O terminal strip
Easy access power terminals
- Enhanced V/Hz Control
(Fan/Pump, Linear, Custom)
- Operator Interface
User friendly control; basic start/stop, forward/reverse and speed control
LED Display; six character
Basic parameter list for quick start up
Remote keypad option
Program loader (upload/download capable)
- Operation Functions
Power – Off E-Stop
DC injection braking
Power line dip ride through
Skip frequency
Software parameter lock
Display speed scaling for custom units
PI control
Auto restart
Slip compensation
Brake transistor (frames B & C)
Start into a rotating load
- Modbus-RTU Standard (built-in)

Specifications

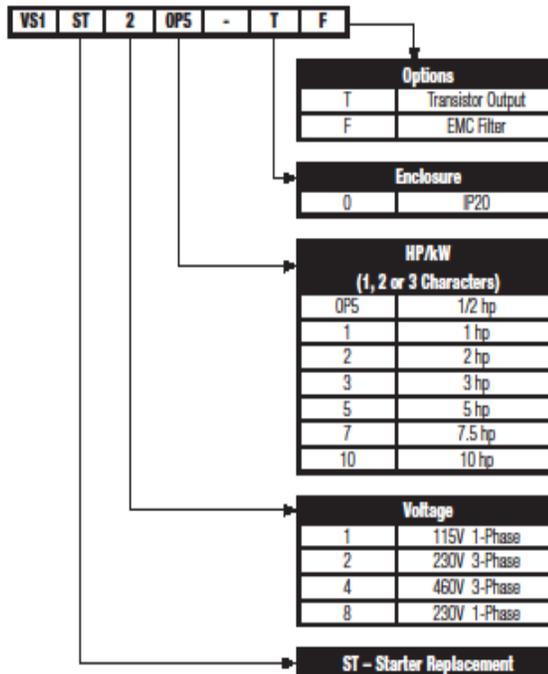
- Digital Inputs 1 & 2
Fully configurable
Factory set to common defaults
24 VDC sink / source
- Digital Input 3 / Analog Input 2:
Configurable for motor thermistor input
Programmable as Analog Input 2
0-10V or 4-20mA
12 bit resolution
- Analog Input 1 / Digital Input 4:
0-10V or 4-20mA
12 bit resolution
Programmable as Digital Input 4
- Relay Output: Normally Open Contact
- Analog Output: 0-10V / Digital Output
Proportional to Motor Speed, Motor Current, Drive Enable
or Motor at Speed
Programmable as Digital Output
- Preset Speeds (4)
- Fault Memory
Last (4) fault history
- Environmental
0 to 50° C
3300 feet (1000m)
10 to 95% Humidity, non-condensing
- Electrical
115 VAC (99-126 VAC) @ 48-62 Hz
240 VAC (198-264 VAC) @ 48-62 Hz
480 VAC (342-528 VAC) @ 48-62 Hz
97% efficiency @ full load and frequency
- Output Ratings
150% for 1 minute, 175% for 2 seconds
0 to 500Hz Output Frequency
4 to 32 kHz switching frequency





VS1ST AC DRIVES

VS1ST Catalog Number Definition



Agency Certifications/ Listings:

- UL
- cUL
- CE

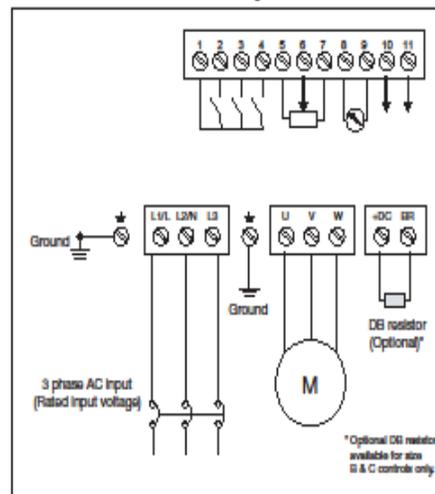
Optional Equipment and Accessories

- Remote Keypad VS1ST-RKEY3
- CopyCat Loader VS1ST-CCL
- 2nd Relay Output Card VS1ST-2ROUT
- HVAC Output Card VS1ST-HVAC (Fault & Drive Run)
- 110 or 230V Control Input Card VS1ST-LOGHW-11 or 23
- DB Resistor Kit VS1ST-R100W200
- Serial Network Cables:
 - Splitter Cable VS1ST-J4SSP
 - 0.5, 1 or 3M Cable VS1ST-CBLOP3, CBL1 or CBL3
- Communication Network Gateway Interface:
 - Profibus Gateway VS1ST-PBUS
 - DeviceNet Gateway VS1ST-DNET
 - Ethernet Gateway VS1ST-ENET

VS1ST Connections

Control Terminal	Signal	Description
1	+24 Volts	+24V, 100mA
2	Digital Input 1	0 – 0-4 VDC; 1 – 8-30 VDC
3	Digital Input 2	0 – 0-4 VDC; 1 – 8-30 VDC
4	Digital Input 3	0 – 0-4 VDC; 1 – 8-30 VDC
	Analog Input 2	Analog: 0 to 10V, 0 to 20mA or 4 to 0mA
5	+10 Volts	10mA, (1kOhm min) potentiometer
6	Analog Input 1	Analog: 0 to 10V, 0 to 20 or 4 to 20mA
	Digital Input 4	0 – 0-4 VDC; 1 – 8-30 VDC
7	0 Volts	User ground, connected to terminal 9
8	Analog Output	Analog: 0 to 10V, 20mA maximum
	Digital Output	Digital: 0 to 24V
9	0 Volts	User ground, connected to terminal 7
10	Relay Common	
11	Relay N/O	250V AC 6A / 30V DC 5A
Power Terminal	Signal	Description
L1/L, L2/N, L3	AC Line Input	Input power to drive
U, V, W	Drive output	Output terminals to motor (3-Phase)
+DC, BR	Brake control	DB Resistor Connection only available for B and C frames
⏏	Ground	Chassis Ground

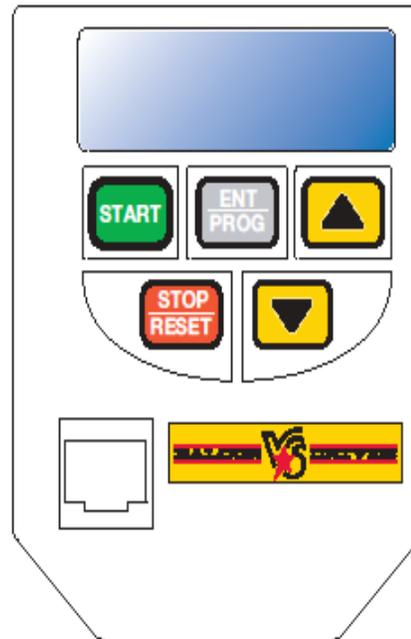
Terminal Description Chart



VS1ST AC DRIVES

Operation – Using the Keypad

- Increase/Decrease:** In operation mode, increase/decrease arrows increase or decrease the speed reference. Used to navigate between parameters in edit mode.
- Ent/Prog:** Press momentarily to cycle through display screens. Access the parameters menu by holding the Ent/Prog key for >1 second. Used to display a parameter and store a new value into memory.
- Stop:** Stop the drive.
- Start:** Run the drive in keypad operation mode. Changes motor direction if pressed while running.



Programming Parameters

Keypad Display	Parameter Name
P-00	Read-only Parameters
P-01	Motor Rated Voltage
P-02	Motor Rated Current
P-03	Motor Rated Frequency
P-04	Motor Rated Speed
P-05	Minimum Speed
P-06	Maximum Speed
P-07	Start/Stop Source
P-08	Operating Mode
P-09	Stop Mode
P-10	Accel Time
P-11	Decel Time
P-12	Preset Speed 1
P-13	Preset Speed 2
P-14	Preset Speed 3
P-15	Preset Speed 4
P-16	Analog Input Scaling
P-17	Analog In 1
P-18	Voltage Boost
P-19	Energy Savings Enable
P-20	Trip Log
P-21	PWM Frequency
P-22	Relay Output

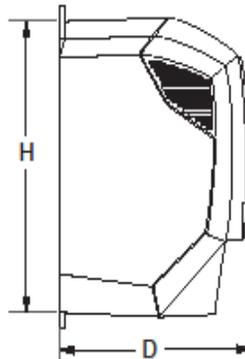
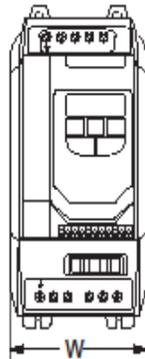
Keypad Display	Parameter Name
P-23	Display Speed Scaling
P-24	Analog Output Function
P-25	Digital & Relay Output Limits
P-26	Skip Frequency
P-27	Skip Frequency Band
P-28	Restart Mode
P-29	Restart Attempts
P-30	Analog Input Offset
P-31	Brake After Stop
P-32	Brake Before Start
P-33	Decel 2 Fast Stop
P-34	Brake Chopper Enable
P-35	Communication Node Address
P-36	VHz Frequency
P-37	VHz Voltage
P-38	PI Proportional Gain
P-39	PI Integral Time Constant
P-40	PI Operating Mode
P-41	PI Reference Select
P-42	PI Digital Reference
P-43	PI Feedback Select
P-44	Analog In 2 Format
P-45	Parameter Access Lock



VS1ST AC DRIVES

Ratings and Dimensions:

Model Number		Transistor Output	Hp	kW	Input Current (Amps)	Output Current (Amps)	Frame
Standard	w/ EMC Filter						
115V 50/60Hz 1-Phase Input, 230V 3-Phase Output							
VS1ST10P5-0	N/A	No	0.5	0.37	6.7	2.3	A
VS1ST11-0	N/A	No	1	0.75	12.5	4.3	A
VS1ST11P5-0T	N/A	Yes	1.5	1.1	16.8	5.8	B
230V 50/60Hz 1-Phase Input, 3-Phase Output							
VS1ST80P5-0	VS1ST80P5-0F	No	0.5	0.37	6.7	2.3	A
VS1ST81-0	VS1ST81-0F	No	1	0.75	12.5	4.3	A
VS1ST82-0	VS1ST82-0F	No	2	1.5	19.3	7	A
VS1ST82-0T	VS1ST82-0TF	Yes	2	1.5	19.3	7	B
VS1ST83-0T	VS1ST83-0TF	Yes	3	2.2	28.8	10.5	B
230V 50/60Hz 3-Phase Input/Output							
VS1ST20P5-0	N/A	No	0.5	0.37	3	2.3	A
VS1ST21-0	N/A	No	1	0.75	5.8	4.3	A
VS1ST22-0	N/A	No	2	1.5	9.2	7	A
VS1ST22-0T	VS1ST22-0TF	Yes	2	1.5	9.2	7	B
VS1ST23-0T	VS1ST23-0TF	Yes	3	2.2	13.7	10.5	B
VS1ST25-0T	VS1ST25-0TF	Yes	5	4	20.7	18	C
460V 50/60Hz 3-Phase Input/Output							
VS1ST41-0	VS1ST41-0F	No	1	0.75	2.9	2.2	A
VS1ST42-0	VS1ST42-0F	No	2	1.5	5.4	4.1	A
VS1ST42-0T	VS1ST42-0TF	Yes	2	1.5	5.4	4.1	B
VS1ST43-0T	VS1ST43-0TF	Yes	3	2.2	7.6	5.8	B
VS1ST45-0T	VS1ST45-0TF	Yes	5	4	12.4	9.5	B
VS1ST47-0T	VS1ST47-0TF	Yes	7.5	5.5	16.1	14	C
VS1ST410-0T	VS1ST410-0TF	Yes	10	7.5	17.3	18	C



Dimensions – Inches (mm)			
Size	H	W	D
VS1ST Micro Drive			
A	6.81 (173)	3.23 (82)	4.84 (123)
B	8.70 (221)	4.29 (109)	5.91 (150)
C	10.28 (261)	5.16 (131)	6.89 (175)
Weight – lbs (Kg)			
Frame	A	B	C
	2.42 (1.1)	5.73 (2.6)	6.61 (3)



P.O. Box 2400 • Fort Smith, AR 72902-2400 U.S.A.
 Phone (479) 646-4711 • Fax (479) 648-5792 • International Fax (479) 648-5895 • www.baldor.com

© Baldor Electric Company
FL767

Printed in U.S.A.
5/08 MCQ 5000



PADMEX 65050

ALTA DENSIDAD

Índice de Fluidez 5.0 g/10min Densidad 0.9665 g/cm³

Características

Copolímero con una distribución de peso molecular angosta. Alta resistencia al impacto, excelente resistencia al medio ambiente y luz solar. Contiene aditivo antioxidante, lubricante y protector UV.

Aplicaciones:

- * Cajas multiusos
- * Línea hogar en recipientes grandes
- * Tarimas
- * Cubetas industriales
- * Piezas industriales
- * Cajas para transportación de envases con bebidas

**Cumplimiento FDA y EEC

Parámetro	Unidad	Método de Prueba	Valor Típico **
Índice de fluidez	g/10 min.	ASTM D - 1238	5.0
Densidad	g/cm ³	ASTM D - 1505	0.9665
Propiedades de la Placa *			
Resistencia a la Tensión (cedencia)	MPa	ASTM D - 838	30.4
Resistencia a la Tensión (ruptura)	MPa	ASTM D - 838	17.1
Impacto Izod Método A	J/m	ASTM D - 256	54
Módulo de Flexión	MPa	ASTM D - 790	60.2
Resistencia Ambiental (ESCR) F ₅₀ condición B	h	ASTM D - 1693	≥3
Dureza Shore	Tipo D	ASTM D - 1706	64
Temperatura de Reblandecimiento Vicat	°C	ASTM D - 1525	128
Distancia de Flujo en espiral (SFD)	cm	ASTM D - 3123	62
Temperatura de Fusión	°C	ASTM E - 794	130

Condiciones

Temperatura de inyección: 210-250°C en perfil recto o descendente.

Presentación

- * Saco de 25kg.
- * Granel

Los valores típicos reportados son obtenidos en laboratorio bajo los métodos de prueba descritos. Estos parámetros y condiciones de procesado, deben utilizarse sólo como referencia y no constituyen una garantía implícita o explícita para la aplicación propuesta



Rodamientos del sinfin

SKF Par de rozamiento - pérdida de potencia

Página 1 de 1



Imprimir

Par de rozamiento - pérdida de potencia

Se ha tenido el máximo cuidado para garantizar la exactitud de este cálculo, pero no se acepta ninguna responsabilidad por pérdidas o daños, ya sean directos, indirectos o consecuentes, que se produzcan como resultado del uso de dicho cálculo.

Véase la sección "Nuevo modelo SKF para el cálculo del momento de fricción"

Rodamiento	98203
d [mm]	17
D [mm]	40
d _m [mm]	28.5
n [r/min]	<input type="text" value="1506.7"/>
v [mm ² /s]	<input type="text" value="18.2"/>
F _r [N]	<input type="text" value="0"/>
F _a [N]	<input type="text" value="26.48"/>
H _{EHL}	<input type="text" value="0.05"/>
<input checked="" type="radio"/> Grasa <input type="radio"/> Método de lubricación por proyección de gotas de aceite <input type="radio"/> Baño de aceite <input type="radio"/> Inyector de chorro de aceite	
H [mm]	
K _{rs}	<input type="text" value="6e-8"/>
W _s [W/°C]	<input type="text"/>

Par de rozamiento rodante

Φ_{ls} Φ_{rs} M_{rr} [Nmm] 3.13

Par de rozamiento deslizando

M_{sl} [Nmm] 0.378

Par de rozamiento de las obturaciones

M_{seal} [Nmm] 0

Par de rozamiento de las pérdidas de energía debidas a la agitación del aceite

M_{drag} [Nmm] 0

Par de rozamiento total

M [Nmm] 3.51

Pérdida de potencia

N_R [W] 0.554

Par de arranque

M_{start} [Nmm] 0.712

[Más información](#)

Incremento de temperatura

ΔT [°C]



Rodamientos de rodillos de soporte

SKF Par de rozamiento - pérdida de potencia

Página 1 de 1



Imprimir

Par de rozamiento - pérdida de potencia

Se ha tenido el máximo cuidado para garantizar la exactitud de este cálculo, pero no se acepta ninguna responsabilidad por pérdidas o daños, ya sean directos, indirectos o consecuentes, que se produzcan como resultado del uso de dicho cálculo.

Véase la sección "Nuevo modelo SKF para el cálculo del momento de fricción"

Rodamiento	EE 2 TN9
d [mm]	6.35
D [mm]	19.05
d _m [mm]	12.7
n [r/min]	<input type="text" value="335"/>
v [mm ² /s]	<input type="text" value="88.1"/>
F _r [N]	<input type="text" value="0.117"/>
F _a [N]	<input type="text" value="0"/>
H _{EHL}	<input type="text" value="0.05"/>
<input checked="" type="radio"/> Grasa	
<input type="radio"/> Método de lubricación por proyección de gotas de aceite	
<input type="radio"/> Baño de aceite	
<input type="radio"/> Inyector de chorro de aceite	
H [mm]	
K _{rs}	<input type="text" value="6e-8"/>
W _s [W/°C]	<input type="text"/>

Par de rozamiento rodante

$\Phi_{ish} \Phi_{rs} M_{rr}$ [Nmm] 0.00886

Par de rozamiento deslizando

M_{sl} [Nmm] 0.0000057

Par de rozamiento de las obturaciones

M_{seal} [Nmm] 0

Par de rozamiento de las pérdidas de energía debidas a la agitación del aceite

M_{drag} [Nmm] 0

Par de rozamiento total

M [Nmm] 0.00887

Pérdida de potencia

N_R [W] 0.000311

Par de arranque

M_{start} [Nmm] 0.0000081

[Más información](#)

Incremento de temperatura

ΔT [°C]



Rodamientos de rodillos principales

SKF Par de rozamiento - pérdida de potencia

Página 1 de 1



Imprimir

Par de rozamiento - pérdida de potencia

Se ha tenido el máximo cuidado para garantizar la exactitud de este cálculo, pero no se acepta ninguna responsabilidad por pérdidas o daños, ya sean directos, indirectos o consecuentes, que se produzcan como resultado del uso de dicho cálculo.

Véase la sección "Nuevo modelo SKF para el cálculo del momento de fricción"

Rodamiento	98203
d [mm]	17
D [mm]	40
d _m [mm]	28.5
n [r/min]	<input type="text" value="100.45"/>
v [mm ² /s]	<input type="text" value="165"/>
F _r [N]	<input type="text" value="0.853"/>
F _a [N]	<input type="text" value="0"/>
H _{EHL}	<input type="text" value="0.05"/>
<input checked="" type="radio"/> Grasa <input type="radio"/> Método de lubricación por proyección de gotas de aceite <input type="radio"/> Baño de aceite <input type="radio"/> Inyector de chorro de aceite	
H [mm]	
K _{rs}	<input type="text" value="6e-8"/>
W _s [W/°C]	<input type="text"/>

Par de rozamiento rodante

$\Phi_{ish} \Phi_{rs} M_{rr}$ [Nmm] 0.0895

Par de rozamiento deslizando

M_{sl} [Nmm] 0.000126

Par de rozamiento de las obturaciones

M_{seal} [Nmm] 0

Par de rozamiento de las pérdidas de energía debidas a la agitación del aceite

M_{drag} [Nmm] 0

Par de rozamiento total

M [Nmm] 0.0896

Pérdida de potencia

N_R [W] 0.000942

Par de arranque

M_{start} [Nmm] 0.00018

[Más información](#)

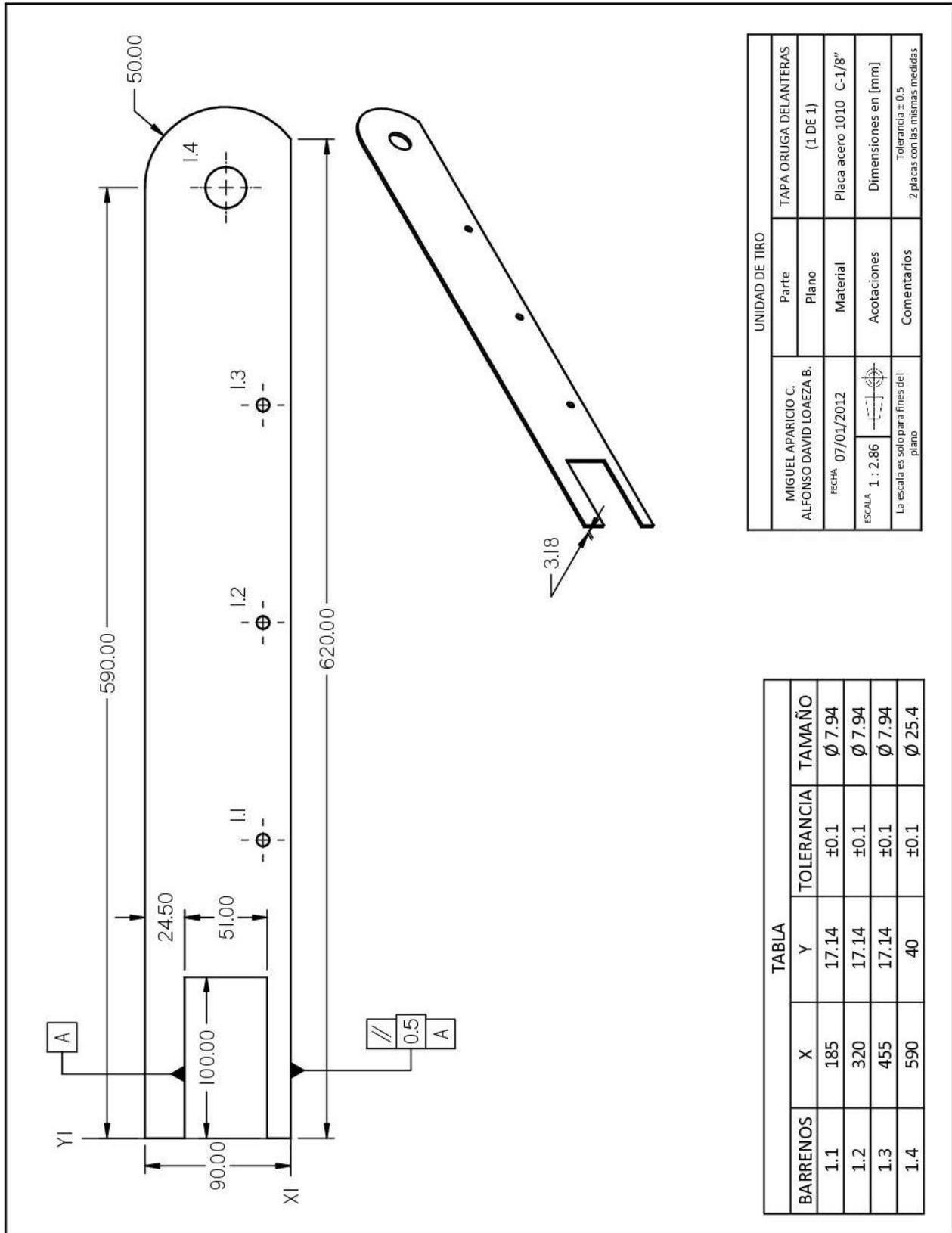
Incremento de temperatura

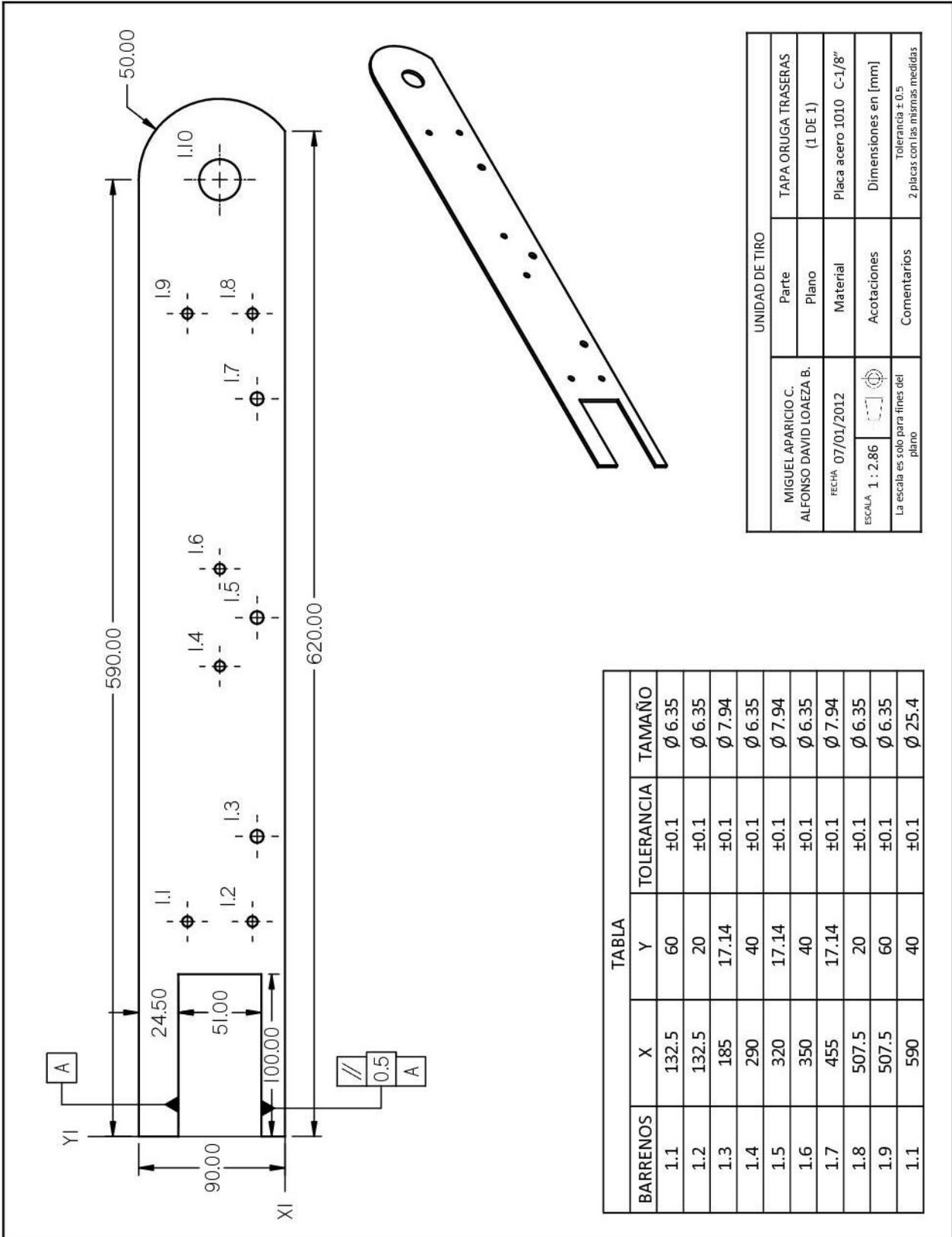
ΔT [°C]



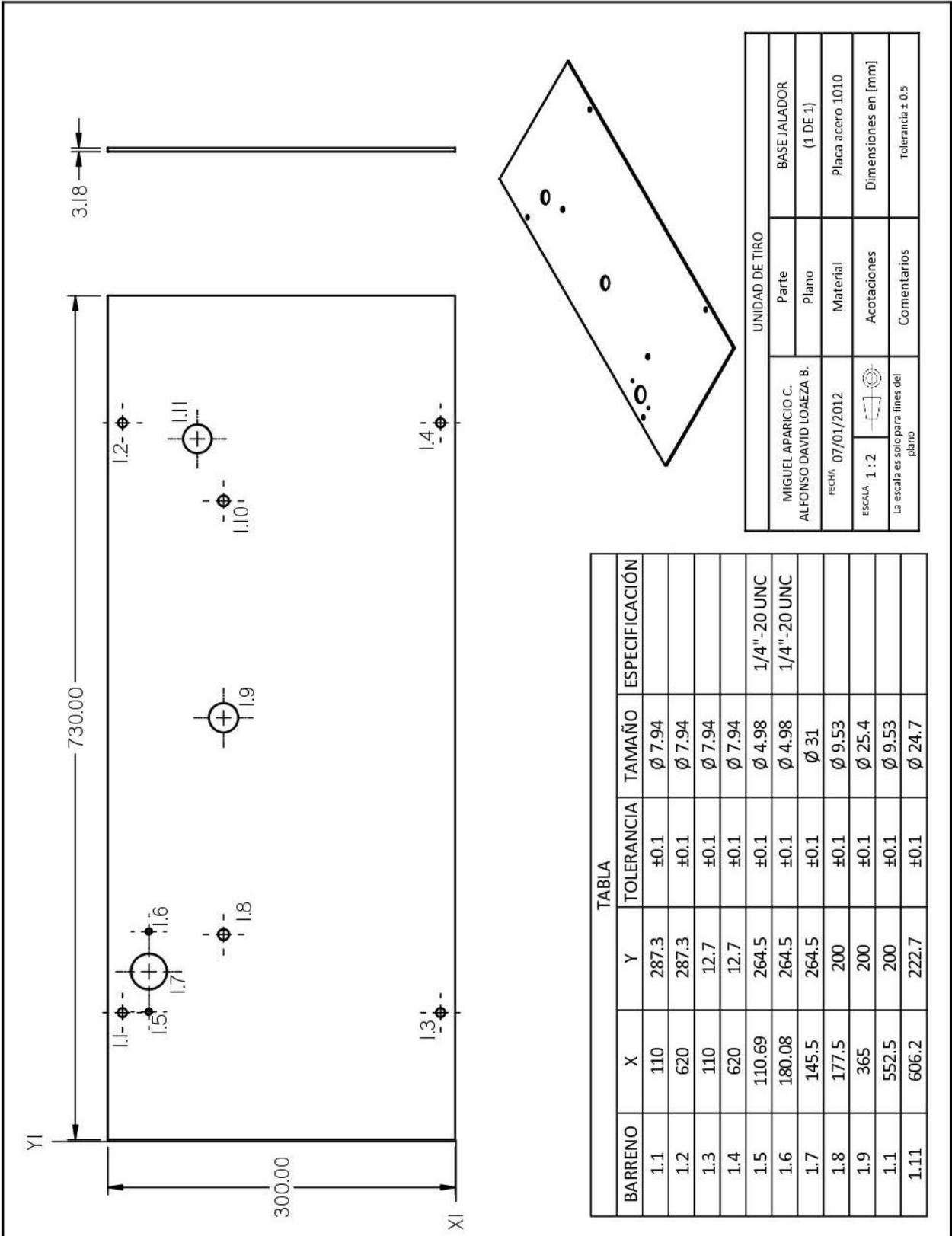
APÉNDICE B

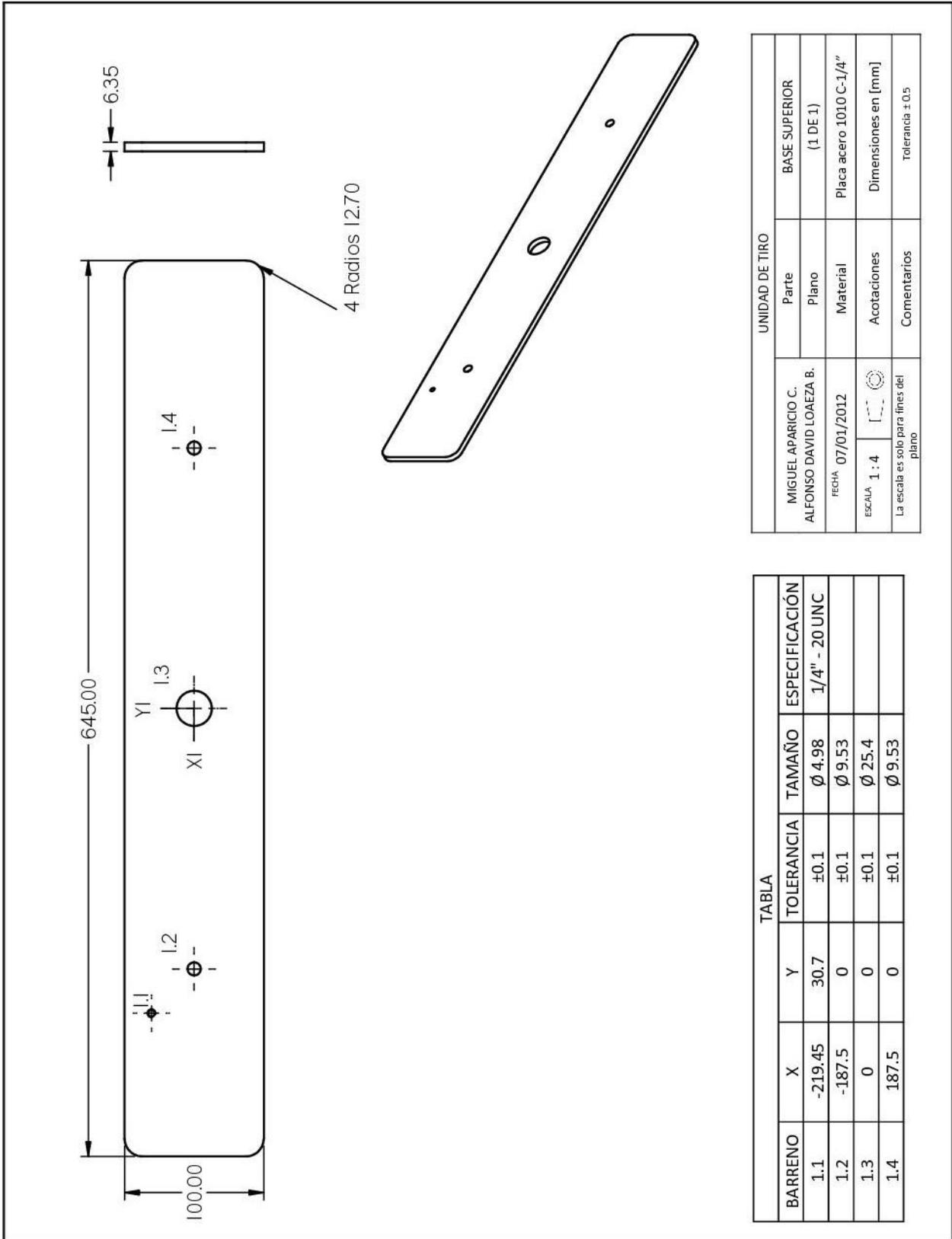
PLANOS DE DISEÑO





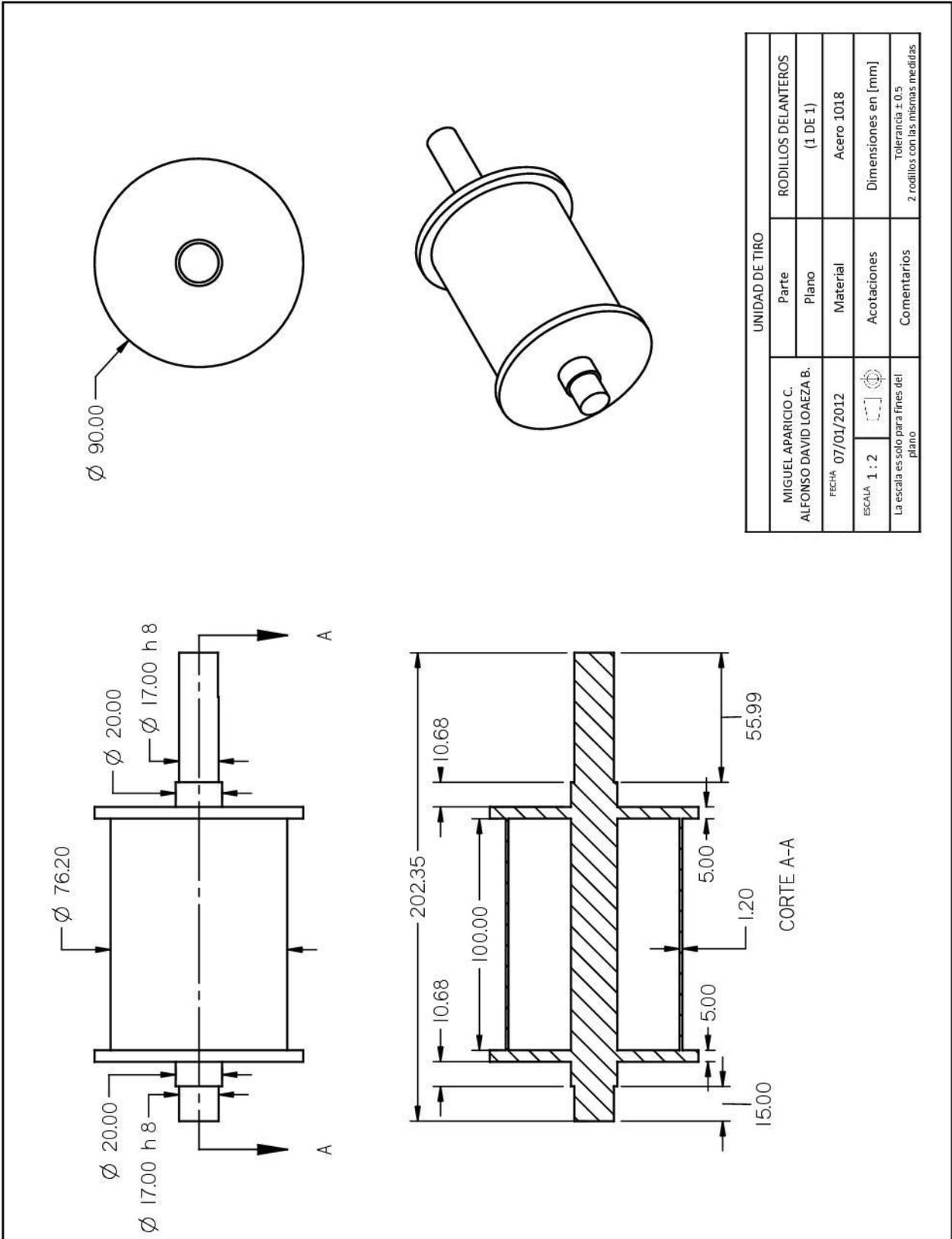
UNIDAD DE TIRO	
MIGUEL APARICIO C. ALFONSO DAVID LOAEZA B.	TAPA ORUGA TRASERAS
FECHA 07/01/2012	(1 DE 1)
ESCALA 1 : 2.86	Material Placa acero 1010 C-1/8"
La escala es solo para fines del plano	Acotaciones Dimensiones en [mm]
	Comentarios Tolerancia ±0.5 2 placas con las mismas medidas





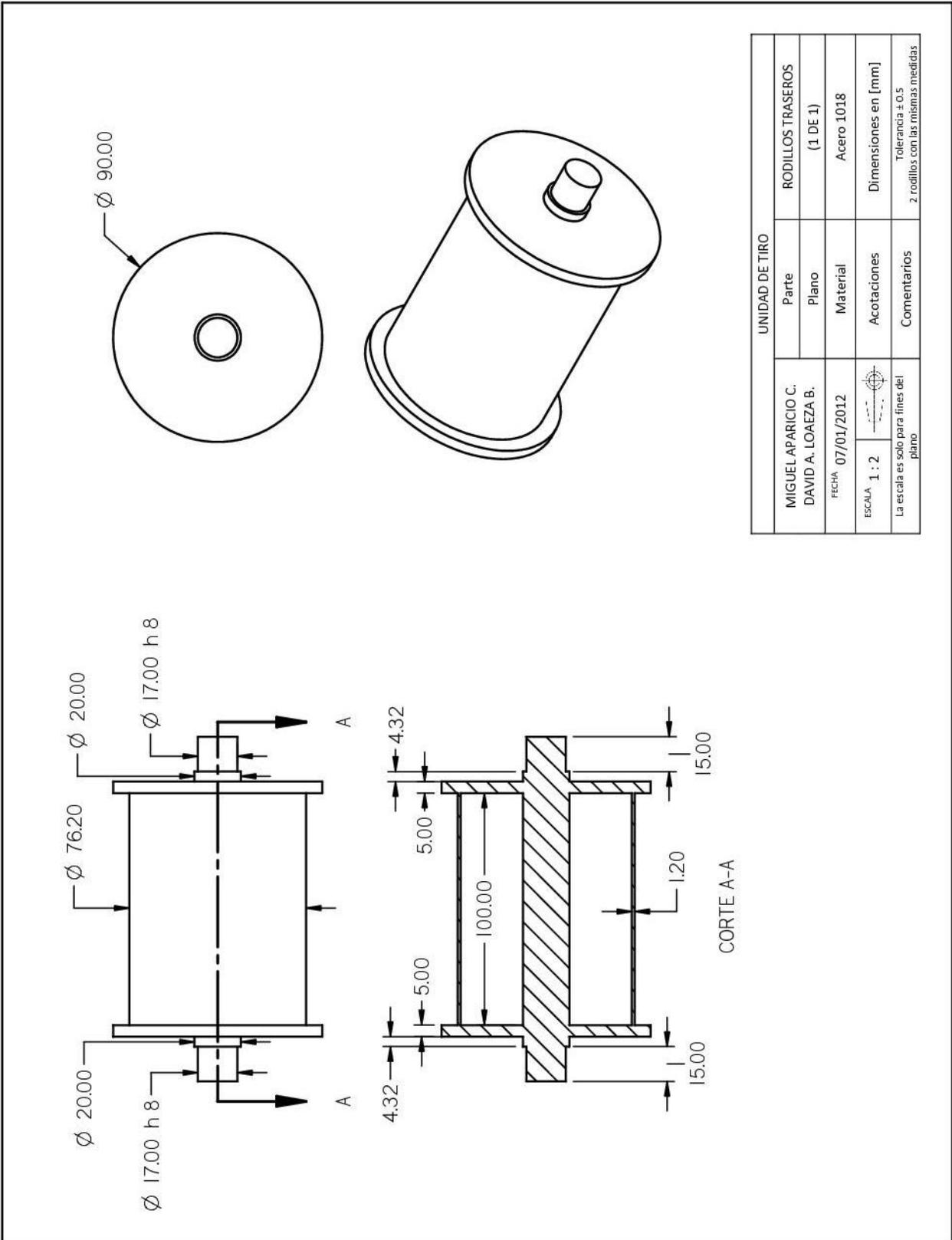


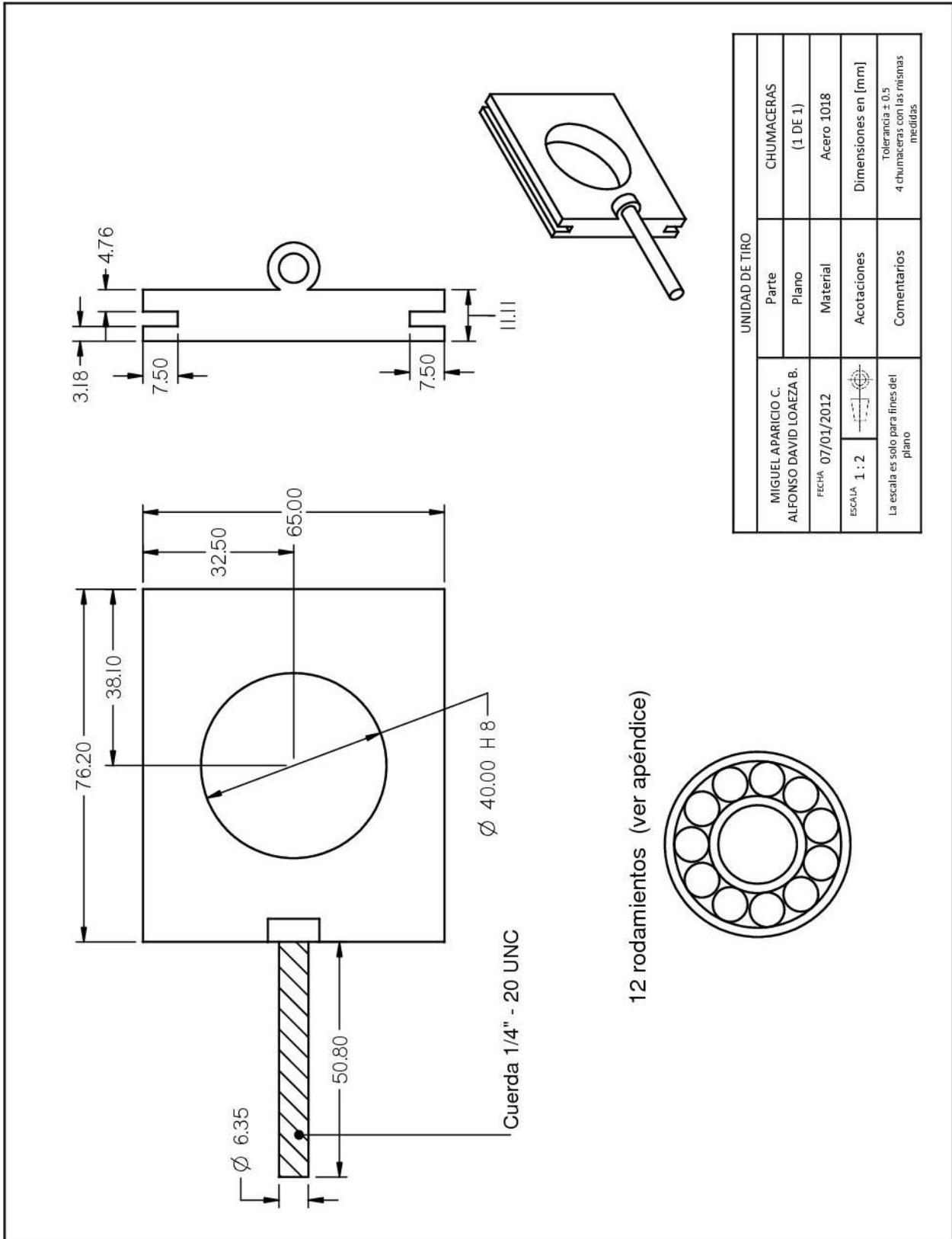
DISEÑO Y MANUFACTURA DE UN CARRO DE ARRASTRE PARA UNA MÁQUINA DE EXTRUSIÓN

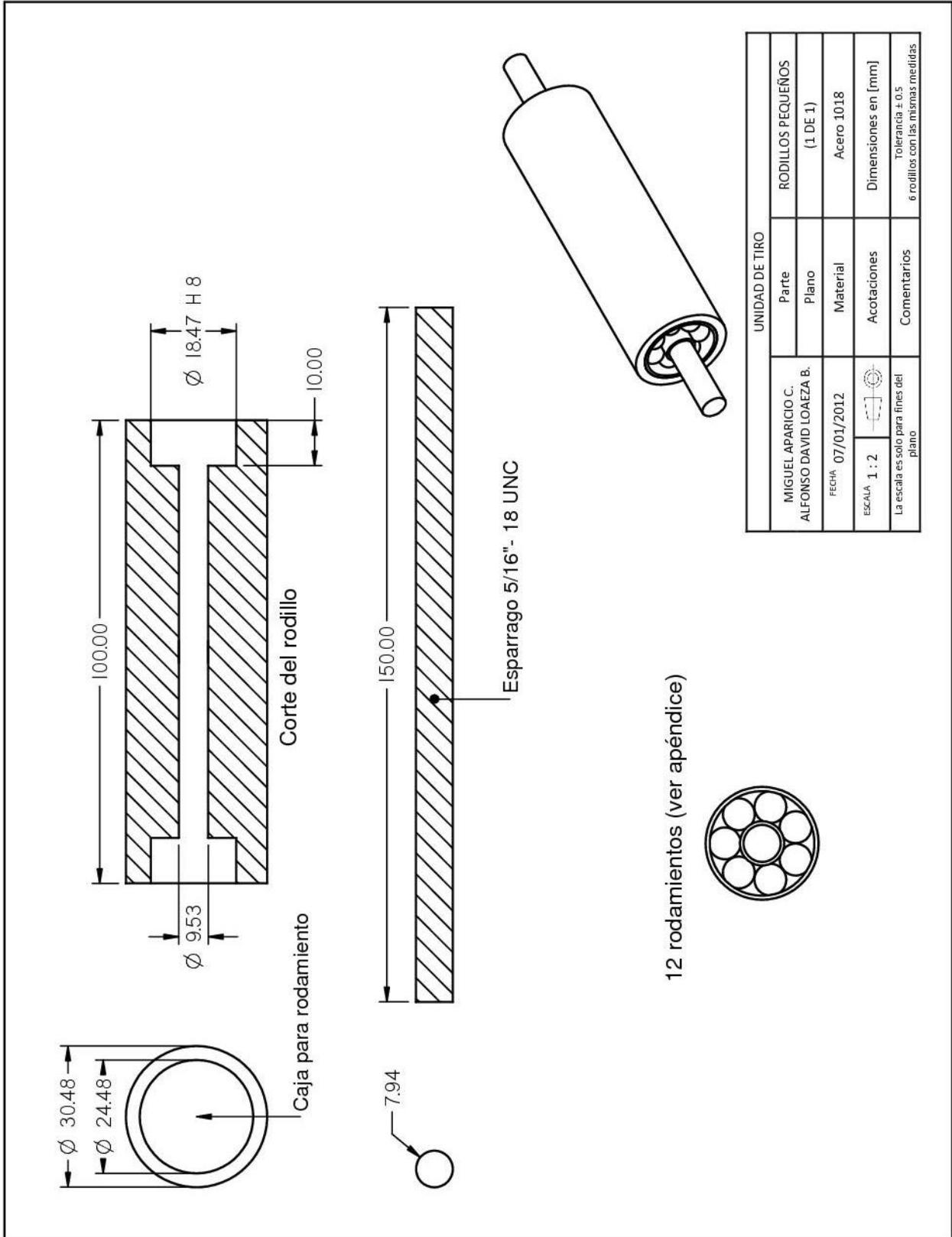




DISEÑO Y MANUFACTURA DE UN CARRO DE ARRASTRE PARA UNA MÁQUINA DE EXTRUSIÓN

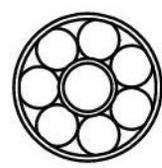


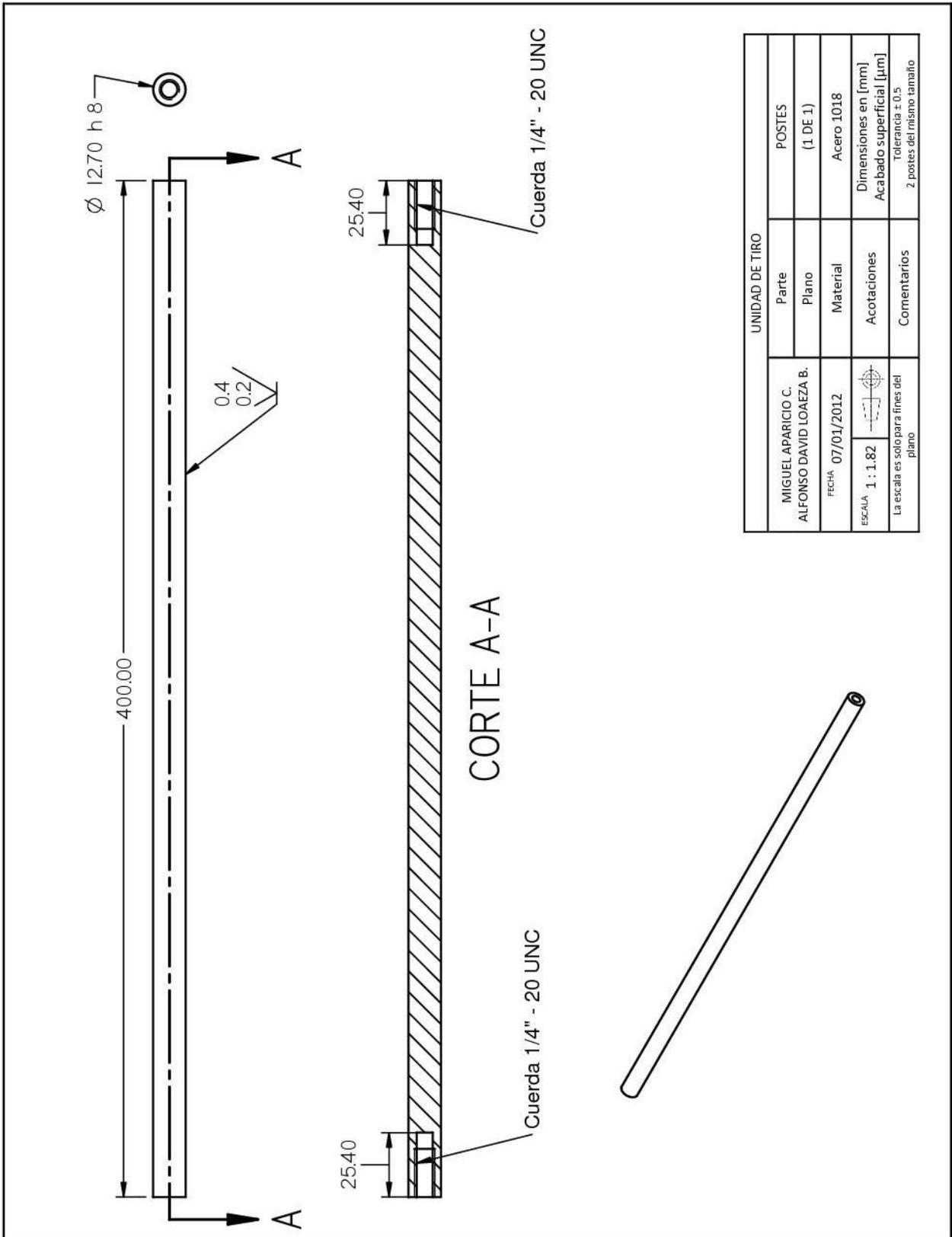




UNIDAD DE TIRO	
Parte	RODILLOS PEQUEÑOS (1 DE 1)
Material	Acero 1018
Acotaciones	Dimensiones en [mm] Tolerancia ± 0.5 6 rodillos con las mismas medidas
Comentarios	

12 rodamientos (ver apéndice)

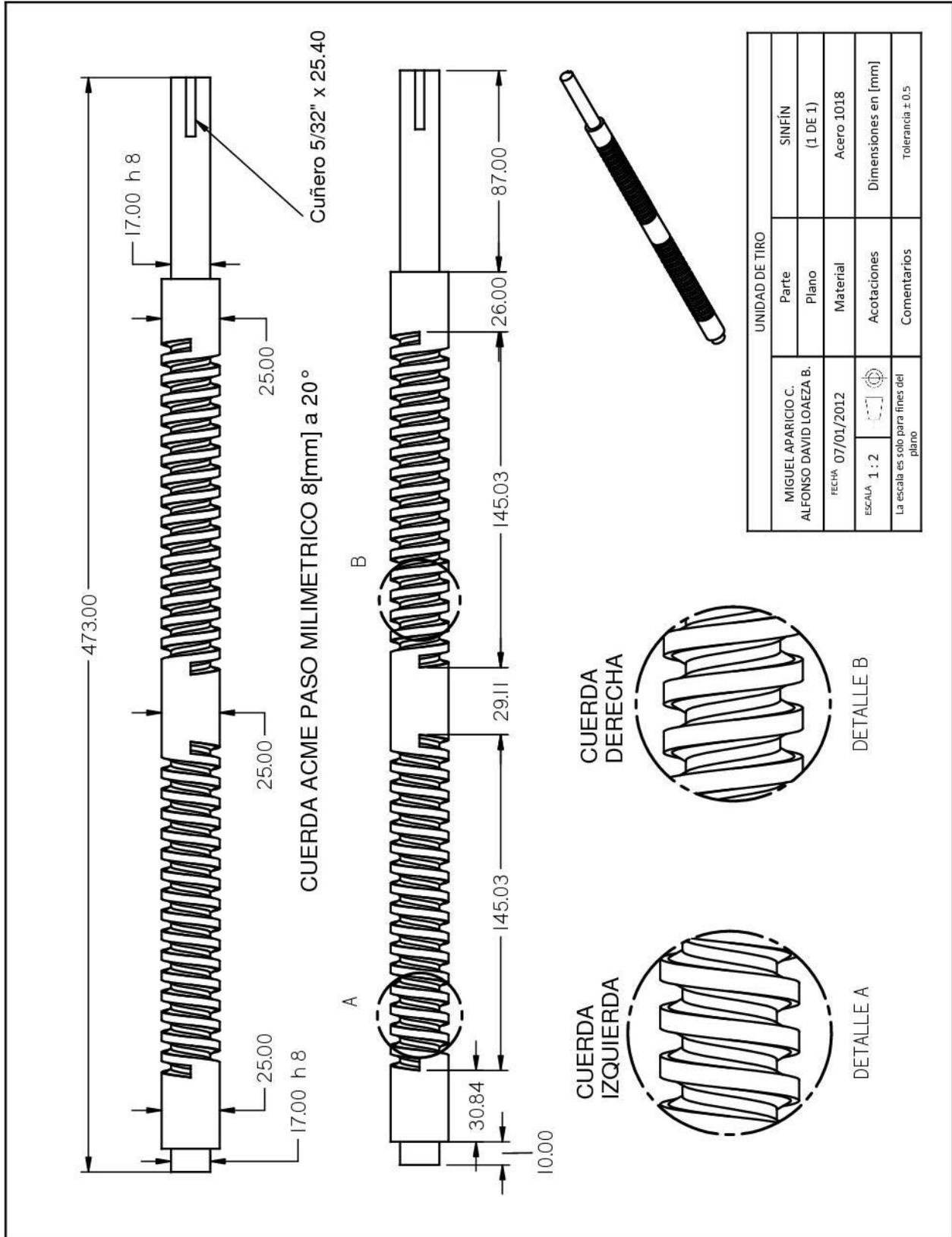


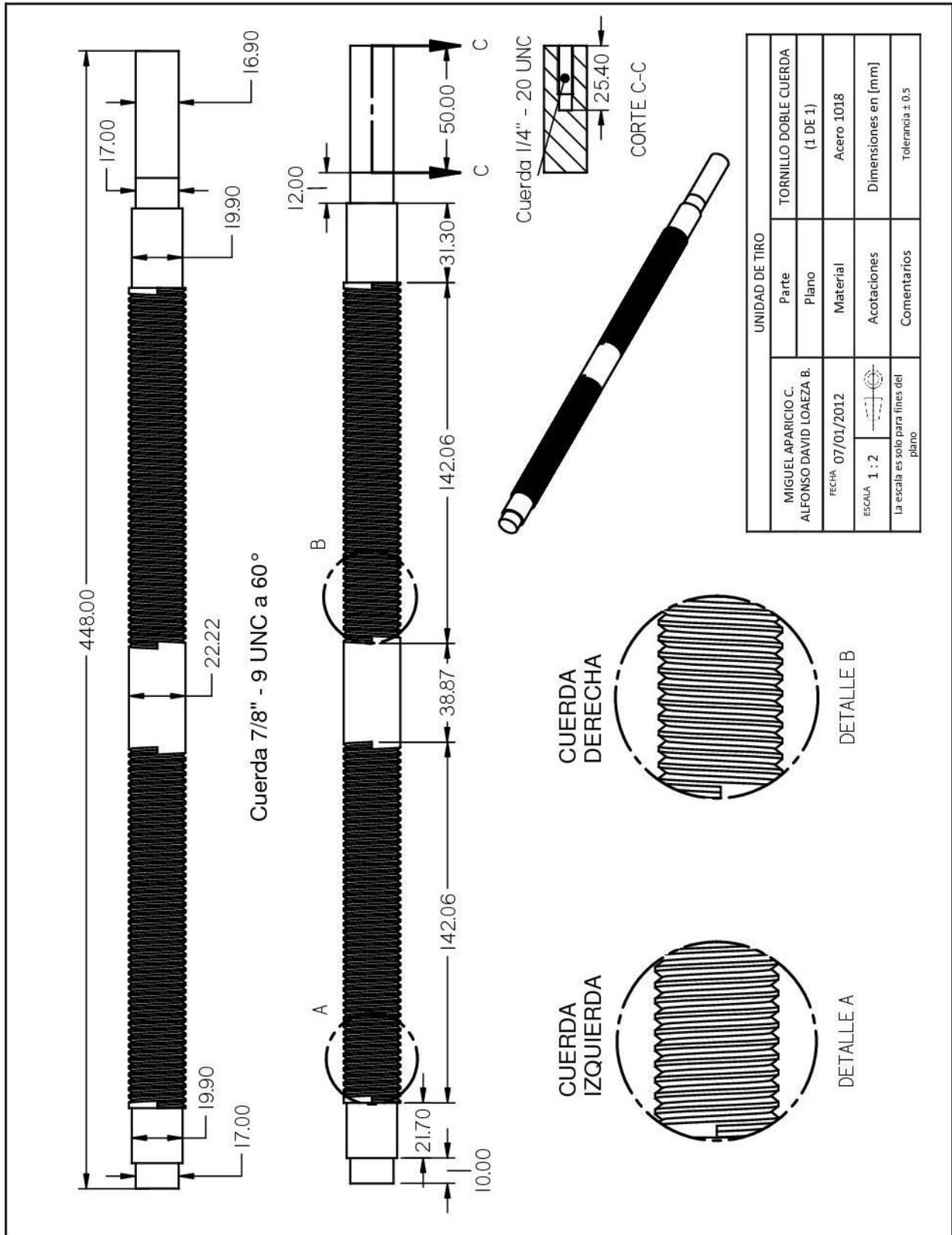


UNIDAD DE TIRO	
MIGUEL APARICIO C. ALFONSO DAVID LOAEZA B.	POSTES (1 DE 1)
FECHA 07/01/2012	Material Acero 1018
ESCALA 1 : 1.82	Acotaciones Dimensiones en [mm] Acabado superficial [µm]
La escala es solo para fines del plano	Comentarios Tolerancia ± 0.5 2 postes del mismo tamaño



DISEÑO Y MANUFACTURA DE UN CARRO DE ARRASTRE PARA UNA MÁQUINA DE EXTRUSIÓN

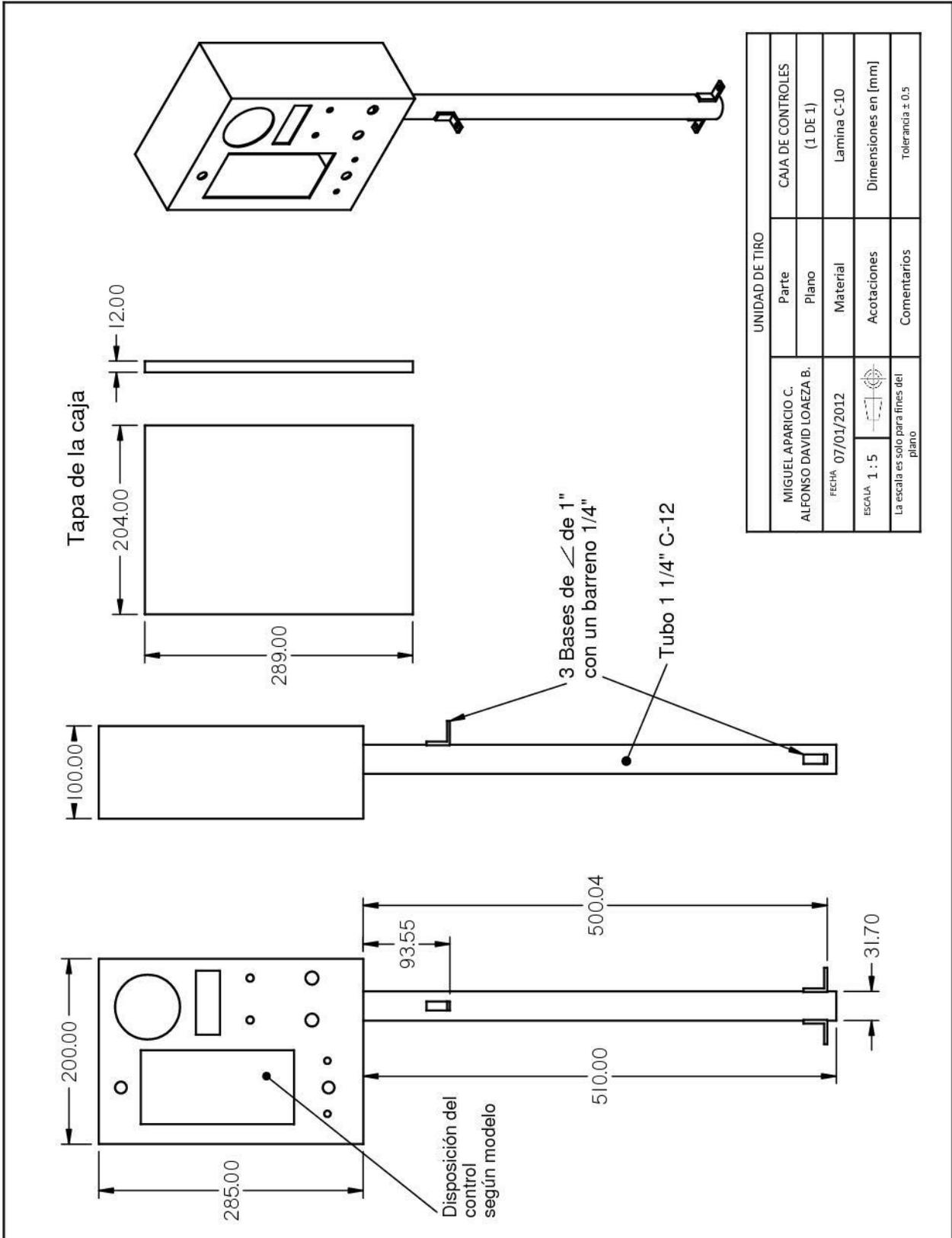






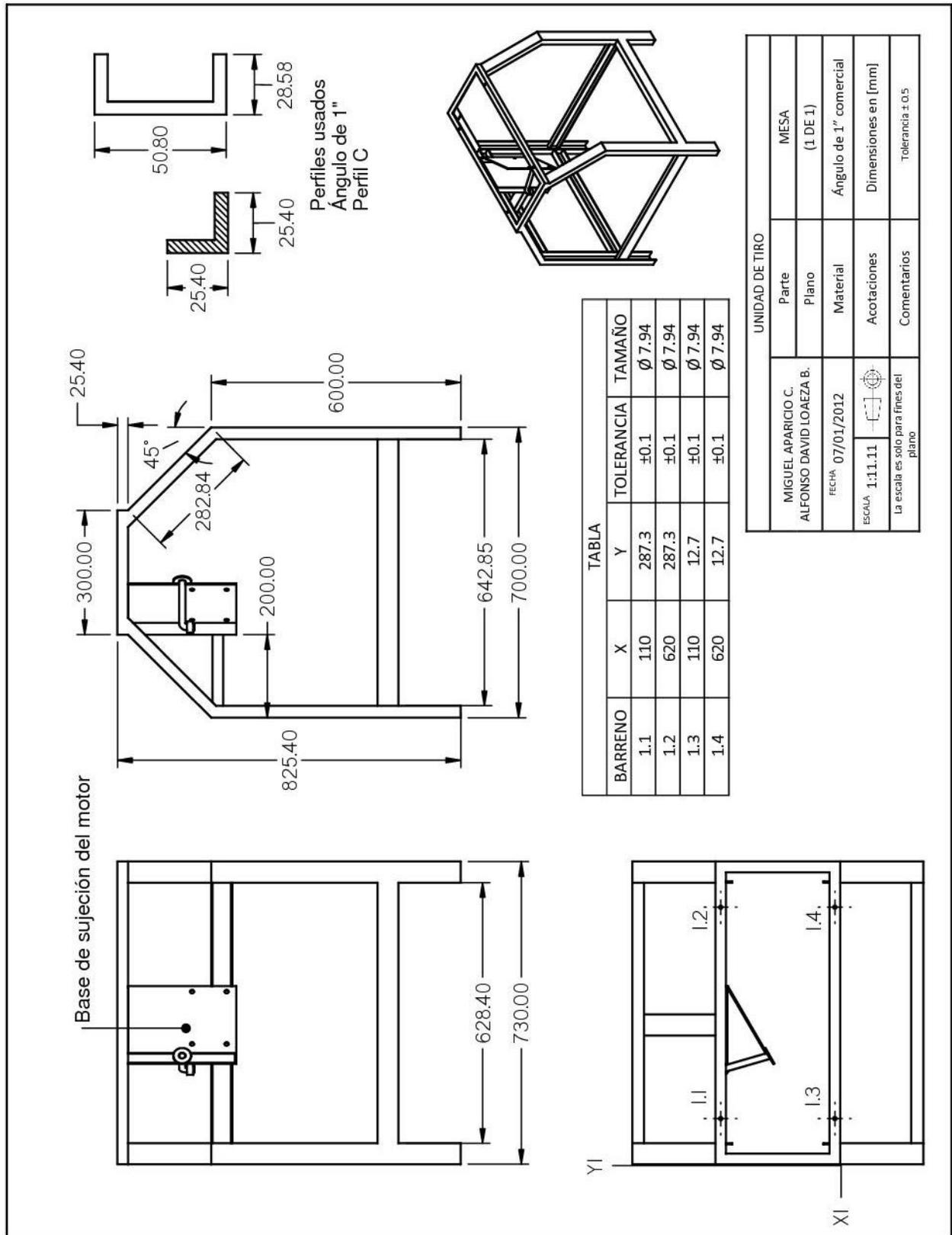
Banda lisa de neopreno de 1051 x100 x 9.53

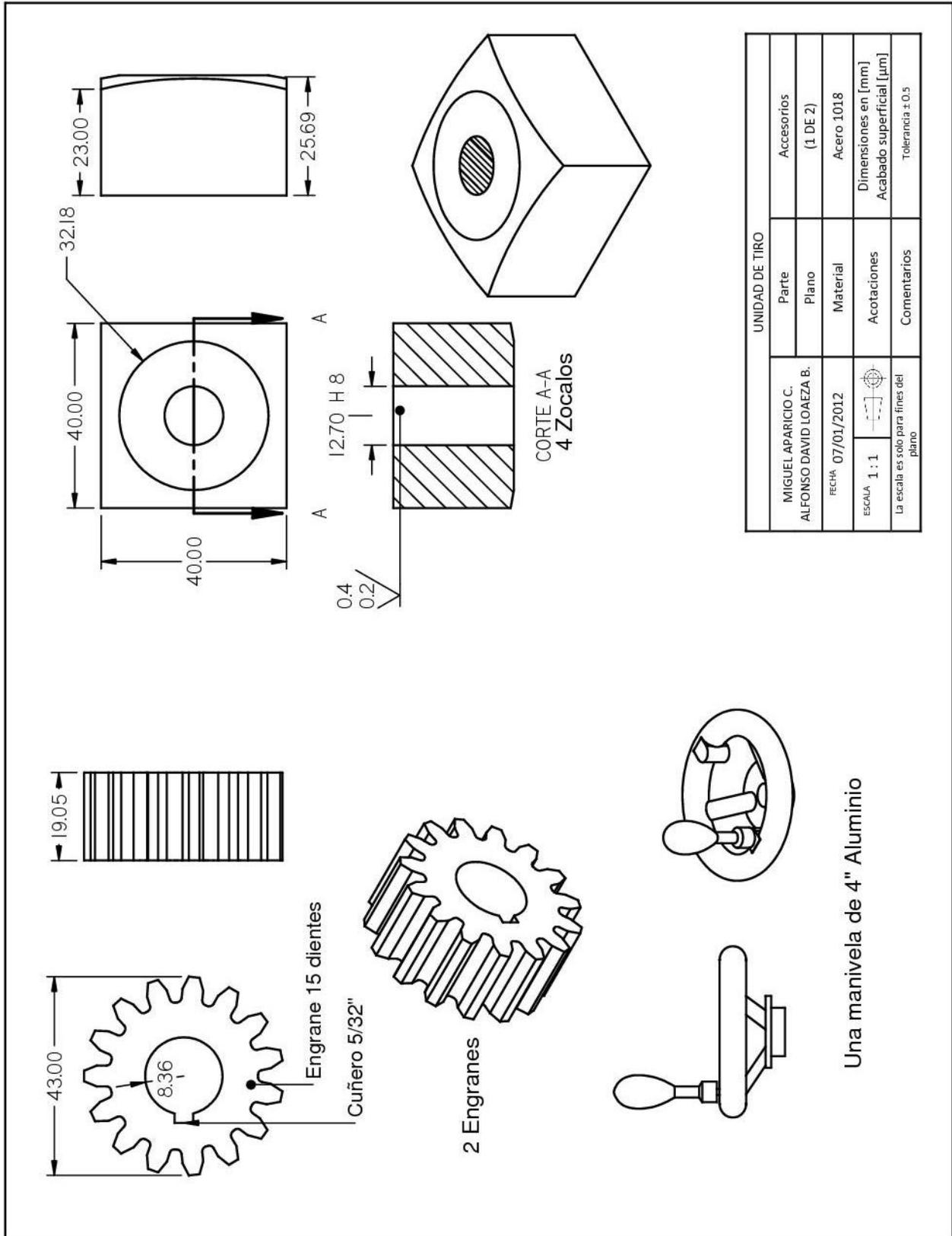
UNIDAD DE TIRO	
MIGUEL APARICIO C. ALFONSO DAVID LOAEZA B.	BANDAS (1 DE 1)
FECHA 07/01/2012	Material Neopreno
ESCALA 1 : 4 La escala es solo para fines del plano	Acotaciones Dimensiones en [mm]
	Comentarios 2bandas con las mismas medidas

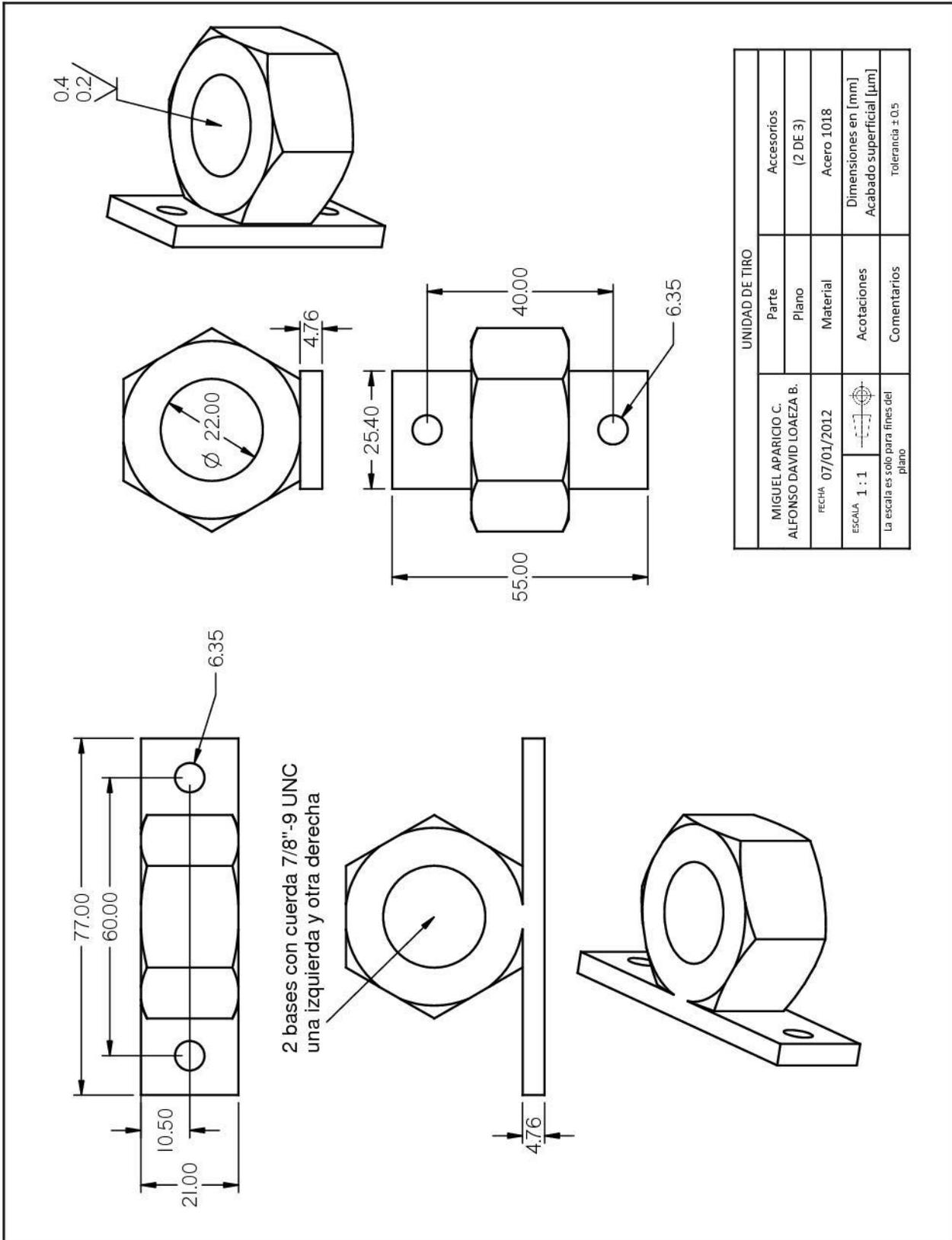


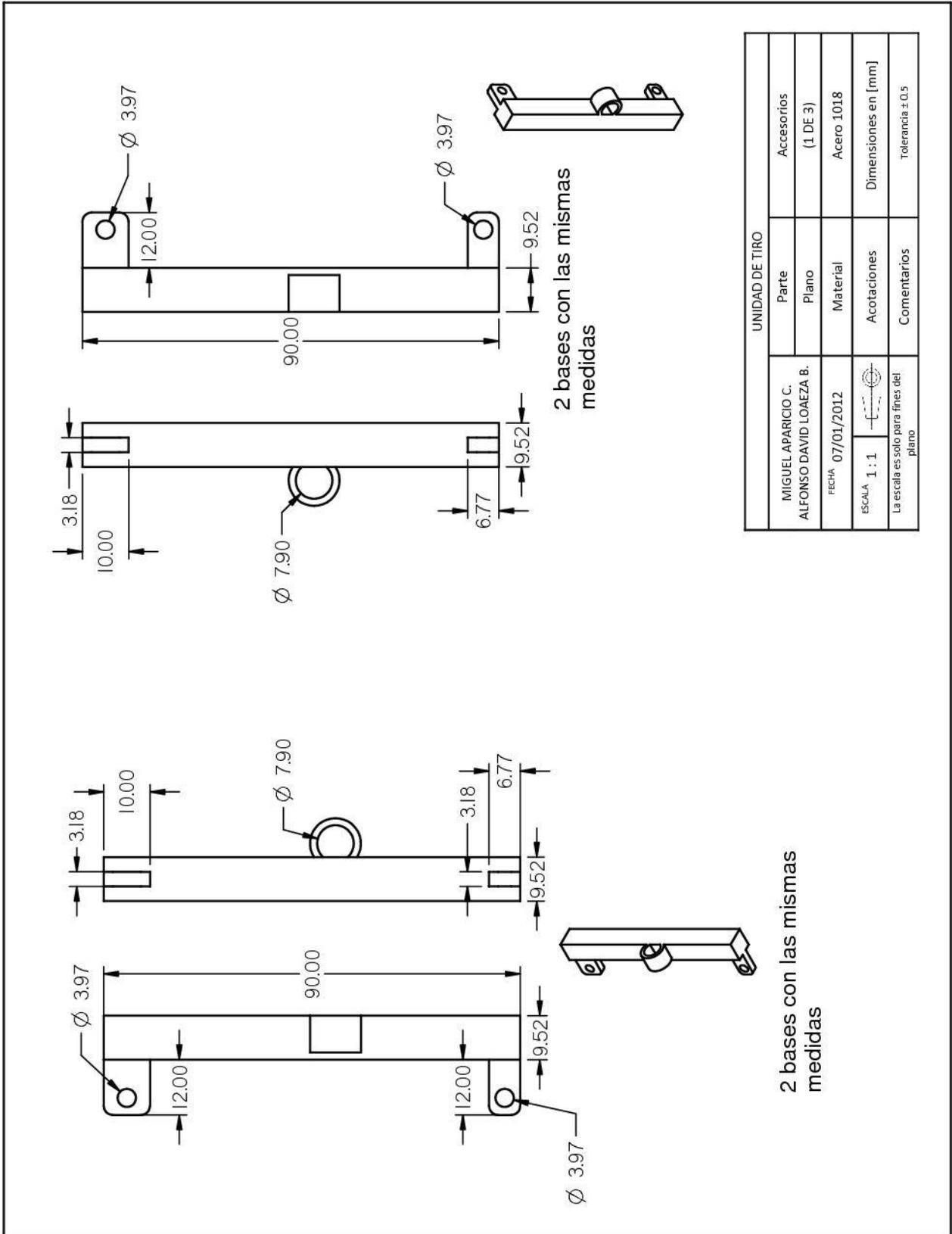


DISEÑO Y MANUFACTURA DE UN CARRO DE ARRASTRE PARA UNA MÁQUINA DE EXTRUSIÓN



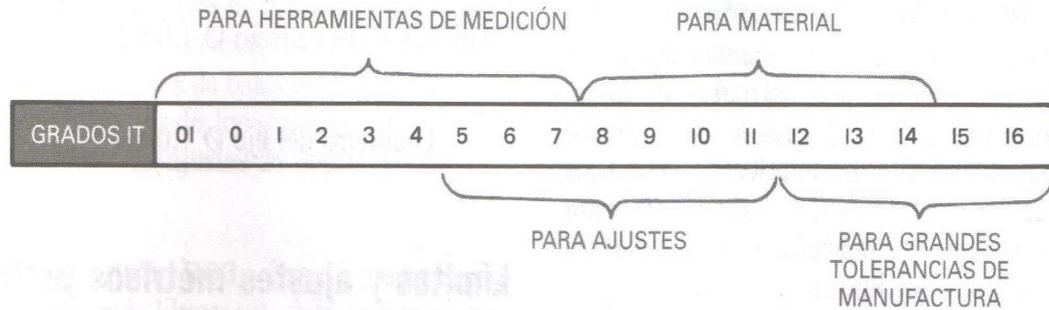








REFERENCIAS DE TOLERANCIAS



A) APLICACIONES

PROCESOS DE MAQUINADO	GRADOS DE TOLERANCIA									
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
LAPIDADO Y PULIDO POR ABRASIVOS										
RECTIFICADO CILÍNDRICO										
RECTIFICADO DE SUPERFICIE										
TORNEADO CON PUNTA DE DIAMANTE										
TALADRADO CON PUNTA DE DIAMANTE										
BROCADO										
AVELLANADO										
TORNEADO										
TALADRADO										
FRESADO										
CEPILLADO Y LIMADO										
BARRENADO										

B) APLICACIONES PARA PROCESOS DE MAQUINADO



DISEÑO Y MANUFACTURA DE UN CARRO DE ARRASTRE PARA UNA MÁQUINA DE EXTRUSIÓN



PROMEDIO DE ASPEREZA DE SUPERFICIE ASEQUIBLE POR MÉTODOS DE PRODUCCIÓN CONVENCIONALES													
PROCESOS	ÍNDICE DE ALTURA DE ASPEREZA EN MICRÓMETROS μm (MICROPULGADAS $\mu\text{in.}$) AA.												
	(μm)	50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05	0.012
	$(\mu\text{in.})$	(2000)	(1000)	(500)	(250)	(125)	(63)	(32)	(16)	(8)	(4)	(2)	(1)
OXICORTE													
ALLANADO													
ASERRADO													
CEPILLADO Y LIMADO													
BARRENADO													
FRESADO QUÍMICO													
MAQ. POR DESCARGA ELÉCTRICA													
FRESADO													
BROCADO													
AVELLANADO													
POR RAYO DE ELECTRÓN													
LÁSER													
ELECTROQUÍMICO													
TALADRADO, TORNEADO													
ACABADO POR TAMBOR													
RECTIFICADO ELECTROLÍTICO													
BRUÑIDO POR RODILLOS													
RECTIFICADO													
PULIDO POR ABRASIVO													
ELECTROPULIDO													
PULIDO													
LAPIDADO													
SUPERPULIDO													
MODELO EN ARENA													
POR RODILLO CALIENTE													
TROQUELADO													
MOLDE DE ARENA PERMANENTE													
POR FUSIÓN A LA CERA PERDIDA													
MOLDEO POR INYECCIÓN													
POR RODILLO FRÍO EMBUTIDO													
MOLDEO EN CONCHA													
APLICACIÓN TÍPICA	SUPERFICIE MUY ÁSPERA COMPARABLE AL MOLDEO POR ARENA	SUPERFICIE ÁSPERA RARA VEZ UTILIZADA	SUPERFICIE BURDA COMPARABLE CON SUPERFICIES CON TERMINADO POR RODILLO O TROQUELADO	ACABADO MEDIO USADO COMUNMENTE. APARIENCIA RAZONABLE	BUENO PARA AJUSTES CERRADOS, NO APTO PARA MIEMBROS CON ROTACIÓN RÁPIDA	UTILIZADO EN EJES Y SOPORTES DE CARGA LIGERA CON VELOCIDADES MODERADAS	EMPLEADO EN EJES DE ALTA VELOCIDAD Y SOPORTES	UTILIZADO EN CALIBRADOR DE PRECISIÓN E INSTRUMENTOS COSTOSOS DE TRABAJO	ACABADO REFINADO, COSTOSO DE PRODUCIR	SUPERPULIDO, COSTOSO, RARA VEZ UTILIZADO			
LOS RANGOS MOSTRADOS EN LA TABLA SON TÍPICOS DE LOS PROCESOS LISTADOS. VALORES MAYORES O MENORES SE OBTIENEN BAJO CONDICIONES ESPECIALES													
CLAVE	APLICACIÓN PROMEDIO						APLICACIÓN MENOS FRECUENTE						

8-7-4 Índice de aspereza de superficie con métodos de producción convencionales.



BIBLIOGRAFÍA

- Cencil Jensen, Jay D. Hesel, Dennis R. Short. *“Dibujo y Diseño en ingeniería”*, 6ª edición, Mc Graw Hill, 2004.
- Hibberler R. C., *“Mecánica Vectorial para Ingenieros”*. Dinámica, décima edición , México 2004.
- Ayala Ruiz Alvaro,. *“Normas para dibujo mecánico e industrial”*, Facultad de Ingeniería, UNAM, México, 2007.
- Haper Charles A. *“Manual de plásticos”*, 1ª edición, Mc Graw Hill, 2004.
- Birley Arthur W., Haworth Barry, Batchelor Jim, *“Physics of Plastics”*, Hanser, 1992.
- Vargas Blanco R. *“Enciclopedia del plástico tomo 4”*, 2ª edición, Centro empresarial del plástico, 1999/2000.
- Rowe, G. W., *“Principles of Industrial Metalworking Processes”*, London, Edward Arnold, 1977.
- Mielnik, E., *“Metalworking Science and Engineering”*, New York, McGraw-Hill Inc., 1991.
- Lange, K., (Editor), *“Handbook of Metal Forming”*, New York, McGraw-Hill Book Co., 1968.
- Hosford, W. and Caddell, R., *“Metal Forming, Mechanics and Metallurgy”*, Cambridge University Press, Prentice Hall, 1993.
- Richardson, G. J., Hawkins, D. N. and Sellars, C. M., *“Worked Examples in Metal Forming”*, London, The Institute of Metals, 1985.
- White Call, F., *“Mecánica de Fluidos”*, 5ta Edición, New York, McGraw-Hill Inc., 2010.
- Incropera F., De Witt P., *“Fundamentos de Transferencia de Calor”*, 4ta Edición, Pearson México, 2001.



REFERENCIAS

- [1] <http://www.whatisplastic.com/?p=47>
- [2] <http://www.contactopyme.gob.mx/guiasempresariales/guias.asp?s=14&guia=104&giro=10&ins=985>
- [3] <http://materias.fcyt.umss.edu.bo/tecno-II/PDF/cap-23.pdf>
- [4] R.J. Crawford. “Plastics Engineering”, 3ª edición, Butterworth Heinemann, 1998.
- [5] Data from F. Röthemeyer, Elastic Effects in the Extrusion of Plastic Melts. Ph. D. Thesis, University of Stuttgart, 1970.
- [6] Osswald, Tim A., Polymer processing :modeling and simulation/Tim A. Osswald, Juan P. Hernández-Ortiz.—1 st ed.
- [7] Manufacturing processes. J.P. Kaushish, Prentice – Hall of India. 2008
- [8] <http://www.tecnova-srl.it>
- [9] <http://www.supplierlist.com/b2b/products/htsplmac/p-0/showroom.htm>
- [10] Kirk Cantor., Blown Film Extrusion “An introduction”, USA, Hanser, 2006.
- [11] Martínez, José de Jesús, TESIS “Diseño y manufactura de un dado para extrusión de un perfil tubular plástico de sección circular”, México, UNAM, 2009



**DISEÑO Y MANUFACTURA DE UN CARRO DE ARRASTRE PARA UNA MÁQUINA
DE EXTRUSIÓN**

