



**ACTUALIZACIÓN DEL SISTEMA
ELECTRÓNICO Y DISEÑO DEL SISTEMA DE
BOBINADO DE UNA MÁQUINA DE PRUEBAS
DIDÁCTICAS PARA DESARROLLAR LOS
PROCESOS DE EXTRUSIÓN, HALADO Y
BOBINADO PARA POLIETILENO.**

**Juan Sebastián Cardozo Flórez
Carlos Santiago Roballo Vargas**

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Bogotá, Colombia
2020

ACTUALIZACIÓN DEL SISTEMA ELECTRÓNICO Y DISEÑO DEL SISTEMA DE BOBINADO DE UNA MÁQUINA DE PRUEBAS DIDÁCTICAS PARA DESARROLLAR LOS PROCESOS DE EXTRUSIÓN, HALADO Y BOBINADO PARA POLIETILENO.

Juan Sebastián Cardozo Flórez
Carlos Santiago Roballo Vargas

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Mecánico e Ingeniero Electromecánico

Director:
José Germán Gutiérrez Rozo

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Bogotá, Colombia
2020

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios y su bondad al darme la oportunidad de haber culminado esta etapa en mi vida, a mis padres Blanca Graciela, Elvira, Víctor y Jairo Reyes personas incondicionales en mi vida y en este proceso quienes con su apoyo incondicional me brindaron la fortaleza de cumplir el reto, a mis hermanos María Fernanda y Sergio Andrés fuente de ejemplo y resistencia ante las adversidades que se presentaron en este difícil camino.

A mi novia Ana María por su incalmable paciencia y perseverancia ante tantas adversidades durante el proceso, gracias por siempre estar hay en cada momento que lo necesitaba, desde el más difícil hasta el más alegre, sin ti a mi lado, esto no habría sido posible, en fin a toda mi familia y amigos por sus consejos y amistad aquellos que estuvieron en las buenas y sobre todo en las malas.

Juan Sebastián Cardozo Flórez

Agradecimiento

Un sincero agradecimiento a la Universidad Antonio Nariño, en especial a FIMEB, por hacer de mí un profesional íntegro y responsable, dispuesto a ser útil a la sociedad, a construir un mundo mejor.

A los docentes que inculcaron con sabiduría su conocimiento en mí para llegar hasta donde estoy en estos momentos, en especial al Ing. José Gutiérrez, quien fue fuente fundamental para la culminación de este proyecto y sin su apoyo no hubiera sido lo mismo.

Finalmente a todas y cada una de las personas que me acompañaron en este proceso, amigos, familiares y compañeros, gracias por hacer de esta la etapa más maravillosa de mi vida.

Juan Sebastián Cardozo Flórez

Resumen

La Universidad Antonio Nariño sede Sur cuenta con un laboratorio de materiales con diversos tipos de equipos para realizar prácticas en algunas de las asignaturas de carreras tecnológicas y de ingeniería. Entre estos equipos se encuentra una máquina de extrusión de polietileno la cual fue útil hace algunos años para enseñar los procesos de extrusión y halado.

Este trabajo consiste en la actualización del sistema electrónico de una máquina extrusora de los laboratorios de FIMEB de la universidad Antonio Nariño, esta actualización consistió en la implementación de un variador de frecuencia para el sistema de extrusión accionado por un motorreductor de 1,2 HP, adicionalmente se encontró que a manera de mejora para la máquina se deben implementar controles de temperatura digitales para aumentar la fiabilidad en las zonas de resistencias buscando que se puedan evitar daños en el producto extruido por fallas en la temperatura del proceso. De la misma manera en el documento también se puede ver la metodología que se tenía prevista para poner en funcionamiento el módulo de extrusión, el cual desafortunadamente no se pudo concluir. Por otro lado, con el fin de implementar un proceso adicional a los que se desarrollaban en la extrusora, se realizó el diseño de un módulo de bobinado a fin de poder implementar un sistema que pueda ayudar a visualizar este proceso de manufactura. Por último, teniendo en cuenta el diseño del módulo de bobinado se realizó un rediseño del sistema de refrigeración con el que contaba la máquina.

Palabras clave: Actualización, diseño, extrusora, bobinado, polietileno.

Abstract

The University Antonio Nariño, South headquarters, has a materials laboratory with various types of equipment to carry out practices in some of the subjects of technological and engineering careers. Among this equipment is a polyethylene extrusion machine which was useful a few years ago to teach extrusion and pulling processes.

This work consists of updating the electronic system of an extruder machine in the FIMEB laboratories of the Antonio Nariño university, this update consisted of the implementation of a frequency variator for the extrusion system driven by a 1.2 HP gear motor, Additionally, it was found that as an improvement for the machine, digital temperature controls should be implemented to increase the reliability in the resistance zones, seeking to avoid damage to the extruded product due to faults in the process temperature. In the same way, in the document, you can also see the methodology that was planned to put the extrusion module into operation, which unfortunately could not be concluded. On the other hand, in order to implement an additional process to those that were developed in the extruder, the design of a winding module was carried out in order to be able to implement a system that can help to visualize this manufacturing process. Finally, taking into account the design of the winding module, a redesign of the refrigeration system of the machine was carried out.

Keywords: Actualization, design, extruder, winding, polyethylene

Contenido

	Pág.
Resumen.....	V
Lista de figuras	VIII
Lista de tablas	IX
Lista de símbolos y abreviaturas	11
Introducción.....	12
OBJETIVOS.....	15
Objetivo General.....	15
Objetivos Específicos.....	15
Justificación	16
1. METODOLOGIA	17
2. MARCO TEÓRICO	19
2.1 Proceso de extrusión.....	19
2.1.1 Componentes de una extrusora.....	20
2.1.1.1 Tornillo de extrusión	21
2.1.1.2 Cilindro	21
2.1.1.3 Garganta de alimentación.....	22
2.1.1.4 Cabezal o boquilla	23
2.2 Proceso de halado	24
2.3 Proceso de bobinado	24
2.3.1 Funcionamiento de una bobinadora	25
2.3.1.2 Enrollador	25
2.3.1.3 Sistema de guiado	26
2.4 Materiales	26
2.4.1 Materiales Termoplásticos.....	26
2.4.1.1 Polietileno.....	27
2.4.1.2 Polietileno de baja densidad (LDPE)	27
2.5 Mantenimiento.....	28
2.5.1 Mantenimiento preventivo	28
2.5.2 Mantenimiento predictivo	28
2.5.3 Mantenimiento correctivo	28
2.6 Mantenimiento a variadores de frecuencia	29
2.6.1 Fallos de variadores	30
2.6.1.2 Disturbios en la calidad de energía norma técnica IEEE 1159.....	30
3. Desarrollo del proyecto	31
3.1 Diagnóstico	31
3.1.1 Diagnóstico Eléctrico:	31
3.1.2 Diagnóstico variador módulo de halado:	34
3.1.3 Diagnóstico de motores	35
3.1.4 Diagnóstico de tornillo y cabezal de extrusión	38
3.1.5 Diagnóstico de sistema de refrigeración	39

3.2	Mantenimiento de motores.....	41
3.3	Mantenimiento de cabezal y boquilla	44
3.4	Actualización componentes electrónicos tablero de control	45
4.	Diseño módulo de bobinado	49
4.1	Lineamientos y características funcionales del módulo de bobinado.....	49
4.2	Tipo de bobina a escoger o diseñar	50
4.3	Torque y velocidad de bobinado	51
4.4	Tipo de material a utilizar	51
4.5	Cálculos del diseño.....	52
4.5.1	Diseño del eje principal	52
4.5.2	Diagramas de fuerza cortante y momento flector	56
4.5.3	Diagrama de momento flector	58
4.6	Cálculo diámetro del eje (Acero 1040)	58
4.7	Cálculo del eje del rodillo guidor	60
5.	Rediseño de módulo de refrigeración	71
5.1	Sistema de refrigeración anterior	71
5.2	Bosquejo del nuevo diseño del sistema de refrigeración.....	72
5.3	Sistema de refrigeración propuesto y modulado en CAD	73
5.4	Cálculos para el sistema de refrigeración	75
5.4.1	Bomba Hidráulica	75
5.4.2	Pérdidas en el sistema	78
5.4.3	Potencia de la bomba.....	81
6.	Conclusiones y recomendaciones	83
6.1	Conclusiones	83
6.2	Recomendaciones	84
7.	Bibliografía	85

Lista de figuras

	Pág.
Ilustración 1. Metodología a utilizar -----	17
Ilustración 2. Partes de una extrusora -----	20
Ilustración 3. Variables del husillo de una extrusora -----	21
Ilustración 4. Cilindro de extrusora -----	22
Ilustración 5. Garganta de alimentación-----	23
Ilustración 6. Cabezal y boquilla -----	23
Ilustración 7. Medidas de carretes-----	25
Ilustración 8. Tablero de la extrusora -----	31
Ilustración 9. Prueba de funcionamiento de variador -----	35
Ilustración 10. Motores sistema halado y refrigeración -----	36
Ilustración 11. Motor de sistema de extrusión -----	36
Ilustración 12. Revisión del cilindro de extrusión-----	38
Ilustración 13. Revisión de dado y cilindro-----	39
Ilustración 14. Estado inicial de la bomba -----	40
Ilustración 15. Estado inicial de los depósitos de agua-----	40
Ilustración 16. Estado de los rodamientos motorreductor-----	41
Ilustración 17. Estado inicial del lubricante de la caja de engranajes -----	42
Ilustración 18. Lubricante recomendado para la caja de engranajes -----	43
Ilustración 19. Cambio de lubricante caja de engranajes -----	43
Ilustración 20. Mantenimiento cabezal de extrusión-----	44
Ilustración 21. Paneles de control de variadores-----	47
Ilustración 22. Cambio de variador de módulo de extrusión -----	47
Ilustración 23. Cambio de elementos electrónicos del tablero de control -----	48
Ilustración 24. Diagrama de cuerpo libre para eje 1-----	53
Ilustración 25. Selección de rodamientos de acuerdo con tabla de SKF-----	59
Ilustración 26. Características del rodamiento escogido -----	60
Ilustración 27. Diagrama de cuerpo libre eje 2 -----	61
Ilustración 28. Selección de rodamiento -----	64
Ilustración 29. Características rodamiento seleccionado -----	64
Ilustración 30. Cálculo de fuerzas en poleas-----	65
Ilustración 31. Cálculo de fuerzas polea 2-----	66
Ilustración 32. Cálculo de fuerzas polea 3-----	67
Ilustración 33. Cálculo de fuerzas polea 4-----	69
Ilustración 34. Diseño actual del módulo de refrigeración -- ¡Error! Marcador no definido.	

Ilustración 35. Diseño propuesto de módulo de refrigeración-----¡Error! Marcador no definido.

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1 Propiedades mecánicas y térmicas LDPE -----	27
Tabla 2 Lista general de comprobación en una rutina de inspección diaria -----	29
Tabla 3 Disturbios en la calidad de energía de acuerdo con norma técnica IEEE 1159 -	33
Tabla 4. Comparación de consumo de motores-----	38
Tabla 5. Comparación de variadores -----	46
Tabla 6. Tabla de propiedades mecánicas acero AISI 1040 -----	52

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
V	Voltaje	Voltio	$I \cdot R$
I	Corriente	Amperio	V/R
P	Potencia mecánica	Watt	W/t

Introducción

El proceso de extrusión es un proceso utilizado con una gran cantidad de materiales, la Universidad Antonio Nariño cuenta con un laboratorio de materiales en su sede sur, en este laboratorio se encuentra una máquina extrusora de polietileno la cual está fuera de servicio hace algún tiempo, la última actualización de este equipo se realizó en el año 2006. A partir de ese momento el equipo trabajo durante algún tiempo, posteriormente el equipo fue puesto fuera de servicio y por falta de mantenimiento este equipo decayó a tal punto que actualmente no funciona.

Por este motivo la Universidad dio la oportunidad a los estudiantes de ingeniería de poner en funcionamiento este equipo con el fin de optar por el título de ingeniería. Durante la ejecución de los trabajos que se tenían proyectados para la puesta en funcionamiento del equipo, se presentó la pandemia generada por el Covid 19, motivo por el cual dentro de las medidas sanitarias tomadas en el país y en la Universidad no se permitió el ingreso para poner en funcionamiento la máquina y así cumplir con los objetivos contemplados inicialmente.

El presente trabajo muestra el desarrollo del diagnóstico realizado al equipo, el mantenimiento de los motores y la actualización de algunos componentes del tablero de control de la máquina, todos estos fueron los trabajos realizados antes de empezar con los periodos de aislamiento. Por otro lado, en el documento también se puede apreciar el desarrollo del diseño del módulo de bobinado, este se realizó teniendo en cuenta las propiedades mecánicas del polietileno de baja densidad, en este diseño se encontró que la potencia del motor de halado no es la suficiente para que el módulo de bobinado trabaje adecuadamente, por lo tanto, se requiere cambiar el motor de halado. El rediseño del sistema de refrigeración del proceso de extrusión, se realizó con el fin de reducir el consumo de agua de este módulo, todo esto desarrollado para que cuando se implemente y se ponga en funcionamiento la máquina esta pueda ser utilizada como equipo didáctico para realizar los procesos de extrusión, halado y bobinado de polietileno.

OBJETIVOS

Objetivo General

Actualizar los elementos electrónicos y diseñar un módulo de bobinado para una máquina extrusora que se encuentra en los laboratorios de FIMEB para que sirva como equipo de pruebas para los procesos de extrusión, halado y bobinado.

Objetivos Específicos

- Realizar un diagnóstico completo de los componentes mecánicos y eléctricos de la extrusora.
- Diseñar un sistema de bobinado para una extrusora.
- Rediseñar el sistema de refrigeración acorde a los parámetros de la máquina
- Elaborar los respectivos manuales de funcionamiento y mantenimiento para garantizar el correcto uso de la máquina.

Justificación

Actualmente en la facultad no se cuenta con equipos para desarrollar procesos de manufactura con termoplásticos, teniendo en cuenta este aspecto se desea poner en funcionamiento la extrusora con sus módulos intercambiables, y posteriormente conseguir algunos pellets que puedan servir para hacer ensayos de tensión y así establecer las propiedades mecánicas de los polímeros que se están trabajando.

Por otro lado, el bobinado es un proceso de manufactura utilizado para una gran cantidad de materiales, por lo que teniendo en cuenta los distintos procesos que se van a realizar en la máquina didáctica es una excelente oportunidad incluir, como un módulo intercambiable de la máquina didáctica, un sistema de bobinado. De esta manera se podrán visualizar algunos procesos de manufactura como son extrusión, halado y bobinado, sin dejar de lado el que actualmente tiene la máquina que sirve para fabricar pellets.

1. METODOLOGIA

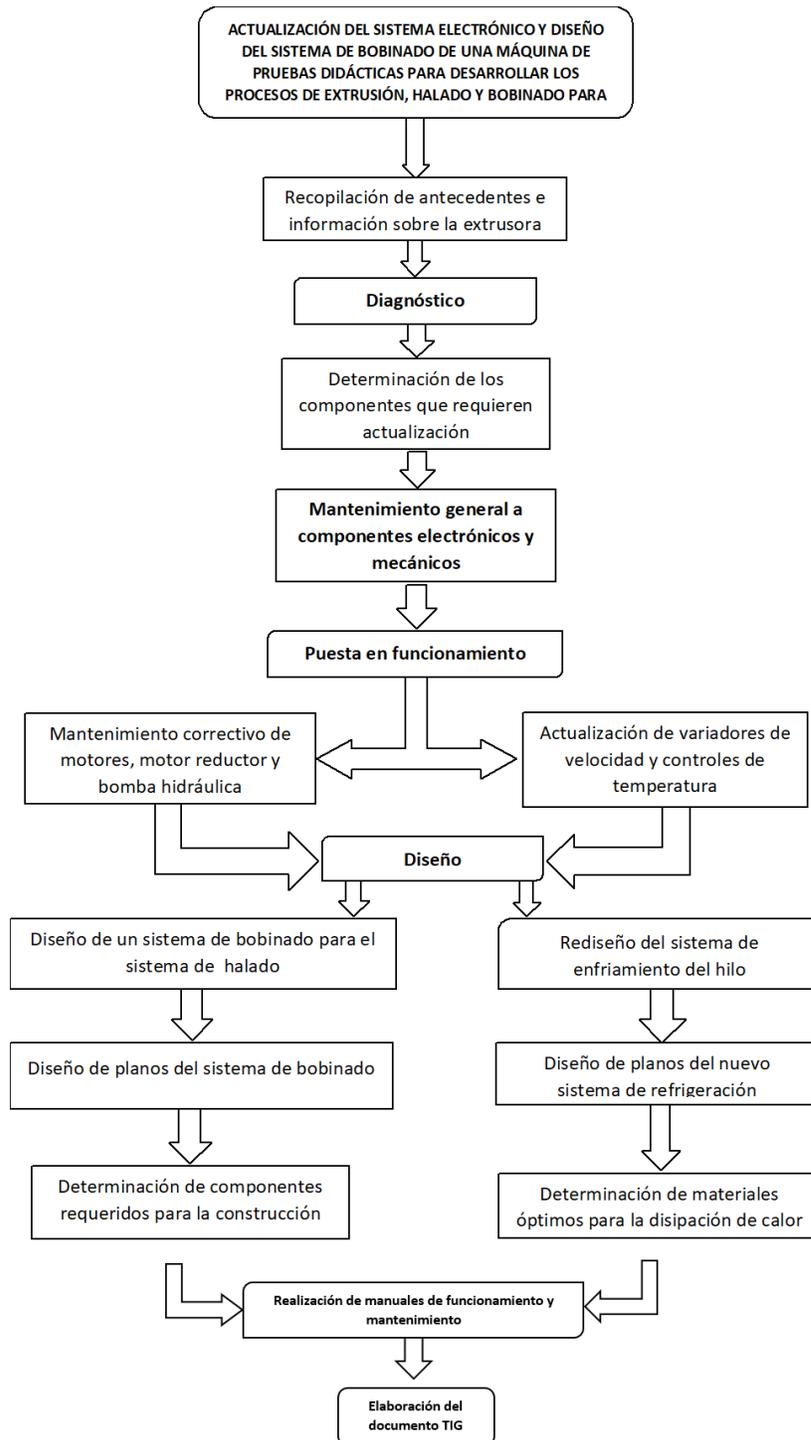


Ilustración 1. Metodología a utilizar

Fuente: Sebastián Cardozo, Carlos Roballo

La metodología para implementar en este proyecto se divide en las siguientes fases:

Fase 1 Diagnóstico: Esta fase consiste en realizar una revisión electromecánica de los elementos de la extrusora como son el tablero de control, el sistema de extrusión, el sistema de refrigeración, el sistema de halado, los motores, el sistema de transmisión de potencia, entre otros.

Fase 2 Mantenimiento general a componentes electrónicos y mecánicos: Aplicar un mantenimiento correctivo al motor, moto reductores y bomba hidráulica del sistema de refrigeración, para asegurar un funcionamiento confiable y eficiente, además a esto se mejorará el funcionamiento general de la máquina con la actualización de componentes electrónicos como lo son los variadores de velocidad y controles de temperatura.

Fase 3 Diseño de módulo bobinado: Esta fase se desarrollará al mismo tiempo que la fase anterior, cabe resaltar que también depende del diagnóstico realizado a la extrusora, debido a que se debe establecer si la potencia de los motores que actualmente tiene la máquina es la necesaria para la implementación de los nuevos sistemas, o si por el contrario se requiere comprar un nuevo motor para poner en funcionamiento los nuevos módulos.

Fase 4 Rediseño de sistema de refrigeración: Para el rediseño del sistema de extrusión, se requiere de acuerdo con la información recopilada en el diagnóstico, identificar el caudal de la bomba y definir el nivel de agua que se necesita en la piscina y así establecer los tiempos de trabajo de la bomba.

Fase 5 Realización de manuales de funcionamiento y mantenimiento: Para culminar con el proyecto es necesario realizar los manuales de funcionamiento de los módulos, el manual de mantenimiento de estos y por último las guías de laboratorio, en las que se relacionarán las prácticas que se pueden desarrollar en la máquina, los polímeros con los que se trabaja y los valores de las variables de proceso.

Fase 7 Elaboración del documento TIG: Elaborar el documento teniendo en cuenta el orden de los procesos y los resultados obtenidos, soportados con evidencia y pruebas realizadas en cada fase del desarrollo del proyecto.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Proceso de extrusión

Para empezar, dando una definición del proceso extrusión cabe resaltar que es una definición bastante amplia puesto que se hace referencia a todo tipo de operación de transformación en el que la materia prima es forzada a atravesar una boquilla con el fin de producir un elemento de sección transversal constante y una longitud indefinida. Este proceso de manufactura se emplea para una diversa cantidad de materiales, entre estos materiales encontramos metales, cerámicos, alimentos y una gran cantidad de polímeros. (Marcilla, 2012)

Para el caso en particular de los polímeros es un proceso de manufactura mediante el cual se puede moldear gran cantidad de plásticos de diversas formas. Para este proceso la materia prima es suministrada dentro de la extrusora en forma de polvo o pequeños gránulos por lo general a través de una tolva, estos gránulos empiezan a ser transportados a un cilindro caliente que abraza el tornillo giratorio, en este punto el cilindro se calienta por fuera con el fin de estimular la fusión del polímero, aunque es de resaltar que en muchas ocasiones una mayor parte del calentamiento transferido al material es por fricción. (KALPAKJIAN, 2008).

En el caso más común de extrusión, en la que un polímero ingresa en estado sólido y se funde en el proceso con una extrusora de un husillo, normalmente se cumplen las siguientes funciones:

1. Transporte de material sólido hacia zona donde alcanza punto de fusión
2. Fusión o plastificación del material
3. Transporte o bombeo y presurización
4. Punto de mezclado
5. Punto de desgasificación
6. Punto de conformación

Para tener en cuenta que todos estos procesos no necesariamente se verán reflejados durante la operación de la extrusora, ejemplo de ello el punto de desgasificación o

ventilación que en algunos procesos de extruido se pueden encontrar fuera de la misma. Por otro lado, el punto de conformación también dependerá del uso para el cual se esté extruyendo, que a pesar de que el proceso de extrusión le pueda dar una forma establecida en ocasiones se requerirá de un proceso adicional. (Marcilla, 2012)

Los tornillos normalmente están divididos en tres secciones:

1. Sección de alimentación: En esta sección se transporta desde la tolva a la región central del cilindro.
2. Sección de fusión: Esta región también se conoce como sección de compresión o transición, en esta se puede apreciar como el calor generado por el cizallamiento viscoso de los pellets de plástico y los calentadores o resistencias externas empiezan a fundir del material.
3. Sección de bombeo: En esta sección ocurre un cizallamiento adicional generado por el aumento de velocidad y el aumento de presión que se produce en la matriz.

Para completar el proceso de extrusión, el hilo fabricado durante este proceso después de salir de las zonas calientes entra a un punto en el que se requiere bajar la temperatura del material extruido, por lo general se hace con un método de transferencia de calor directa con agua, pasando por un depósito con este líquido. (Carrión, 2014).

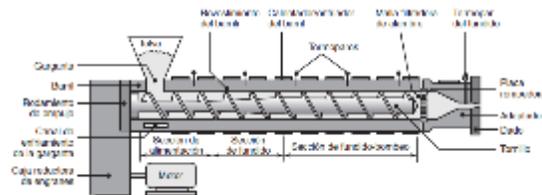


Ilustración 2. Partes de una extrusora

(KALPAKJIAN, 2008). (Véase Ilustración 2)

2.1.1 Componentes de una extrusora

La relación de componentes que a continuación será descrita es la composición normal que se puede ver en un proceso de extrusión simple con un husillo:

2.1.1.1 Tornillo de extrusión

El tornillo o también denominado husillo es un cilindro rodeado por un filete helicoidal como se aprecia en la ilustración 3, sin lugar a dudas es uno de los componentes más importantes del proceso de extrusión puesto que con el trabajo de este se consigue transportar el material, calentarlo hasta alcanzar el punto de fusión y posterior mezcla del mismo, teniendo en cuenta la relevancia del tornillo en el proceso es claro que el adecuado diseño de este implicará que se tiene una estabilidad en el proceso y una buena calidad de los productos extruidos, por lo tanto, algunos aspectos importantes del diseño del tornillo son la longitud, el diámetro, el ángulo de filete y por último el paso de rosca. (Marcilla, 2012)

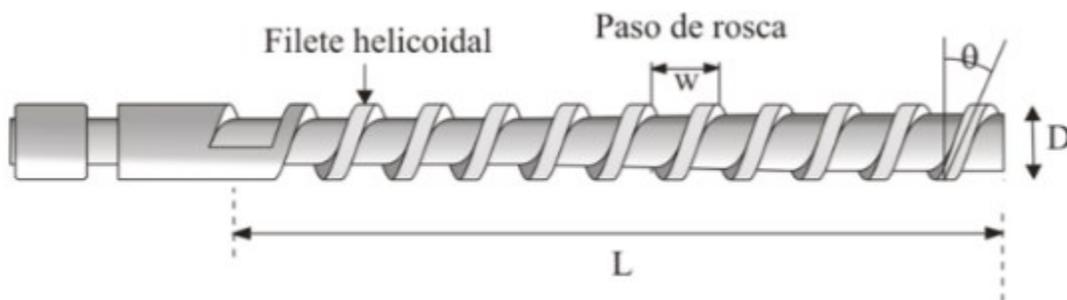


Ilustración 3. Variables del husillo de una extrusora

(Marcilla, 2012). (Véase ilustración 3)

Es de resaltar que como el tornillo está confinado dentro del cañón el material se va presurizando conforme avanza con el tornillo, empezando con una presión atmosférica en la zona de alimentación del proceso de extrusión (Tolva) aumentando su presión hasta la salida por la boquilla, los polímeros que se usan en el proceso de extrusión difieren por sus propiedades fisicoquímicas, la elasticidad, coeficiente de fricción, temperatura de fusión, calor específico, entre otros. Cada una de estas propiedades son las que harán que el diseño para cada uno de estos procesos sea diferente para cada material. (Marcilla, 2012).

2.1.1.2 Cilindro

Como era anteriormente mencionado, el cilindro de calefacción alberga en su interior al husillo del equipo extrusor, el cilindro debe tener superficialmente características rugosas que permitan aumentar las fuerzas de cizalla que la materia prima podrá soportar y de esta

manera permitir que el material fluya a lo largo del proceso. Es bien sabido que uno de los principales problemas a los que actualmente se enfrenta todo diseñador es la corrosión de los componentes que se encuentran en contacto con fluidos. Por lo que normalmente los cilindros de los equipos extrusores se diseñan en aceros muy resistentes, en algunos casos con un revestimiento metálico o con un proceso de tratamiento térmico. (Marcilla, 2012)



Ilustración 4. Cilindro de extrusora

Fuente: Sebastián Cardozo, Carlos Roballo

2.1.1.3 Garganta de alimentación

El cilindro generalmente es construido con una garganta de alimentación ubicada justo debajo de la tolva, ocasionalmente en esta zona se cuenta con un sistema de enfriamiento para el fin de controlar la temperatura de ingreso de la materia prima y que no haya posibilidad que se adhieran a las paredes de la extrusora.

Normalmente la garganta de alimentación está conectada a la tolva por medio de la boquilla de alimentación, esta boquilla suele tener una longitud de 1,5 veces el diámetro del cilindro, adicionalmente esta debe estar separada del eje del husillo a fin de permitir la caída de la materia prima. (Marcilla, 2012)

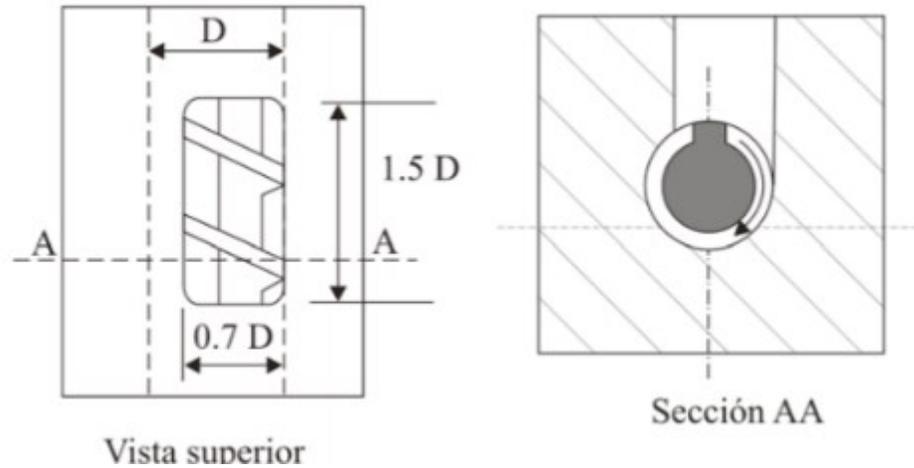


Ilustración 5. Garganta de alimentación

(Marcilla, 2012), (Véase ilustración 5)

2.1.1.4 Cabezal o boquilla

El cabezal es la pieza que se encuentra al final del cilindro, este cabezal generalmente esta atornillado al cilindro, el perfil interno del cabezal debe estar diseñado de tal manera que facilite el flujo del material hacia la boquilla. Por otro lado, la sección transversal del torpedo se diseña para proporcionar flujo al material con una velocidad constante.

La función de la boquilla es moldear el polímero, teniendo en cuenta esto las boquillas se pueden clasificar de acuerdo a la forma que esta tenga, ejemplo de esto las boquillas con forma de salida circular permiten hacer hilos, boquillas con perfiles planos pueden sacar productos con dicha forma.

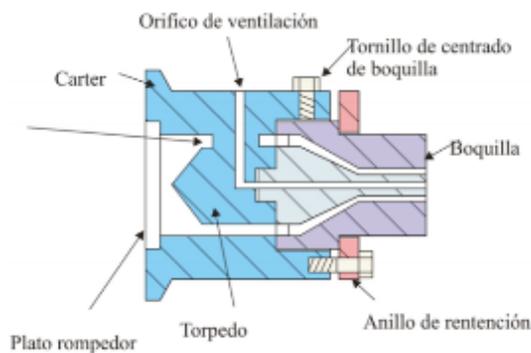


Ilustración 6. Cabezal y boquilla

(Marcilla, 2012), (Véase ilustración 6)

2.2 Proceso de halado

Después de que el material extruido pasa por el depósito de refrigeración que reduce la temperatura del hilo, entra en el proceso de halado, en este punto el hilo que surge del proceso de inyección empieza a ser halado por un sistema de rodillos, cabe resaltar que como la extrusión de material es continua, si el hilo producido en algún momento llega a detenerse provocará un atascamiento a la salida de la zona caliente y pérdidas de producto. (Jefferson, 2017).

El sistema de halado del que dispone la máquina a restaurar es un sistema tipo oruga con rodillos acoplados a un motor eléctrico, los cuales al graduar la altura que hay entre los rodillos dará diferentes espesores al hilo producido. (Jefferson, 2017).

2.3 Proceso de bobinado

El bobinado es un mecanismo que tiene la función de enrollar el hilo producido por el proceso de extrusión, hay varios tipos de bobinado, en algunos casos puede hacerse manual debido a que en ocasiones el costo de generar un equipo automático es elevado. En el momento en que el hilo llega para ser bobinado llega frío, en este punto se procede a producir rollos con una longitud establecida o un peso específico. (Jefferson, 2017).

En la actualidad este proceso de bobinado es utilizado en diversas industrias, aunque teniendo en cuenta que por las dimensiones de la máquina extrusora no va a ser una producción en masa, lo más apropiado es trabajar con los diseños de carretes empleados en el bobinado de hilos de todo tipo. Teniendo en cuenta este aspecto los carretes que se usan con mayor frecuencia en la industria textil son los siguientes:

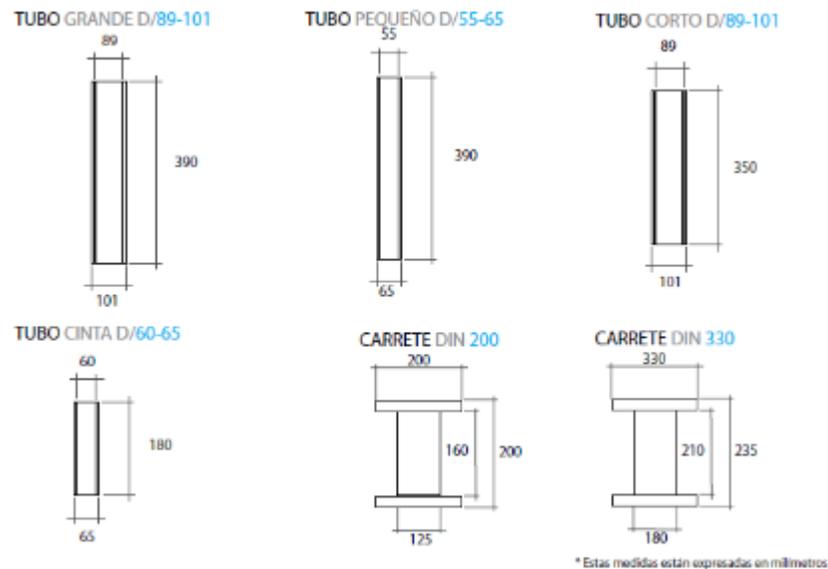


Ilustración 7. Medidas de carretes

Fuente: Hilos técnicos S.M., S.L, 2013

2.3.1 Funcionamiento de una bobinadora

Como era mencionado anteriormente, el proceso de bobinado es utilizado con diferentes materiales en varios tipos de industrias, ejemplo de esto en industrias como textilerías, metalmecánicas, papeleras y de polímeros. Los procesos de bobinado para trabajar adecuadamente requieren que se mantengan algunos aspectos como una fuerza de tracción constante y una alimentación continua mientras el motor de tracción este trabajando. (Medina, 2015)

El sistema de bobinado puede variar en sus componentes dependiendo del tipo de producción que se tenga, es decir para procesos de manufactura de producción masiva se deben contemplar en el sistema de bobinado aspectos como un contador de giros, sensores para determinar el volumen del producto bobinado. A fin de tener el control del material bobinado. En conclusión, los componentes básicos de un sistema de bobinado son:

2.3.1.2 Enrollador

Esta parte del módulo de bobinado es la encargada de transmitir el movimiento giratorio para enrollar el producto que se esté trabajando, dependiendo de la automatización del

equipo se puede generar una variación en la velocidad de bobinado si se llegase a detener el suministro de la materia prima a bobinar. (Medina, 2015)

2.3.1.3 Sistema de guiado

Esta parte del módulo de bobinado es el encargado de trazar la ruta que debe seguir el material que se está bobinando, el sistema de guiado debe estar diseñado de tal manera que se distribuya uniformemente el material en el carrete y así se pueda aprovechar al máximo el volumen del mismo. (Medina, 2015)

2.4 Materiales

2.4.1 Materiales Termoplásticos

La principal característica que identifica a los materiales termoplásticos es que cuando son sometidos a un aumento de temperatura empiezan a reblandecerse, si este calentamiento continúa este material empezara a fluir. Sin embargo, cuando la temperatura se empieza a reducir vuelve a su estado inicial, recuperando sus propiedades viscosas, solidificándose al final. (Romero, 2014)

Algunas matrices poliméricas comúnmente encontradas son el polipropileno, el nilón y el policarbonato, estas dos primeras matrices son poli cristalinos con una cristalinidad de entre un 25 y un 50% mientras que el policarbonato es un material amorfo. Estos materiales fluyen y experimentan grandes deformaciones antes de la rotura final, cabe resaltar que sus propiedades mecánicas dependen bastante de la temperatura y de la deformación aplicada. (Romero, 2014)

Algunos de los materiales termoplásticos más utilizados para procesos de extrusión con símbolo ISO (International Organization for Standardization) son:

- Polietileno (PE)
- Polipropileno (PP)
- Poliestireno (PS)
- Policarbonato (PAN)
- Cloruro de Polivinilo (PVC)

2.4.1.1 Polietileno

El polietileno se prepara por polimerización de etileno por un mecanismo de adición, dependiendo de esta polimerización se clasifican como, el de baja densidad y el de alta densidad. Este polímero es inerte y tiene un costo de fabricación bastante bajo. Algunas características son su gran inercia química, es resistente a la corrosión y a los hongos, posee una gran impermeabilidad a líquidos y vapores. (Romero, 2009).

Industrialmente es de gran utilidad y muy utilizado en fabricación de envases, bolsas, juguetes o aislantes para cables, tuberías, protección de plantaciones agrícolas, embalajes de diversos productos piezas de la industria química entre otras. (Romero, 2009).

2.4.1.2 Polietileno de baja densidad (LDPE)

El polietileno de baja densidad está compuesto por una estructura ramificada, la cual es parcialmente cristalina, este polímero es fabricado bajo altas presiones y temperaturas a través de un proceso de polimerización por radical libre. La polimerización del etileno genera un polímero ramificado, que se puede asemejar a una mezcla de moléculas de considerable longitud con diferentes ramificaciones.

El LDPE es un polímero con baja cristalinidad que esta entre 40 y 60% y por consiguiente una baja densidad la cual está entre 0,91 y 0,94 g/cm³. Las ramificaciones de las cadenas de homopolímero del LDPE le brindan algunas propiedades deseables como la claridad, la flexibilidad, la sellabilidad y un fácil procesamiento. Por su versatilidad y fácil procesamiento se puede trabajar en diversos procesos de manufactura como extrusión, inyección, entre otros.

Algunas de las propiedades térmicas y mecánicas del LDPE se presentan en la tabla 1.

Tabla 1 Propiedades mecánicas y térmicas LDPE

PROPIEDADES DEL LPDE	
Densidad	0,91 a 0,925 g/cm
Tg	-120°C
Temperatura de fusión	105-115°C
Módulo de tensión	172- 517 Mpa
Elongación	100- 965%
Resistencia al rasgado	200-300 25µm

2.5 Mantenimiento

El mantenimiento es toda aquella actividad generada en los sistemas, instalaciones y equipos que ayude a preservar en buenas condiciones estos durante un largo tiempo. Adicionalmente como se menciona en el libro Mantenimiento, planeación, ejecución y control de Alberto Mora Rodríguez la misión principal del mantenimiento es garantizar que todos los elementos estén con la máxima disponibilidad cuando se llegue a requerir por parte del cliente o el usuario. Con la máxima confiabilidad durante el tiempo solicitado para operar. Con las velocidades requeridas, en las condiciones técnicas y tecnológicas exigidas previamente por el demandante. (Mora, 2009)

Teniendo en cuenta este concepto de mantenimiento se pueden identificar tres tipos de mantenimiento:

2.5.1 Mantenimiento preventivo

Este tipo de mantenimiento se basa en evitar los fallos antes que sucedan, todos estos trabajos se hacen con el fin de mitigar falencias en los equipos que acarreen en pérdidas de productividad en la línea de trabajo, o demanden costos en labores correctivas que normalmente son mayores a las de labores preventivas.

2.5.2 Mantenimiento predictivo

Es una técnica utilizada para determinar el tiempo en el cual se puede llegar a presentar una falla en un sistema, si este llega a encontrar un componente de un equipo que pueda llegar a fallar se podrá realizar un cambio del mismo, siguiendo un plan de trabajo, de esta manera se reducirá el tiempo muerto ante una eventual falla.

2.5.3 Mantenimiento correctivo

Este tipo de mantenimiento se lleva a cabo cuando se debe reparar una falla detectada en una revisión o un mantenimiento preventivo, El objetivo de esta técnica de mantenimiento es poner en funcionamiento el componente o sistema devolviendo así la confiabilidad del mismo para la línea de producción.

2.6 Mantenimiento a variadores de frecuencia

Los fabricantes de variadores de frecuencia recomiendan dos tipos de rutinas de mantenimiento una de estas es la inspección, el fabricante recomienda realizar una revisión diaria en la que se deben revisar algunos componentes y factores que pueden ayudar a prolongar la vida útil del variador. Estos factores se relacionan en la tabla 2

Tabla 2 Lista general de comprobación en una rutina de inspección diaria

Categoría de inspección	Puntos de inspección	Acción correctiva
Motor	Revise si hay oscilaciones anormales o ruidos proveniente del motor	<ul style="list-style-type: none"> • Verifique el acople de la carga. • Mida la vibración del motor. • Ajuste todos los componentes flojos.
Refrigeración	Revise si el variador o el motor generan niveles anormales de calor y si hay decoloración visible.	Verifique lo siguiente: <ul style="list-style-type: none"> • Carga excesiva. • Conexiones sueltas. • Suciedad en el disipador de calor o el motor. • Temperatura ambiente.
	Inspeccione el funcionamiento del ventilador de enfriamiento y el ventilador de circulación del variador	Verifique lo siguiente: <ul style="list-style-type: none"> • Obstrucción o suciedad en el ventilador. • Corrija la configuración del parámetro de funcionamiento del ventilador.
Entorno	Verifique que el entorno del variador cumpla con las especificaciones detalladas en Ambiente de instalación	Elimine la fuente de contaminantes o corrija el entorno deficiente.
Carga	La corriente de salida del variador no debe superar la clasificación del motor o el variador durante un período prolongado.	Verifique lo siguiente: <ul style="list-style-type: none"> • Carga excesiva. • Corrija las configuraciones de los parámetros del motor
Tensión del suministro eléctrico	Verifique el suministro eléctrico principal y las tensiones de control.	<ul style="list-style-type: none"> • Corrija la tensión o el suministro eléctrico para que estén dentro de las especificaciones de la placa de identificación. • Verifique todas las fases del circuito principal.

Fuente: Manual de funcionamiento Yaskawa

Adicionalmente a las inspecciones que se sugieren por parte de los fabricantes también se encuentran algunas revisiones de mantenimiento preventivo en las cuales se involucran

cambios de filtros, ajuste de conexiones, y medición de variables eléctricas de funcionamiento del equipo. Algunos variadores que se encuentran actualmente disponibles en el mercado son capaces de mostrar algunos códigos en los cuales si se acude al manual de funcionamiento del variador se encontraran los significados de estos códigos.

2.6.1 Fallos de variadores

Los variadores de frecuencia cuentan con una serie de elementos que le permiten protegerse de algunos fallos de funcionamiento del motor o en su defecto de algunos fallos de red, cabe aclarar que estas protecciones tienen unas tolerancias permitidas. Dentro de los principales fallos que pueden afectar el funcionamiento de un variador de frecuencia se encuentran, sobretensiones de alimentación, fallos a tierra y disturbios de la calidad de la energía.

2.6.1.2 Disturbios en la calidad de energía norma técnica IEEE 1159

Esta norma técnica establece las practicas recomendadas para monitorear la calidad de la energía, se entiende por calidad de energía cuando esta es suministrada a los equipos o sistemas con las características y condiciones adecuadas para que de esta manera estos puedan mantener su continuidad de servicio y no se generen afectaciones en su desempeño. (Alexander Gongora, 2018)

En esta normativa se definen siete categorías de fenómenos electromagnéticos que se pueden presentar en las redes eléctricas: transitorios, variaciones de corta duración, variaciones de larga duración, desequilibrio de tensión, distorsión de la forma de la onda, fluctuaciones de tensión y variaciones de la frecuencia. (Alexander Gongora, 2018)

Es así como en la norma se encuentran algunas definiciones para las variaciones de corta duración, ejemplo de esto los Sags, las interrupciones y los swell. Estos tipos de variaciones se clasifican en instantáneo momentáneo o temporal, aunque esto dependerá de la duración de la variación.

3. Desarrollo del proyecto

3.1 Diagnóstico

Para iniciar las labores de actualización de los componentes electrónicos del tablero de control de la extrusora se realizó un diagnóstico general del equipo, en el cual se evaluaron, para emitir el diagnóstico, todos los sistemas y módulos de la máquina. En este capítulo se darán a conocer los análisis que se realizaron a la máquina para determinar el estado en el que se encontraba y los posibles pasos a seguir.

3.1.1 Diagnóstico Eléctrico:

Haciendo una revisión al sistema eléctrico de la máquina se encontró inicialmente un tablero que no tenía ningún tipo de plano o marquillado que pudiese ayudar a entender el funcionamiento eléctrico del sistema. Para poder empezar a realizar un diagnóstico eficaz se empezaron a revisar todas las conexiones eléctricas existentes en el tablero con el objetivo de identificar o descartar problemas eléctricos por conexiones erróneas en el tablero, fallas de aislamiento del cableado que pudiesen ocasionar corto circuitos con la estructura del tablero, entre otros problemas asociados a un cableado del tablero de control defectuoso. Para empezar, se realizó una exhaustiva revisión a todos los elementos presentes en el tablero.



Ilustración 8. Tablero de la extrusora

Fuente: Sebastián Cardozo, Carlos Roballo

Dando inicio al diagnóstico se empezó con la revisión del variador de frecuencia del sistema de extrusión, este variador era de marca YASKAWA modelo CIMR-04 A S3, se revisaron las conexiones, las cuales de acuerdo con el manual de mantenimiento y operación encontrado en la página web del fabricante, correspondían a la conexión recomendada por ellos. Posterior a la revisión de conexiones y comprobando el voltaje de red que se tenía en las instalaciones del laboratorio, se desconectó la cadena de transmisión de potencia del motor a fin de probar el funcionamiento del variador sin carga para evitar cualquier tipo de anomalía con el tornillo sinfín de la extrusora. Habiendo energizado el tablero de control el variador de frecuencia no encendió, se verificó la tensión que tenía a la entrada de este encontrando que hasta este punto no había fallas de tensión o funcionamiento.

Después de encontrar esta falencia se consultó el manual del equipo a fin de establecer las posibles fallas que podían presentarse para que el variador estuviese en estas condiciones, el manual de operación suministra seis posibles fallos para esta anomalía, relacionados con fallas de tensión en la alimentación, fallas a tierra del sistema, altos consumos eléctricos en el motor y problemas asociados a la calidad de la red eléctrica. Para comprobar que la causa no fuesen los problemas relacionados con la tensión de entrada se realizó la medición de tensiones encontrando una tensión de 220 Voltios que de acuerdo con el manual del usuario del equipo se encuentra dentro de los valores de tensión aceptables para una operación normal del sistema.

Para descartar fallas a tierra del equipo se desconectaron los cables del motor con el fin de realizar mediciones de continuidad del motor por separado y así poder emitir si había una falla a tierra en el motor o en su defecto en el variador, realizando las mediciones se encontró que el motor no presentaba ninguna falla a tierra en ninguna de sus bobinas. Posterior a haber descartado un fallo a tierra en el motor se conectó nuevamente el tablero de control y el variador aun no encendía. Por último, teniendo en cuenta que el manual del fabricante indica que los disturbios en la calidad de energía pueden generar una gran afectación al funcionamiento del variador, se procedió a consultar la norma técnica IEEE 1159, en la cual se pueden visualizar algunos de estos fallos.

Tabla 3 Disturbios en la calidad de energía de acuerdo con norma técnica IEEE 1159

Categorías		Contenido típico espectral	Duración típica	Típica magnitud de Voltaje
1 transitorios	1.1 Impulsivo			
	Nanosegundo	Elevación de 5 ns	<50 ns	
	Microsegundo	Elevaciones de 1 μ s	50 ns- 1 ms	
	Milisegundo	elevaciones de 0,1 ms	>1 ms	
	1.2 Oscilatorio			
	Baja frecuencia	<5 KHz		0-4 pu
	Frecuencias medias	5-500KHz		0-8 pu
	Altas frecuencias	0,5- 5 MHz		0-4 pu
2 variaciones de corta duración	2.1 Instantáneo			
	Interrupción		0.5-30 ciclos	< 0.1 pu
	Sag		0.5-30 ciclos	0.1 -0.9 pu
	Swell		0.5-30 ciclos	1.1-1.8 pu
	2.2 Momentáneo			
	Interrupción		0.5 ciclos- 3s	< 0.1 pu
	Sag		30 ciclos - 3s	0.1 -0.9 pu
	Swell		30 ciclos - 3s	1.1-1.4 pu
	2.3 Temporal			
	Interrupción		3s-1min	< 0.1 pu
	Sag		3s-1min	0.1 -0.9 pu
	Swell		3s-1min	1.1-1.2 pu
3 variaciones de larga duración	3.1 Interrupción sostenida		> 1 min	0 pu
	3.2 Subvoltaje		> 1 min	0.8-0.9 pu
	3.3 Sobrevoltaje		> 1 min	1.1-1.2 pu
4 desbalance de voltaje			Estado estable	0.5-2%
5 distorsión de la forma de onda	5.1 DC Offset		Estado estable	0-0.1%
	5.2 Armónicos	0-100 tH	Estado estable	0-20%
	5.3 Inter armónicos	0- 6 KHz	Estado estable	0-2%
	5.4 Notching		Estado estable	
	5.5 Noise	ancho de banda	Estado estable	0-1%
6 fluctuación de voltaje		<25 Hz	Intermitente	0.1-7 pu

Categorías		Contenido típico espectral	Duración típica	Típica magnitud de Voltaje
7 variaciones de la frecuencia eléctrica			< 10 s	

Teniendo en cuenta los principales disturbios en la calidad de energía, debido a que no se tiene más información de la instalación eléctrica al interior del laboratorio, y ya que en el momento de estar realizando el diagnóstico no se contaba con un analizador de red para realizar mediciones se concluye que este variador va a ser parte de los elementos a actualizar para poner en funcionamiento el módulo de extrusión.

3.1.2 Diagnóstico variador módulo de halado:

Para el variador del sistema de halado la máquina cuenta con un variador marca Telemecanique modelo Altivar 11 con capacidad de variación de frecuencia para un motor de 1,5 HP, al cual se le realizó un procedimiento muy similar al practicado con anterioridad al variador del sistema de extrusión. Con la diferencia que este variador posterior a la revisión de conexiones y valores de tensión encendió y se pudo hacer la variación de velocidad al motor del sistema de halado. Seguidamente se revisaron los parámetros que se tenían configurados en el variador hallando que los valores eran los correspondientes a los de la placa del motor. Por último, se midió el consumo eléctrico en cada una de las fases con el motor trabajando en vacío y con carga mecánica al conectar los rodillos del sistema de halado. Encontrando como era de esperarse un leve aumento en el consumo eléctrico cuando el motor trabajaba con carga. Concluyendo así que para este variador no se requería un mantenimiento muy exhaustivo a la hora de poner en funcionamiento la máquina.



Ilustración 9. Prueba de funcionamiento de variador

Fuente: Sebastián Cardozo, Carlos Roballo

3.1.3 Diagnóstico de motores

Para iniciar con el diagnóstico de los motores es necesario conocer algunas características de los motores con los que cuenta la extrusora y su sistema de halado. En las ilustraciones 10 y 11 se pueden observar los motores del sistema de halado, la bomba del sistema de refrigeración y el motorreductor del sistema de extrusión respectivamente. Los dos motores de la ilustración 10 con una potencia de 0,5 HP y el motorreductor de la ilustración 11 de 1,2 HP.

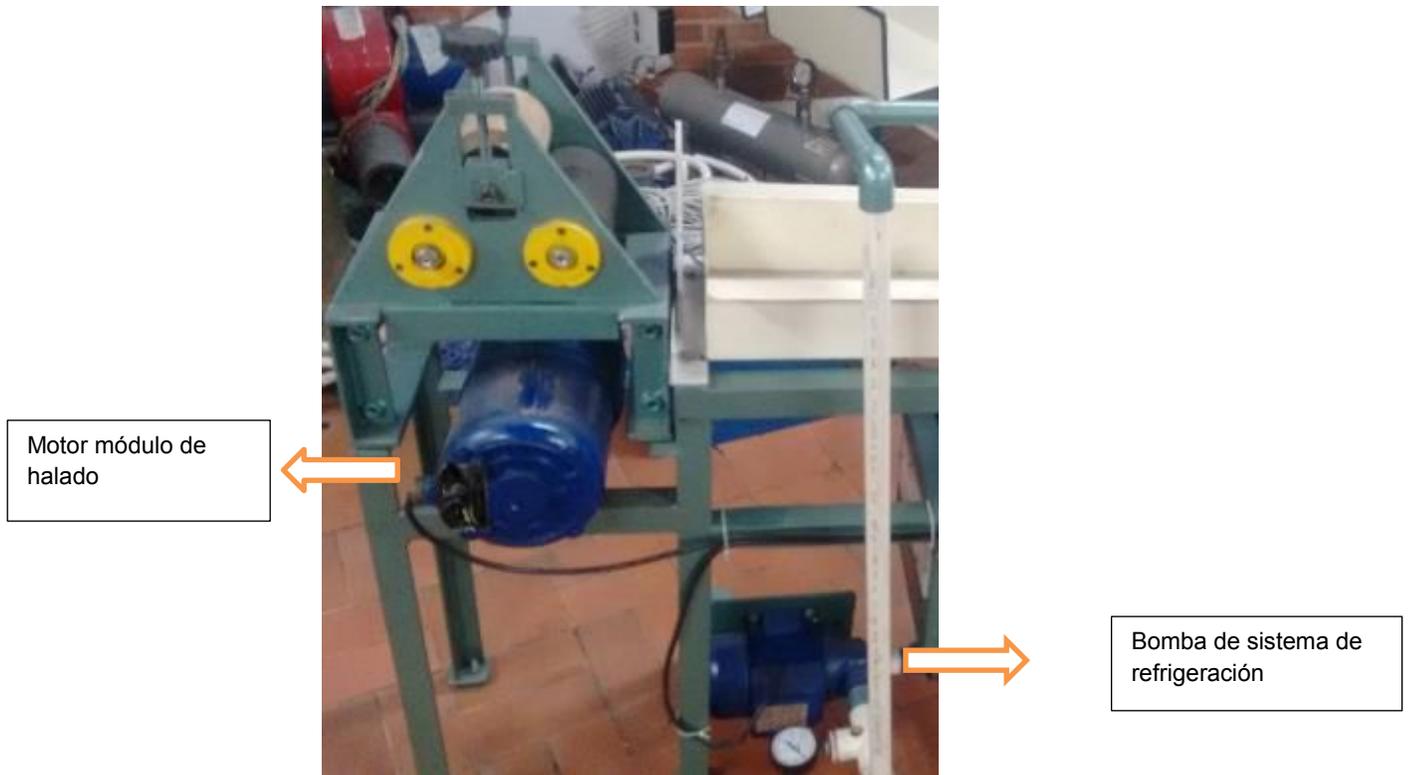


Ilustración 10. Motores sistema halado y refrigeración

Fuente: Sebastián Cardozo, Carlos Roballo



Ilustración 11. Motor de sistema de extrusión

Fuente: Sebastián Cardozo, Carlos Roballo

Dando inicio al diagnóstico de los motores con los que cuenta la máquina, se encontró que por fallencias en el control del equipo ninguno de estos funcionaba, teniendo en cuenta lo hallado se inició con la prueba de continuidad entre bobinados y de bobinados a tierra, así

como lo dice Mckinnon (2010) en el texto simulación de sistemas de aislamiento, la prueba recomendada por la norma IEEE 43-2000 (R2006) práctica recomendada para pruebas de aislamiento de resistencia de maquinaria rotatoria, la prueba de continuidad entre bobinados nos puede ser muy útil a la hora emitir un diagnóstico del aislamiento del bobinado de los motores.

A pesar de que las potencias de los motores no son tan altas, la norma IEEE 43-2000 recomienda realizar este tipo de pruebas para motores con potencias superiores a 1 HP. Nuñez (2015), en su texto pruebas de aislamiento para motores de baja tensión, indica que los aislamientos de los motores cuentan con una vida útil de alrededor de 100.000 horas con trabajo en condiciones normales de temperatura de acuerdo con el aislamiento que cuente el motor, sujeto a reducirse en un 50% con cada incremento de 10°C a la temperatura de operación del motor. Por lo general una operación en la cual no se tenga humedad y agentes contaminantes ayuda a que el aislamiento del motor tenga una larga vida útil.

Desafortunadamente por la actual situación de confinamiento y al no contar con un Megaóhmetro no se pudieron realizar las pruebas de aislamiento, en el caso de los motores solo se pudo realizar una prueba de continuidad entre bobinados y de bobinados a tierra, en esta prueba de continuidad se obtuvieron resultados satisfactorios, por lo tanto, se decidió continuar con mantenimiento a estos motores. Por último, cuando se encendieron los motores en vacío para conocer el consumo eléctrico que tenía cada uno de ellos se encontró que la motobomba estaba consumiendo 2,7 A que al comparar con su placa esta indica que el consumo normal es de 3,2 A y el motor del módulo de halado tenía un consumo de 1,3 A que, comparando con la placa de este, el consumo normal a 230 V es de 1,7 A. Por otro lado, el motorreductor del sistema de extrusión estaba consumiendo 3,2 A en vacío que al comparar con la placa del motor se encuentra en 4 A, como se puede evidenciar en la tabla 4.

Tabla 4. Comparación de consumo de motores

Denominación de motor	Consumo medido	Consumo normal de acuerdo a placa
Motobomba sistema de refrigeración	2,7 amperios	3,2 amperios
Motor módulo de halado	1,3 amperios	1,7 amperios
Motorreductor módulo de extrusión	3,2 amperios	4,0 amperios

En conclusión, en el diagnóstico se pudo establecer que los motores se encontraban en buenas condiciones, aunque era necesario, a la hora de poner en funcionamiento los sistemas independientes, hacer revisión del cableado, conexiones y parámetros del variador de frecuencia en el caso del motor del sistema de halado.

3.1.4 Diagnóstico de tornillo y cabezal de extrusión

Continuando con el diagnóstico del funcionamiento del sistema de extrusión, posterior a concluir que se requería hacer cambio del variador de frecuencia y determinar que el motorreductor se encontraba en buenas condiciones, se inició con la revisión del cilindro y el dado. Encontrando inicialmente que algunas resistencias estaban desconectadas, se podía observar en la entrada de la tolva que aún había material lo que sugería que la última vez que la máquina fue usada no se había extraído todo el material al interior de este.



Ilustración 12. Revisión del cilindro de extrusión

Fuente: Sebastián Cardozo, Carlos Roballo

Por otro lado, se encontró que el dado no estaba bien acoplado al cilindro, lo que podía generar pérdidas de la eficiencia de la zona de bombeo del tornillo o algunos problemas de manufactura asociados a la temperatura del proceso en el material extruido. Intentando ajustar la tornillería de sujeción del dado se pudo observar que algunas de las roscas presentaban corrosión y problemas con la continuidad de la misma. Por lo que estas se tenían que reparar o en su defecto ser maquinadas y pasar a la medida de tornillos inmediatamente superior.

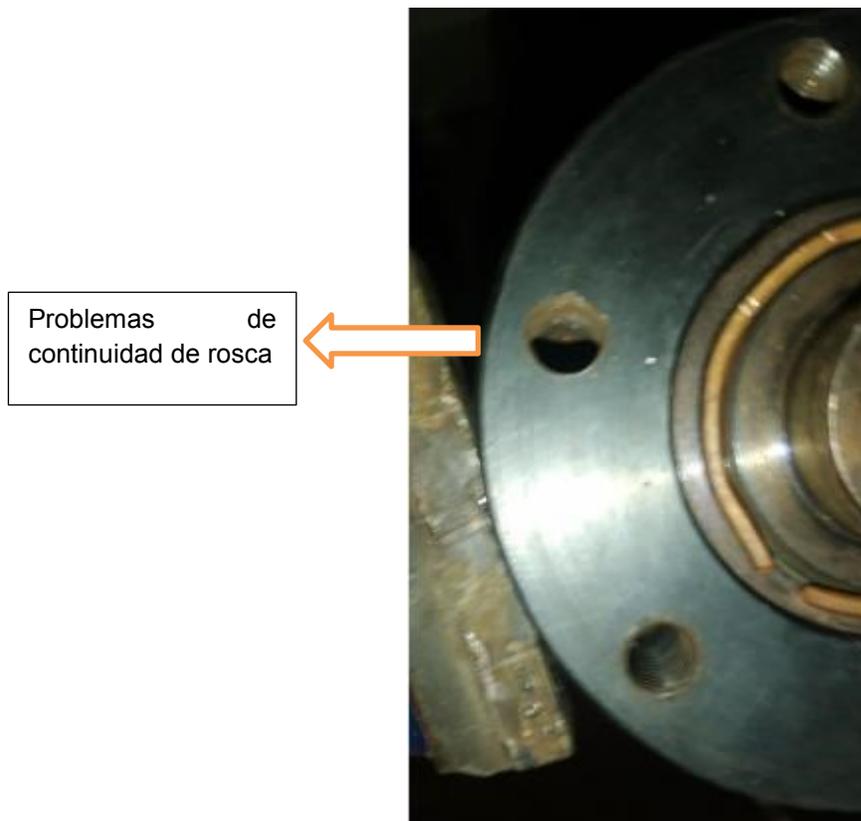


Ilustración 13. Revisión de dado y cilindro

Fuente: Sebastián Cardozo, Carlos Roballo

3.1.5 Diagnóstico de sistema de refrigeración

Para el sistema de refrigeración se encontró que, el funcionamiento de la bomba de suministro de agua para el depósito tenía un trabajo continuo, es decir el equipo trabajaba ininterrumpidamente desde el momento en el que se energizaba el tablero y la bomba presentaba bastante corrosión en su interior. Esto a pesar de que no tuviese

una implicación tan grande, con el tiempo podría conllevar al cambio de elementos en la misma.



Ilustración 14. Estado inicial de la bomba

Fuente: Sebastián Cardozo, Carlos Roballo

Adicionalmente a la corrosión encontrada en la bomba, se encontró que la tubería de PVC, con la cual se alimentaban los depósitos del sistema de refrigeración, tenía uniones universales mal ajustadas lo que ocasionaba filtraciones en estos puntos, por otro lado, en lo poco que se pudo evidenciar del sistema de refrigeración se vio que con el sistema actual de riego que tiene esta máquina, se debe tener una altísima precisión para que el hilo pase sumergido por debajo de las perforaciones que tiene el tubo.

Por último, haciendo una revisión de la estructura de este sistema se encontró que como este depósito contiene el agua del sistema de refrigeración, este presentaba algunos rastros de corrosión lo que a futuro puede llegar a ocasionar filtraciones generando pérdidas de la misma y un mayor consumo de agua.



Ilustración 15. Estado inicial de los depósitos de agua

Fuente: Sebastián Cardozo, Carlos Roballo

3.2 Mantenimiento de motores

Inicialmente el proyecto fue contemplado para poner en funcionamiento los diferentes módulos intercambiables de la máquina, motivo por el cual dentro de las actividades que se alcanzaron a realizar al equipo además del diagnóstico, también se realizaron algunas labores de mantenimiento a los motores, por lo que en esta parte del documento se realizará una breve descripción de las actividades realizadas.

Inicialmente el motor que fue intervenido, teniendo en cuenta los valores medidos durante el diagnóstico respecto a su consumo eléctrico, fue el motorreductor del sistema de extrusión, el cual tenía un consumo medianamente alto respecto al consumo que se tenía como referencia de acuerdo con la placa del mismo. Por lo cual se empezó por desacoplar el motor de la caja reductora, para revisar el estado de los rodamientos y así poder determinar si por el largo periodo que este motor estuvo fuera de servicio los rodamientos habían comprometido parte de su movilidad.



Ilustración 16. Estado de los rodamientos motorreductor

Fuente: Sebastián Cardozo, Carlos Roballo

Cuando se extrajo el estator se encontró que los rodamientos aún se encontraban en buenas condiciones puesto que su movilidad no presentaba ningún limitante y no presentaba holgura axial que pudiese indicar que ya requerían cambiarse. Concluyendo que la parte motriz del motor no presentaba ninguna resistencia mecánica que pudiese generar el consumo que este tenía.

Posterior a la revisión del estator se intervino la caja reductora, encontrando que el lubricante, quizás por el periodo de tiempo en el que estuvo detenida la máquina, estaba bastante denso, lo que podía indicar que era una grasa demasiado fuerte es decir que contenía un alto porcentaje de componente espesante, que de acuerdo con la norma técnica DIN 51 509 al ser una caja de engranajes de baja velocidad periférica, se recomienda una grasa fluida fuerte. Adicionalmente de acuerdo con la ficha técnica del lubricante recomendado, proporcionada por el fabricante, se encontró que este debería tener un color anaranjado, que de acuerdo con lo que se puede en la ilustración 17 este tiene un color grisáceo.



Ilustración 17. Estado inicial del lubricante de la caja de engranajes

Fuente: Sebastián Cardozo, Carlos Roballo

Teniendo en cuenta el estado en el que se encontraba este lubricante se decidió preventivamente realizar el cambio del mismo, a fin de evitar posibles problemas de funcionamiento causado por un funcionamiento erróneo del lubricante como la no absorción de las cargas mecánicas, la fricción entre los dientes de los engranajes, el aumento de temperatura o un aumento en el ruido de la transmisión. Bajo estas condiciones se realizó el cambio del lubricante de acuerdo con el lubricante recomendado por el fabricante, para este caso en particular lubricante MOBIL 632.



Ilustración 18. Lubricante recomendado para la caja de engranajes

Fuente: Sebastián Cardozo, Carlos Roballo

Habiendo encontrado la referencia del lubricante, se realizó el retiro del lubricante anterior el lavado de la caja reductora y por último el llenado del nuevo lubricante.



Ilustración 19. Cambio de lubricante caja de engranajes

Fuente: Sebastián Cardozo, Carlos Roballo.

Posterior al suministro de lubricante nuevo para la caja de engranajes se armó nuevamente el motorreductor y se puso en funcionamiento. Tomando el consumo eléctrico del motorreductor nuevamente este estaba consumiendo 2,9 Amperios en las mismas condiciones en las que se había probado en el diagnóstico. Por lo tanto, se puede concluir que el lubricante ni estaba cumpliendo con su función y por el contrario estaba generando

que el motor realizara un mayor esfuerzo en su trabajo normal que se veía reflejado en el consumo eléctrico del mismo.

Respecto a las labores realizadas en el motor de halado y en la bomba, se revisaron también los rodamientos de los mismos siguiendo el mismo procedimiento que se siguió con el motorreductor, encontrándolos en buenas condiciones. Correctivamente se debió hacer cambio del condensador de arranque de la bomba puesto que este, cuando se iba a poner en funcionamiento nuevamente la máquina, presentó fallas de arranque y este se encontraba en muy malas condiciones.

3.3 Mantenimiento de cabezal y boquilla

Dentro de las actividades realizadas para poner en funcionamiento el sistema de extrusión, se realizó el mantenimiento correctivo del cabezal de extrusión, que como fue mencionado anteriormente en el diagnóstico este presentaba fallas en la continuidad de la rosca de algunas de las perforaciones que permite acoplar este cabezal al cilindro del módulo de extrusión.



Ilustración 20. Mantenimiento cabezal de extrusión

Fuente: Sebastián Cardozo, Carlos Roballo.

Posterior al rectificado de roscas del cabezal, se acoplo nuevamente el cabezal al cilindro de extrusión y se estaba empezando con la limpieza del tornillo de extrusión y la boquilla,

desafortunadamente no se pudo culminar dicho proceso por los motivos anteriormente descritos.

3.4 Actualización componentes electrónicos tablero de control

Como fue descrito en el diagnóstico, el principal elemento que debía ser cambiado y actualizado del tablero de control era el variador de frecuencia del motorreductor del sistema de extrusión de la máquina, el cual, teniendo en cuenta el propósito inicial con el que fue establecido el presente proyecto, requería de un variador con capacidad de potencia que fuese capaz de controlar y variar la frecuencia de un motor de 1,2 HP. Para la elección de un variador de frecuencia hay una gran cantidad de variables a tener en cuenta, de acuerdo con lo que indica Schneider electric uno de los principales fabricantes de componentes eléctricos, la elección del variador de frecuencia dependerá de analizar si se requiere variar la velocidad del motor a controlar, como respuesta a esta pregunta teniendo en cuenta que inicialmente la extrusora iba a servir para trabajar tres tipos de polímeros, se requería hacer variación de la velocidad de trabajo del motor de extrusión. Por lo tanto, si se requiere variación de frecuencia.

Otro de los criterios que indica Schneider para la elección del variador de velocidad es definir si este va a ser utilizado para trabajo dedicado al manejo de fluidos y gases o por el contrario al manejo de sólidos y movimientos mecánicos. Este criterio se asocia al grado de protección que debe tener el variador, como respuesta a este criterio el variador que se requiere cambiar va a ser utilizado para trabajo relacionado con manejo de sólidos y movimientos mecánicos puesto que va a ser el utilizado para el módulo de extrusión. Por lo tanto, este no requiere un grado de protección muy alto también teniendo en cuenta que el ambiente de instalación no es muy húmedo ni presenta exceso de polvo.

Por último, el tercer criterio importante para escoger un variador es todo lo relacionado con el motor, es decir, corriente nominal, tensión nominal y potencia del motor. Para el caso en particular del motorreductor del módulo de extrusión estos parámetros son:

Corriente nominal= 4 Amperios

Tensión nominal= La tensión encontrada en el laboratorio 220 VAC

Potencia del motor= 1,2 HP

Adicionalmente Schneider también indica que por temas de refrigeración del variador de frecuencia se deben tener en cuenta algunos factores ambientales como la temperatura de trabajo y la altitud del lugar donde se está trabajando. Teniendo en cuenta estos criterios de selección empezó la búsqueda en el mercado, encontrando una gran cantidad de variadores, aunque es de resaltar que como la potencia del motor no es muy comercial se tuvo que buscar variadores para la frecuencia inmediatamente superior. Encontrando variadores de marcas tradicionales y algunas no muy conocidas. La selección del variador se redujo a tres de estos, después de compararlos con los existentes en el mercado. Se encontró un variador Danfoss VLT H1 P1K5 para potencias de hasta 2 HP, un variador Schneider Altivar 320 para potencias de hasta 1,5 HP y un variador Invertek Optidrive para potencias de hasta 2HP.

Haciendo una revisión de los manuales de funcionamiento de estos tres variadores se encontró que los tres cumplían con los criterios principales establecidos por Schneider para seleccionar un variador, por lo que se tuvo que añadir dos criterios adicionales teniendo en cuenta la finalidad de la máquina, se debería escoger un variador que fuese de fácil operación y programación y el costo que se había presupuestado inicialmente para este variador. Teniendo en cuenta estos criterios en la siguiente tabla se encontrará una comparación de estos.

Tabla 5. Comparación de variadores

	Tipo de trabajo	Tensión nominal	Potencia	Costo
Danfoss VLT H1 P1K5	IP 20	200-240 VAC	2 HP	\$ 1.190.000,00
Schneider Altivar 320	IP 20	200-240 VAC	1,5 HP	\$ 1.320.000,00
Invertek Optidrive	IP 20	200-240 VAC	2 HP	\$ 600.000,00

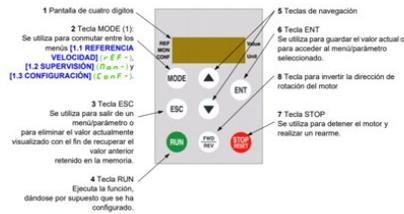
Respecto a la operación y programación de cada uno de los variadores, el que sin duda destaca por su simpleza en la operación es el Invertek Optidrive como se puede observar en la siguiente ilustración:

6.1. Uso del teclado

El equipo está configurado y sus operaciones se controlan vía el teclado y la pantalla.

	NAVEGADOR	Utilizada para visualizar la información en tiempo real, acceder y salir del modo edición de parámetro y para guardar cambios de parámetros.	
	SUBIR	Utilizada para incrementar la velocidad en tiempo real o para incrementar los valores de los parámetros en modo edición.	
	BAJAR	Utilizada para disminuir la velocidad en tiempo real o reducir los valores de los parámetros en modo edición.	
	RESET / STOP	Utilizada para reiniciar un equipo en alarma. Cuando está en modo teclado es utilizada para parar un equipo en marcha.	
	START	Cuando está en modo teclado, es utilizada para arrancar un equipo parado o para invertir la dirección de rotación si el modo teclado bidireccional está habilitado.	

Invertek Optidrive



Schneider Altivar 320



Danfoss VLT H1 P1K5

Ilustración 21. Paneles de control de variadores

Fuente: Manuales de operación de variadores

Teniendo en cuenta que todos los variadores cumplen con los requerimientos de operación del módulo de extrusión los dos criterios que hacen escoger el variador Invertek son facilidad de operación y costo.



Ilustración 22. Cambio de variador de módulo de extrusión

Fuente: Sebastián Cardozo, Carlos Roballo.

Como se puede evidenciar en la ilustración 22, sin lugar a dudas uno de los aspectos más importantes de la actualización realizada es la del cambio de elementos que sean de menor volumen a los existentes y evidentemente sean para las condiciones de trabajo con que cuenta la máquina.

Algunas de las actividades que se alcanzaron a realizar fue el cambio de relés de estado sólido para las resistencias del módulo de extrusión, adicionalmente, de las actividades enfocadas hacia el ordenado y marquillado del cableado del tablero, trabajo que quedo en un 50% de avance.

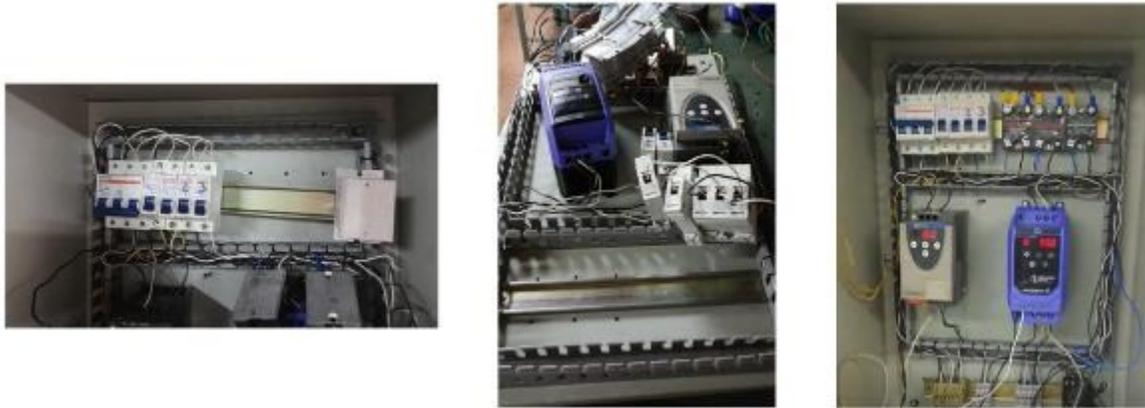


Ilustración 23. Cambio de elementos electrónicos del tablero de control

Fuente: Sebastián Cardozo, Carlos Roballo.

4. Diseño módulo de bobinado

4.1 Lineamientos y características funcionales del módulo de bobinado.

Dado que el enfoque que se le ha dado a la maquina en general es el de ser un prototipo de interacción y aprendizaje para los estudiantes de la UAN Sede Sur, no el de ser una máquina de producción en masa, no se ha determinado una producción específica diaria, solo un uso determinado como apoyo para las asignaturas que lo requieran.

Para brindar mejor conocimiento y visualización del proceso, la maquina se diseñó con una altura máxima de 1,20 m aproximadamente, esto con el fin de brindar un prototipo ergonómico y funcional.

El módulo fue diseñado para un mantenimiento estándar y de bajo costo, dado que no trabajará más de 4 horas por día y de 4 a 5 días a la semana, para un total de 20 horas aproximadamente, lo que le brindará una mayor vida útil.

Para iniciar el proceso de bobinado se debe de hilar o enhebrar el hilo de polietileno de manera manual, ya sea por un docente o estudiante de la facultad, por lo tanto, el módulo contará con las señales y medidas de protección necesarias para salvaguardar la integridad del operador.

Ya que durante el proceso de bobinado se requiera de una acción manual en algún punto, se hace necesario el uso de elementos de protección personal para maestros y estudiantes.

La velocidad de bobinado dependerá directamente del módulo de halado, puesto que, si cambiara una velocidad respecto a la otra, se generarían fallas en el bobinado.

La potencia de alimentación del módulo de bobinado debe provenir del módulo de halado, esto con el fin de ahorrar costo en la compra de un nuevo motor.

La velocidad del proceso tanto de halado como de bobinado será controlada por medio de un variador de frecuencia.

El módulo fue diseñado para ser fabricado con un acero de fácil mecanizado y con propiedades mecánicas para resistir el proceso de bobinado.

4.2 Tipo de bobina a escoger o diseñar

En el mercado hay varios tipos de bobinadoras que pueden ser de utilidad para una fácil adaptación al módulo de halado ya construido, estas pueden ser:

- La bobinadora de solo una cabeza que cuenta con una caja guiadora: Para comenzar el proceso de bobinado se requiere que el operario guie el hilo desde el módulo de halado directamente hasta el eje principal de bobinado, esto con el fin de engancharlo en una cuña que ya se encuentra girando a bajas revoluciones. Posterior a este proceso y una vez empezado el proceso, el operario debe aumentar la velocidad e ir disminuyendo de manera gradual hasta conseguir el tamaño requerido de bobinado.
- La bobinadora con rodillo principal guiador y eje expandible: En primera instancia el operario hala de manera manual el hilo y lo guía directamente al eje principal guiador, este es estándar y cuenta con unas guías cruzadas, el hilo pasa por este eje y llega a una cuña cuyo movimiento es lineal y es la encargada de distribuir uniformemente el material en el eje secundario para así obtener un proceso de bobinado exitoso.

Estudiando estas y otras alternativas más en el mercado, se optó por un diseño propio y que se ajustara de forma más similar a las características del módulo de halado, del cual va a estar sujetado.

Basados en la potencia del motor del sistema de halado y la resistencia última a la tensión del polietileno de baja densidad, se diseñó un módulo de bobinado, con un eje guiador y un carrete de bobinado principal.

Para comenzar con el proceso, el docente o estudiante, previamente instruido, debe tomar el hilo del módulo de halado, pasarlo por la parte baja del rodillo guiador y posteriormente, hilarlo o enhebrarlo en el carrete principal de bobinado, esto a una velocidad mínima que será controlado por medio de un potenciómetro conectado directamente al variador de velocidad. Seguido a esto se deberá controlar la producción del polietileno según el sistema de extrusión y hasta llegar al punto tope del carrete.

Este diseño brinda una ergonomía y funcionalidad a los operarios, ya que nos estamos basado en un objetivo de enseñanza más que de producción, por lo cual se hace más

visibles los procesos que se llevan cabo en la industria mayorista, pero de una manera más simplificada.

4.3 Torque y velocidad de bobinado

Para el torque del sistema, se diseña una transmisión de potencia por poleas, esto desde el eje principal del sistema de bobinado y llevándolo hasta el eje principal del carrete de bobinado. El eje guiador no requiere de potencia, ya que este funciona con la reacción a la tensión que se ejerce sobre el al pasar por debajo el hilo extruido.

En cuanto a la velocidad de bobinado, esta se toma de la placa con la que trabaja el motor, que se establece en 1750 rpm, siendo este el valor máximo, del cual se puede obtener la velocidad angular y también variar desde el potenciómetro.

4.4 Tipo de material a utilizar

El tipo de acero necesario para este módulo debe de ser un acero que no requiera de un proceso de mecanizado exigente, con propiedades mecánicas estándar, ya que, al trabajar en un ambiente normal, sin condiciones exigentes, no se requiere de tratamiento alguno.

Debido al que el eje solo soportara su propio peso y la tensión del hilo de bobinado, no requiere de una alta resistencia.

Dado esto, se seleccionó un acero AISI 1040 laminado en caliente, cuyas propiedades mecánicas son:

Resistencia a la fluencia: $S_y = 42 \text{ Ksi}$

Resistencia a la tensión: $S_u = 72 \text{ Ksi}$

Dureza: 144 HB

Tabla 6. Tabla de propiedades mecánicas acero AISI 1040

Designación del material (Número AISI)	Condición	Resistencia a la tensión		Resistencia de fluencia		Ductilidad (porcentaje de elongación en pulgadas)	Dureza Brinell (HB)
		(Ksi)	(Mpa)	(Ksi)	(Mpa)		
1020	Laminado en caliente	55	379	30	207	25	111
1020	Estirado en frío	61	420	51	352	15	122
1020	Recocido	60	414	43	296	38	121
1040	Laminado en caliente	72	496	42	290	18	144
1040	Estirado en frío	80	552	71	490	12	160
1040	OQT 1300	88	607	61	421	33	183
1040	OQT 400	113	779	87	600	19	262

Fuente: Apéndice 3 propiedades de diseño para aceros al carbón.

Este es uno de los aceros más comunes en el mercado metalmecánico, utilizado para la fabricación de maquinaria, por su experiencia y recorrido en el campo, además de sus propiedades mecánicas, se toma como la mejor opción para soportar el funcionamiento del módulo de bobinado.

4.5 Cálculos del diseño

El módulo de bobinado está constituido por varias partes y elementos, por lo cual, para tener una mayor claridad del diseño, se hizo un despiece de las partes principales de la máquina.

4.5.1 Diseño del eje principal

Este eje soportará el rodillo principal del sistema de halado, junto con sus dos apoyos en los rodamientos y también es el encargado de la transmisión de potencia al sistema de bobinado, por lo que soporta dos poleas sobre si, por ellos es el pilar de esta máquina.

Como fuerza correspondiente a la carga distribuida para el eje, se tomó como referencia la resistencia a la tensión del Polietileno de Baja densidad, con un valor promedio de $\sigma_{Max} = 1696,94 \text{ lbf/Pulg}^2$

Dado a que se expresa como un esfuerzo, para hallar el valor de la carga distribuida sobre el eje, dicho esfuerzo se divide entre la longitud a la cual será aplicado, como se ve en la siguiente expresión:

S.I.

$$W = \frac{\sigma_{Max}}{L}$$

Donde:

W = Carga distribuida

L = Longitud

$$W = \frac{1696,94 \frac{lbf}{pulg^2}}{11,41 \text{ pulg}} = 239,47 \frac{lbf}{pulg} \qquad L = 11,41 \text{ pulg}$$

D.C.L (Diagrama de Cuerpo Libre)

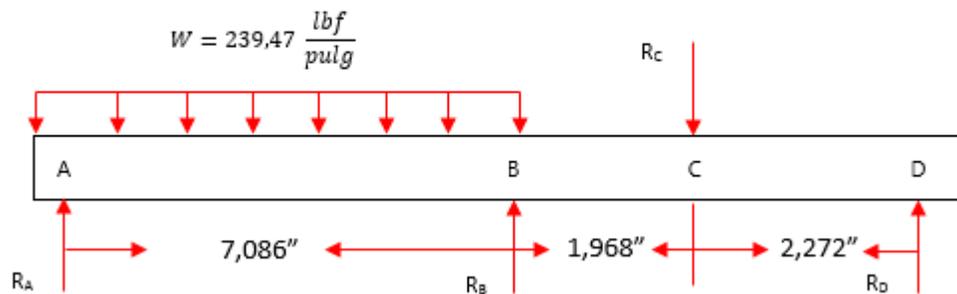


Ilustración 24. Diagrama de cuerpo libre para eje 1

Fuente: Sebastián Cardozo, Carlos Roballo

$R_C = 3,15 \text{ lbf}$ $R_D = 2,22 \text{ lbf}$

Del anterior diagrama de cuerpo libre se entiende que:

R_A = Reacción en el punto A

R_B = Reacción en el punto B

R_C = Reacción en el punto C

R_D = Reacción en el punto D

Para la reacción en el punto A y B se asumen que serán positivas.

Mientras que en las reacciones C y D se conoce el valor de las mismas.

Se conoce el valor de R_C de la siguiente manera:

En el punto C es donde se recibe la potencia del motor del sistema de halado, conociendo el torque transmitido y la longitud en la que este se transmite, se halla el valor de la fuerza que se está ejerciendo en este punto. Adicional a esto se transmite la fuerza en paralelo al eje, es decir, a un ángulo de 90° por lo que no es necesario la descomposición de dicha fuerza.

$$T = \frac{(P) 63000}{(rpm)}$$

Donde:

T = Torque

P = Potencia del motor en HP

rpm = Velocidad de giro del motor

$$T = \frac{(1 \text{ HP}) 63000}{(1750 \text{ rpm})} = 36 \text{ lbf} * \text{ pulg}$$

Con el valor del torque y conociendo la longitud a la cual se aplica el torque, se obtiene:

$$F_R = \frac{T}{L}$$

Donde:

F_R = Fuerza resultante

T = Torque

L = Longitud

L = 11,41 Pulg

$$F_R = \frac{36 \text{ lbf} * \text{ pulg}}{11,41 \text{ pulg}} = 3,15 \text{ lbf}$$

Como resultado se obtiene el valor de R_C

En cuanto a el valor de R_D esta fuerza se genera porque en ese punto es donde se hace la transmisión de potencia al sistema de halado.

En este caso la fuerza no se ejerce de manera paralela, esta se transmite a 45° por lo que, para saber el valor de esta reacción, se requiere de una descomposición de la fuerza resultante.

$$R_D = F_R * \sin(45^\circ)$$

$$R_D = 3,15 \text{ lbf} * \sin(45^\circ) = 2,22 \text{ lbf}$$

De esta manera se obtiene el valor de la reacción en el punto D.

Cálculo de las reacciones sobre el eje

$$\uparrow + \Sigma F_y = 0$$

$$R_A + R_B - R_C + R_D - (W * L) = 0$$

$$R_A + R_B - 3,15 \text{ lbf} + 2,22 \text{ lbf} = (239,47 \text{ lbf/Pulg}) * (7,086 \text{ Pulg})$$

$$R_A + R_B = 1696,88 \text{ lbf} + 0,93 \text{ lbf}$$

$$R_A + R_B = 1697,81 \text{ lbf}$$

$$\uparrow + \Sigma M_A = 0$$

$$R_B (7,086 \text{ lbf}) - (3,15 \text{ lbf} * 9,054 \text{ pulg}) + (2,22 \text{ lbf} * 11,41 \text{ pulg}) - (1696,88 \text{ lbf} * 3,54 \text{ pulg}) = 0$$

$$R_B (7,086 \text{ pulg}) - (28,52 \text{ lbf} * \text{pulg}) + (25,34 \text{ lbf} * \text{pulg}) - (6012,04 \text{ lbf} * \text{pulg}) = 0$$

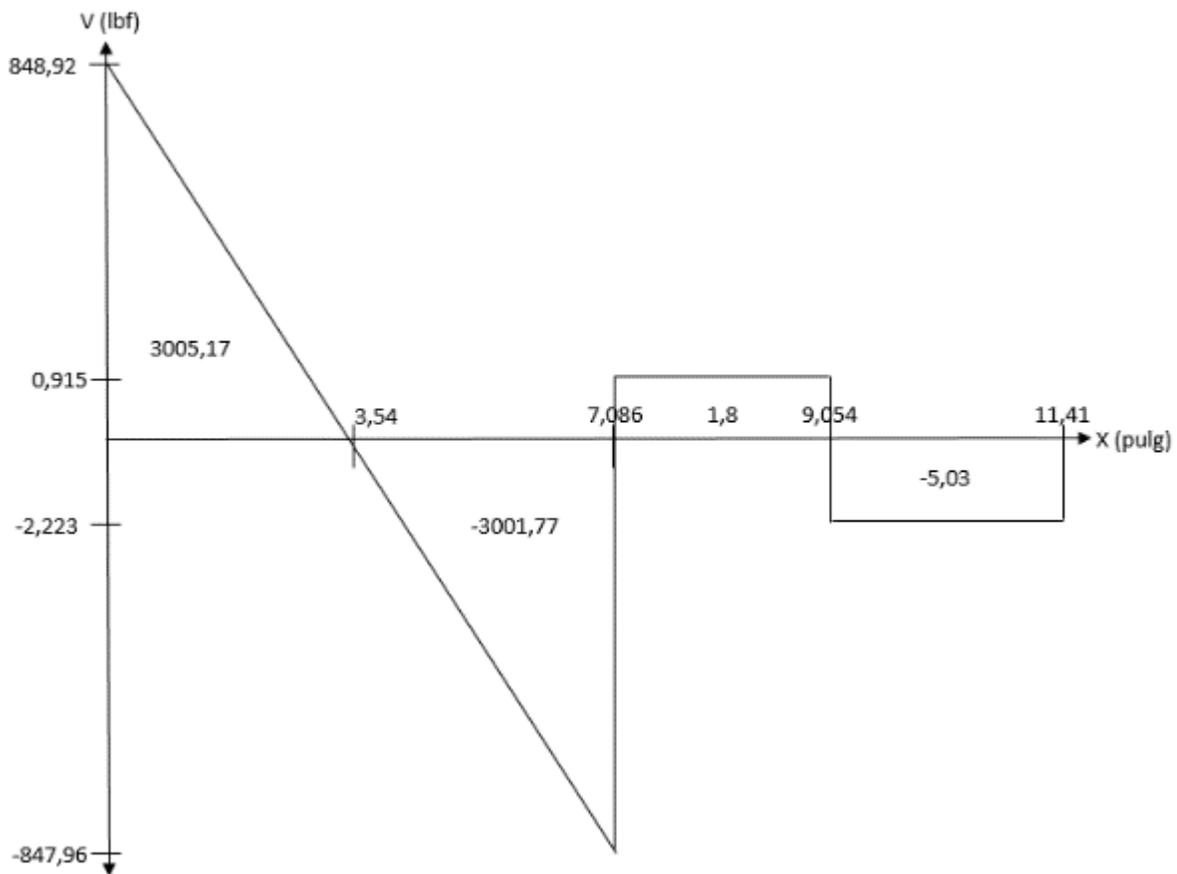
$$R_B (7,086 \text{ lbf}) = 6015,22 \text{ lbf} * \text{pulg} \quad R_B = \frac{6015,22 \text{ lb} * \text{pulg}}{7,086 \text{ pulg}} = 848,88 \text{ lbf}$$

$$R_A = 1697,81 \text{ lbf} - 848,88 \text{ lbf}$$

De esto se obtienen las reacciones en el punto A Y B

$$R_A = 848,92 \text{ lbf} \quad R_B = 848,88 \text{ lbf}$$

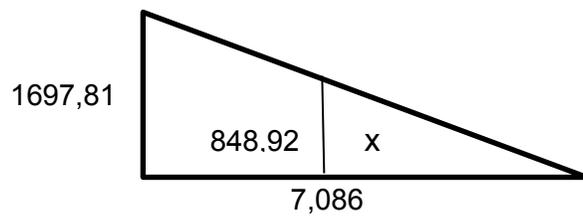
4.5.2 Diagramas de fuerza cortante y momento flector



Donde:

V = Fuerza Cortante

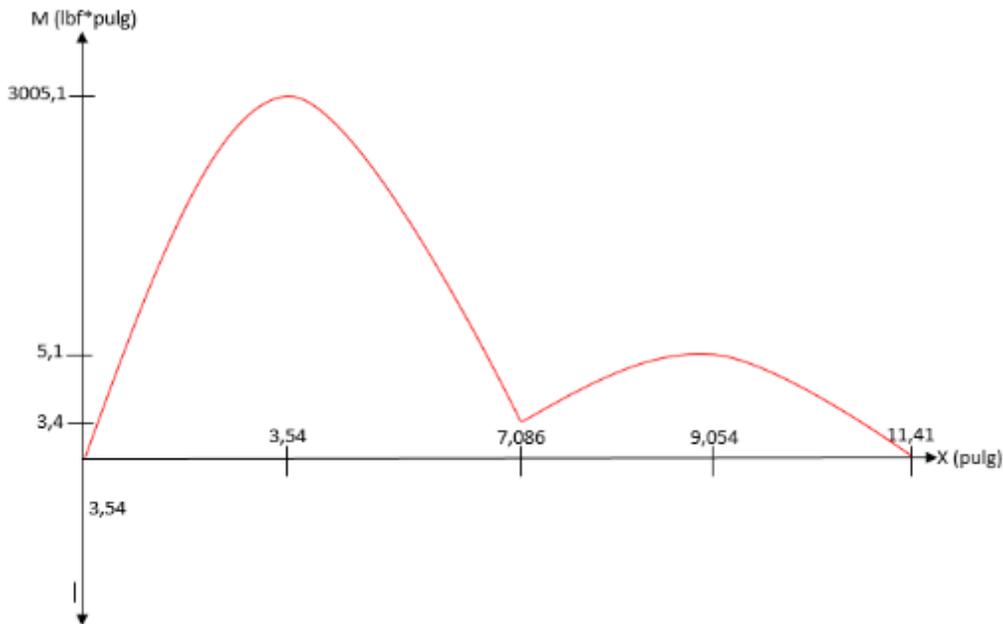
X = Distancia



$$\frac{7,086}{1697,81} = \frac{X}{848,92} \quad X = 3,54$$

Con la relación expresada anteriormente, se halla la distancia en la que la fuerza cortante pasa de ser positiva a ser negativa.

4.5.3 Diagrama de momento flector



4.6 Cálculo diámetro del eje (Acero 1040)

Para el cálculo del diámetro del eje, necesario para soportar el torque y las reacciones se emplea la siguiente ecuación:

$$d = \left[\frac{16}{\pi(S_y)} (4(M)^2 + 3(T)^2)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

d = Diámetro resultante

S_y = Resistencia de fluencia expresado en $Ksi = 1 * 10^3 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$

M = Momento flector máximo

T = Torque

$$T = \frac{(P) 63000}{(rpm)}$$

$$T = \frac{(1 \text{ HP}) 63000}{(1750 \text{ rpm})} = 36 \text{ lb} \cdot \text{ft} \cdot \text{pulg}$$

$S_y = 42 \text{ KSI}$ – Por tablas

$$M = 3005,17 \text{ lbf} \cdot \text{pulg}$$

$$d = \left[\frac{16}{\pi(42 \text{ Ksi})} (4(3005,17 \text{ lbf} \cdot \text{pulg})^2 + 3(36 \text{ lbf} \cdot \text{pulg})^2)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 0,899 \text{ pulg}$$

CON FACTOR DE SEGURIDAD DEL 125 %

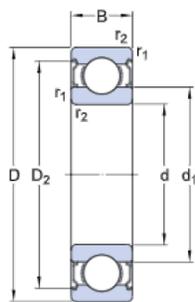
Como factor de diseño se seleccionó el valor de 1,25, esto por ser un material dúctil y a la vez estar sometido a cargas estáticas y alto grado de confianza en los valores de diseño.

$$D = 1,125 \text{ pulg} \rightarrow \text{diámetro a utilizar}$$

Selección del rodamiento

Para la selección de este rodamiento se tuvieron en cuenta dos factores, los cuales fueron que se soportara una carga estática mayor a 1700 lbf y unos rpm superiores a 1750 y claramente un diámetro interno de 1,125 pulg

Por lo que en el catálogo virtual del fabricante SKF se escogió el modelo de Rodamiento rígido de bolas con serie RLS 9- 2Z, con las siguientes características:



DIMENSIONES

d	1.125 in
D	2.5 in
B	0.625 in
d ₁	≈ 1.589 in
D ₂	≈ 2.1283 in
r _{1,2}	min. 0.063 in

Ilustración 25. Selección de rodamientos de acuerdo con tabla de SKF

Fuente: Catalogo rodamientos SKF

DATOS DEL CÁLCULO

Capacidad de carga dinámica básica	C	4564 lbf
Capacidad de carga estática básica	C ₀	2518 lbf
Carga límite de fatiga	P _u	107 lbf
Velocidad de referencia		22000 r/min
Velocidad límite		12000 r/min
Factor de cálculo	k _r	0.025
Factor de cálculo	f ₀	14

Ilustración 26. Características del rodamiento escogido

Fuente: Catalogo rodamientos SKF

4.7 Cálculo del eje del rodillo guiador

Para el cálculo de este eje se utilizaron los mismos criterios y parámetros del eje anterior, como lo son la resistencia a la tensión del polietileno de baja densidad, con un valor promedio de $\sigma_{Max} = 1696,94 \text{ lbf/Pulg}^2$

Dado a que se expresa como un esfuerzo, para hallar el valor de la carga distribuida sobre el eje, dicho esfuerzo se divide entre la longitud a la cual será aplicado, como se ve en la siguiente expresión:

$$W = \frac{\sigma_{Max}}{L}$$

Donde:

W = Carga distribuida

L = Longitud

$$W = \frac{1696,94 \frac{\text{lb}f}{\text{pul}g^2}}{11,41 \text{ pul}g} = 239,47 \frac{\text{lb}f}{\text{pul}g}$$

$$L = 7,086 \text{ pul}g$$

D.C.L (Diagrama de Cuerpo Libre)

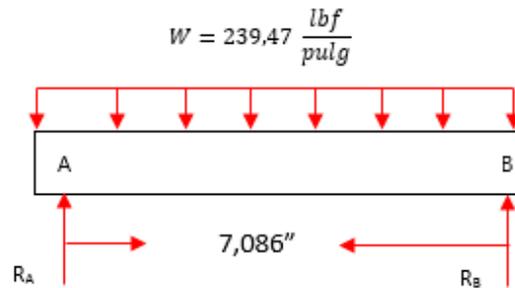


Ilustración 27. Diagrama de cuerpo libre eje 2

R_A = Reacción en el punto A

R_B = Reacción en el punto B

Cálculo de las reacciones sobre el eje

$$\uparrow + \Sigma F_y = 0$$

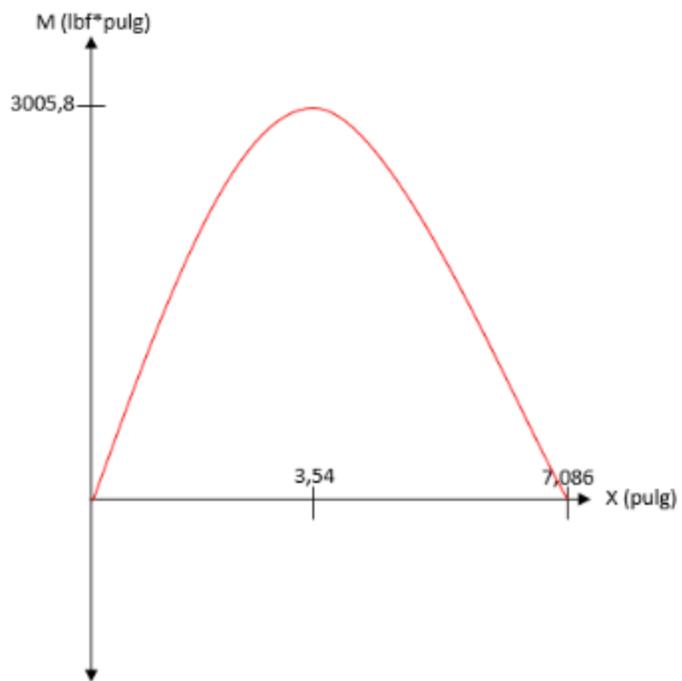
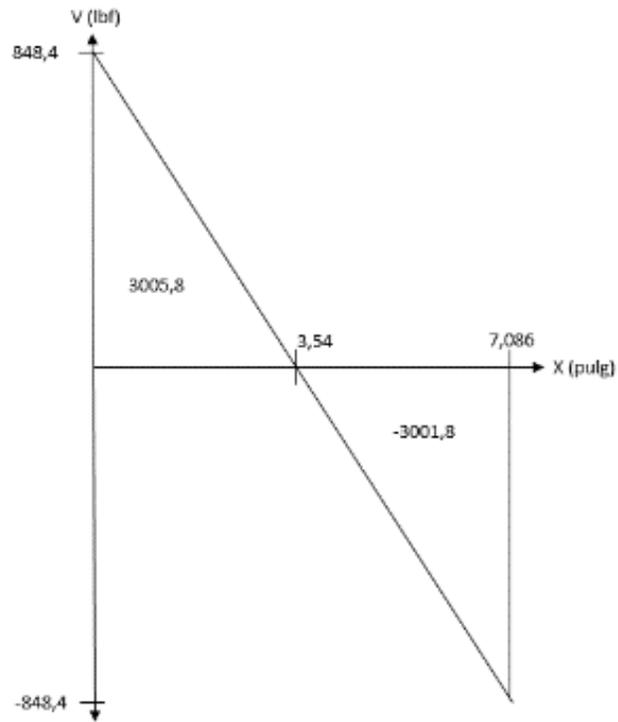
$$R_A + R_B - (W \cdot L) = 0 \quad R_A = R_B$$

$$R_A + R_B = (239,47 \text{ lbf/pulg}) \cdot (7,086 \text{ pulg})$$

$$R_A + R_B = 1696,88 \text{ lbf}$$

$$2R = 1696,88 \text{ lbf} \quad R = \frac{1696,88 \text{ lbf}}{2} = 848,44 \text{ lbf} \quad R_A = R_B = 848,44 \text{ lbf}$$

Diagramas de Fuerzas Cortantes y Momento Flector



Cálculo diámetro del eje (Acero AISI 1040)

Para el cálculo del diámetro del eje, necesario para soportar el torque y las reacciones se emplea la siguiente ecuación:

$$d = \left[\frac{16}{\pi(S_y)} (4(M)^2 + 3(T)^2)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

d = Diámetro resultante

S_y = Resistencia de fluencia expresado en $Ksi = 1 * 10^3 \frac{lb}{pulg^2}$

M = Momento flector máximo

T = Torque

$$T = \frac{(P) 63000}{(rpm)} \quad T = \frac{(1 HP) 63000}{(1750 rpm)} = 36 \text{ lbf} * \text{pulg} \quad S_y = 42 \text{ KSI} - \text{Por tablas}$$

M = 3005,8 lbf*pulg

$$d = \left[\frac{16}{\pi(42 \text{ Ksi})} (4(3005,8 \text{ lbf} * \text{pulg})^2 + 3(36 \text{ lbf} * \text{pulg})^2)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

d = 0,899 pulg

Con factor de seguridad del 125 %

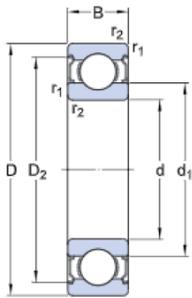
Como factor de diseño se seleccionó el valor de 1,25, esto por ser un material dúctil y a la vez estar sometido a cargas estáticas y alto grado de confianza en los valores de diseño.

D = 1,125 pulg → diámetro a utilizar

Selección del rodamiento

Para la selección de este rodamiento se tuvieron en cuenta dos factores, los cuales fueron que se soportara una carga estática mayor a 900 lbf y unos rpm superiores a 1750 y claramente un diámetro interno de 1,125 pulg

Por lo que en el catálogo virtual del fabricante SKF se escogió el modelo de Rodamiento rígido de bolas con serie RLS 9- 2Z, con las siguientes características:



DIMENSIONES

d	1.125 in
D	2.5 in
B	0.625 in
d ₁	≈ 1.589 in
D ₂	≈ 2.1283 in
r _{1,2}	min. 0.063 in

Ilustración 28. Selección de rodamiento

Fuente: catálogo de rodamientos SKF

DATOS DEL CÁLCULO

Capacidad de carga dinámica básica	C	4564 lbf
Capacidad de carga estática básica	C ₀	2518 lbf
Carga límite de fatiga	P _u	107 lbf
Velocidad de referencia		22000 r/min
Velocidad límite		12000 r/min
Factor de cálculo	k _r	0.025
Factor de cálculo	f ₀	14

Ilustración 29. Características rodamiento seleccionado

Fuente: catalogo rodamientos SKF

Cálculo de fuerzas en poleas

Polea 1

$$D = 3,937 \text{ pulg}$$

$$T = 36 \text{ lbf} \cdot \text{pulg}$$

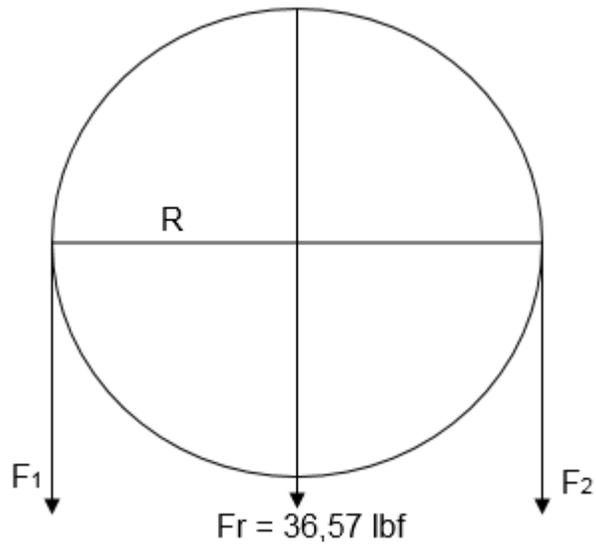


Ilustración 30. Cálculo de fuerzas en poleas

Fuente: Sebastián Cardozo, Carlos Roballo

$$\uparrow + \Sigma M_B = 0$$

$$(F_1 * R) - (F_2 * R) = T \qquad \frac{F_1}{F_2} = 3 \rightarrow F_1 = 3F_2$$

$$(F_1 - F_2) \frac{D}{2} = T$$

$$(F_1 - F_2) = \frac{36 \text{ lbf} * \text{pulg}}{1.968 \text{ pulg}} = 18,288 \text{ lbf}$$

$$3F_2 - F_2 = 18,28 \text{ lbf}$$

$$\mathbf{F_2 = 9,14 \text{ lbf}}$$

$$\mathbf{F_1 = 27.43 \text{ lbf}}$$

Polea 2

$$D = 3,937 \text{ pulg}$$

$$T = 36 \text{ lbf} * \text{pulg}$$

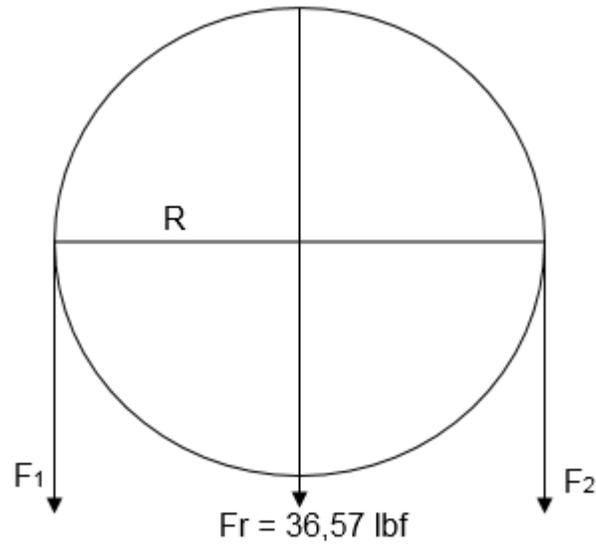


Ilustración 31. Cálculo de fuerzas polea 2

Fuente: Sebastián Cardozo, Carlos Roballo

$$\Sigma M_B = 0$$

$$(F_1 * R) - (F_2 * R) = T \qquad \frac{F_1}{F_2} = 3 \rightarrow F_1 = 3F_2$$

$$(F_1 - F_2) \frac{D}{2} = T$$

$$(F_1 - F_2) = \frac{36 \text{ lbf} * \text{pulg}}{1.968 \text{ pulg}} = 18,288 \text{ lbf}$$

$$3F_2 - F_2 = 18,28 \text{ lbf}$$

$$F_2 = 9,14 \text{ lbf}$$

$$F_1 = 27,43 \text{ lbf}$$

Como se puede evidenciar las fuerzas resultantes en las poleas 1 y 2 son de iguales magnitudes, de la misma manera pasa con el diámetro, esto debido a que no se puede variar ni potencia ni velocidad angular, porque si uno de los dos módulos gira más

rápido que el otro, no se llevaría a cabo un proceso exitoso de bobinado, ya que la de potencia y velocidad del sistema de bobinado están directamente proporcionadas por el sistema de halado, lo que la hace totalmente dependiente.

Polea 3

$D = 3,937$ pulg

$T = 36$ lbf*pulg

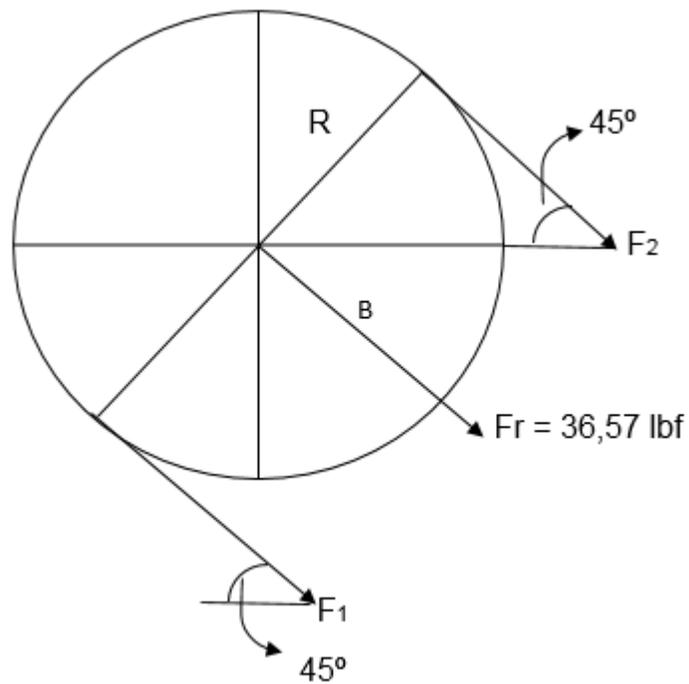


Ilustración 32. Cálculo de fuerzas polea 3

Fuente: Sebastián Cardozo, Carlos Roballo

$$\Sigma M_B = 0$$

$$(F_1 * R) - (F_2 * R) = T \frac{F_1}{F_2} = 3 \rightarrow F_1 = 3F_2$$

$$(F_1 - F_2) \frac{D}{2} = T$$

$$(F_1 - F_2) = \frac{36 \text{ lbf} * \text{pulg}}{1.968 \text{ pulg}} = 18,288 \text{ lbf}$$

$$3F_2 - F_2 = 18,28 \text{ lbf}$$

$$\mathbf{F_2 = 9,14 \text{ lbf}}$$

$$\mathbf{F_1 = 27,43 \text{ lbf}}$$

Polea 4

$$D = 3,937 \text{ pulg}$$

$$T = 36 \text{ lbf} * \text{pulg}$$

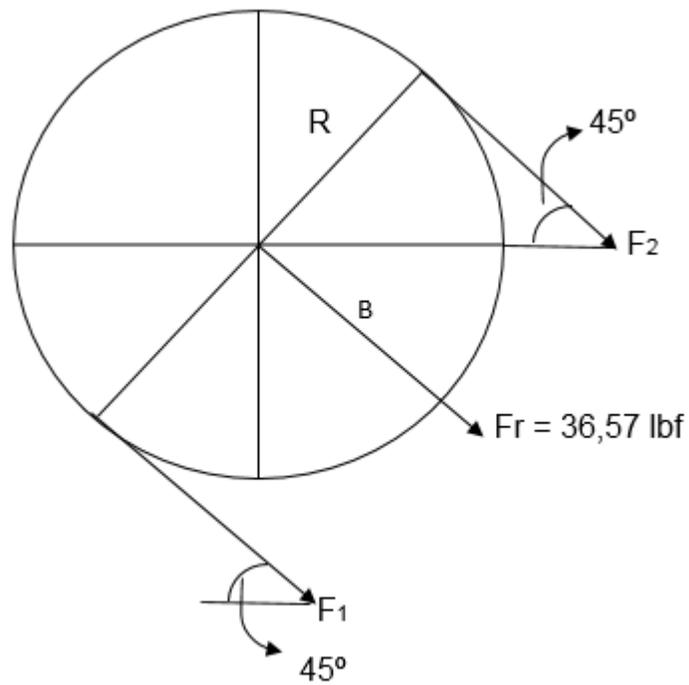


Ilustración 33. Cálculo de fuerzas polea 4

Fuente: Sebastián Cardozo, Carlos Roballo

$$\Sigma M_B = 0$$

$$(F_1 * R) - (F_2 * R) = T \quad \frac{F_1}{F_2} = 3 \rightarrow F_1 = 3F_2$$

$$(F_1 - F_2) \frac{D}{2} = T$$

$$(F_1 - F_2) = \frac{36 \text{ lbf} * \text{pulg}}{1.968 \text{ pulg}} = 18,288 \text{ lbf}$$

$$3F_2 - F_2 = 18,28 \text{ lbf}$$

$$F_2 = 9,14 \text{ lbf}$$

$$F_1 = 27,43 \text{ lbf}$$

Como se puede evidenciar las fuerzas resultantes en las poleas 3 y 4 son de iguales magnitudes, de la misma manera pasa con el diámetro, esto debido a que no se puede variar ni potencia ni velocidad angular, porque si uno de los dos módulos gira más rápido que el otro, no se llevaría a cabo un proceso exitoso de bobinado, ya que la potencia y velocidad del sistema de bobinado están directamente proporcionadas por el sistema de halado, lo que la hace totalmente dependiente.

Reducción de velocidad y aumento de potencia (poleas)

De motor a polea 1 y de polea 1 a polea 2.

El motor entrega 1HP a 1750 rpm $T_1 = 36 \text{ lb} \cdot \text{pulg}$ a polea 1.

De polea 1 a polea 2

$$D_1 = 3,937 \text{ pulg} \quad \text{rpm}_1 = 1750 = n_1 \quad D_2 = 3,937 \text{ pulg} \quad \text{rpm}_2 = ? = n_2$$

$$n_1 \cdot D_1 = n_2 \cdot D_2 \quad n_2 = \frac{n_1 \cdot D_1}{D_2} \quad n_1 = \frac{(1750) \cdot (3,937)}{3,937} \quad n_2 = 1750 \text{ rpm}$$

$$T_2 = \frac{(P) 63000}{(\text{rpm})} \quad T = \frac{(1 \text{ HP}) 63000}{(1750 \text{ rpm})} = 36 \text{ lbf} \cdot \text{pulg}$$

Con esto comprobamos que la entrega de potencia y velocidad va a ser la misma en cada eje a la que se transmita.

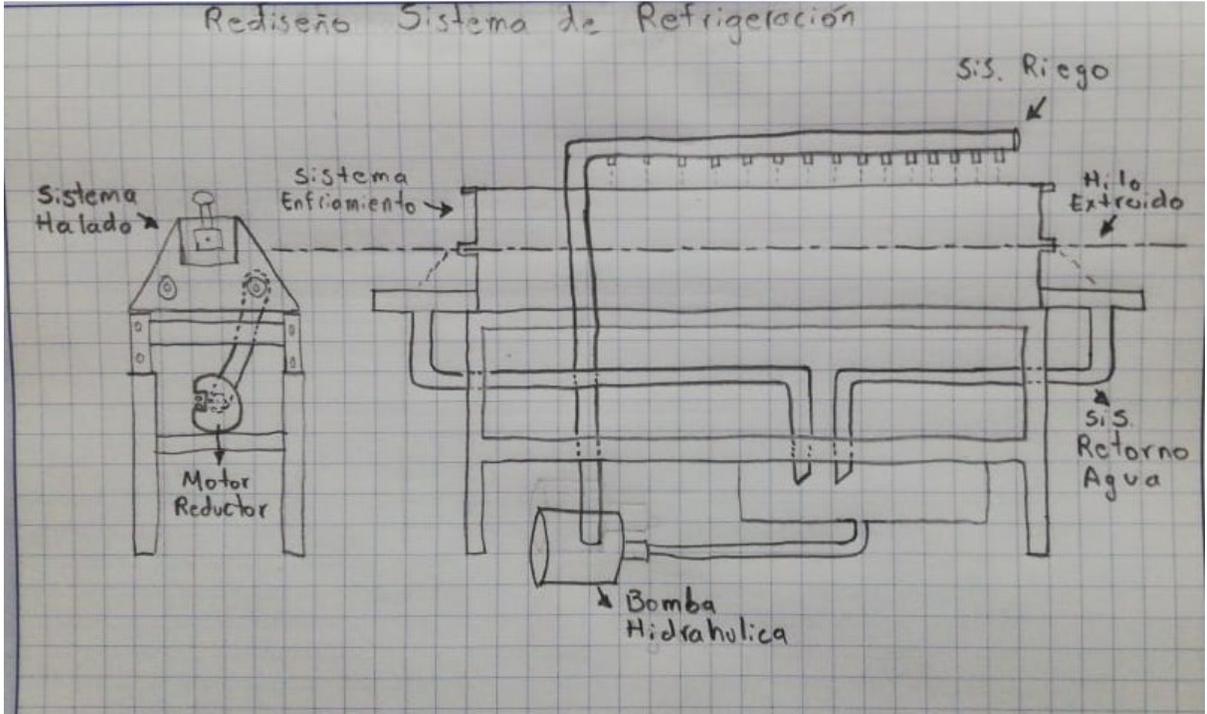
5. Rediseño de módulo de refrigeración

5.1 Sistema de refrigeración anterior

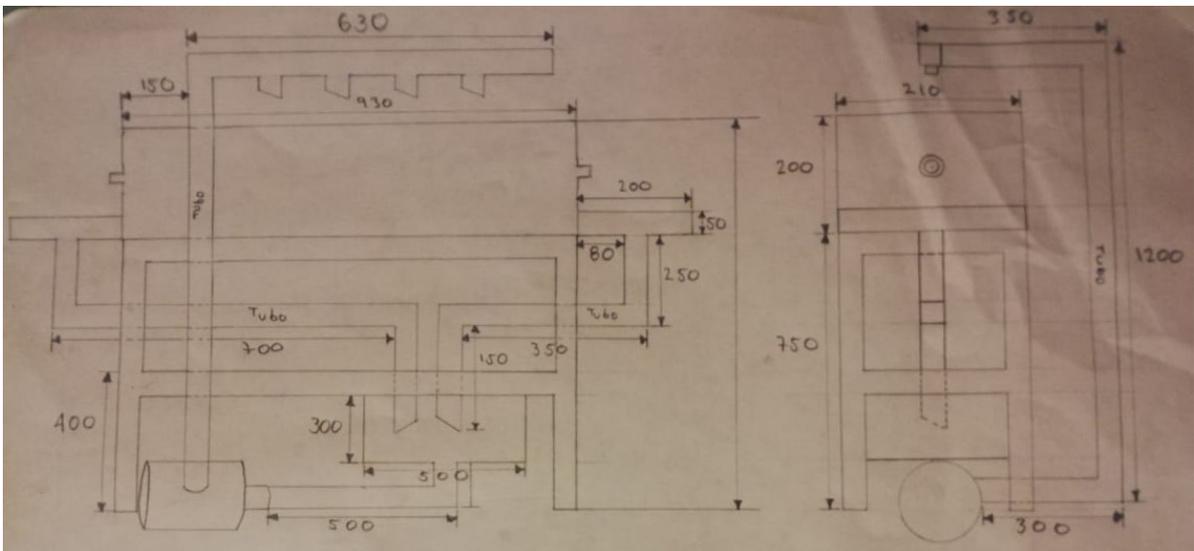


Este sistema cuenta dos depósitos de agua, una bomba hidráulica, un manómetro y una tubería. El sistema funciona principalmente a través de una tubería de riego, en el que la bomba toma el agua de un depósito y la suministra por una tubería de PVC que pasa por la parte superior del hilo extruido. En este punto encontramos una gran falencia y es que este método no garantiza el contacto directo entre el agua y el material recién extruido por lo que se requiere de una alta precisión para mantener el material siempre bajo el riego. Posterior a esto el agua que sale de esta tubería es recolectada por un segundo depósito que contiene un agujero en el centro, por el cual el líquido refrigerante llega de nuevo al depósito primario para ser nuevamente succionado por la bomba hidráulica y así comenzar el ciclo de refrigeración. De esta manera el sistema con el que cuenta la máquina a pesar de que baja la temperatura del hilo extruido por la transferencia de calor por convección directa entre el agua y el material extruido, no garantiza que así el material se pudiese someter a la tensión producto del proceso de bobinado.

5.2 Bosquejo del nuevo diseño del sistema de refrigeración

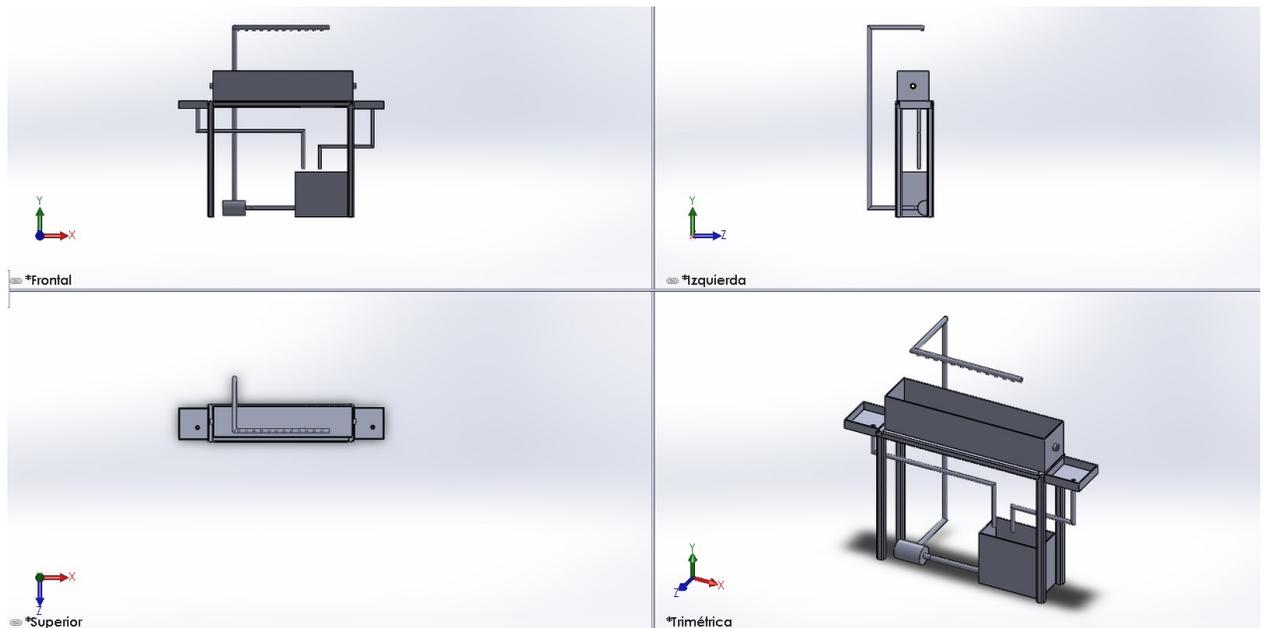


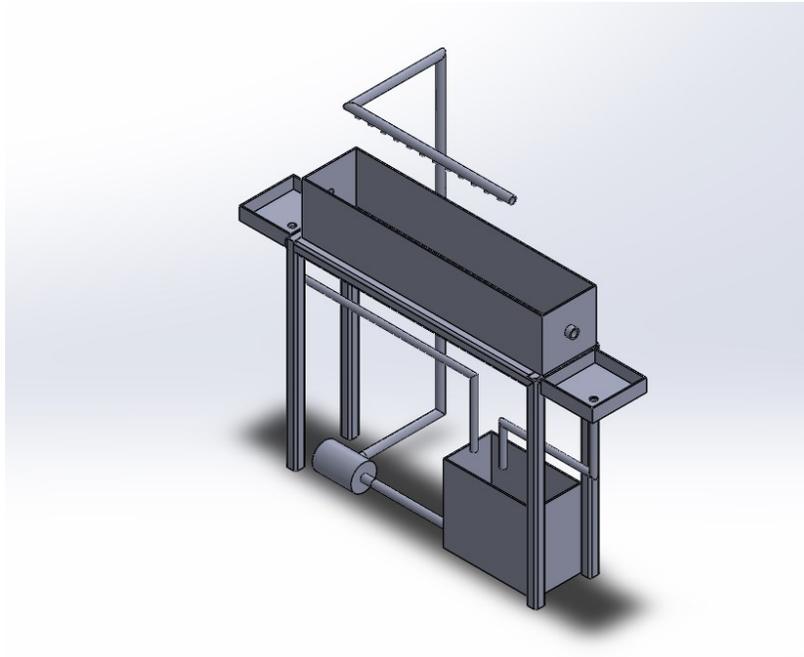
Medidas propuestas para el nuevo sistema



Con el rediseño del módulo de refrigeración se pretende bajar la temperatura del material extruido un poco más rápido, disminuyendo la probabilidad de que este se deforme cuando es sometido a la tensión generada por el módulo de bobinado, de esta manera evitar que se pierdan propiedades mecánicas del polietileno.

5.3 Sistema de refrigeración propuesto y modulado en CAD





El nuevo sistema de refrigeración cuenta con dos depósitos de agua, una bomba hidráulica, dos recolectores de agua, junto con dos tuberías de retorno y una tubería de riego. Este sistema funciona por el método de inmersión del hilo extruido, inicialmente, la bomba hidráulica sustrae el agua del primer depósito y lo lleva al segundo depósito por medio de la tubería de riego, el líquido cae uniformemente en el segundo depósito, en el cual pasa sumergido el hilo de polietileno. El segundo depósito cuenta con dos agujeros, uno de entrada y otro de salida, por donde pasa el material extruido, también por estos orificios sale el agua y cae en dos recipientes recolectores con agujeros en el centro, en los cuales están conectados dos tubos de retorno, uno a cada lado, que llevan el líquido al primer depósito para así comenzar de nuevo el ciclo de refrigeración.

Las dos grandes ventajas de este nuevo sistema son que va a haber un contacto directo entre el material y el líquido refrigerante, con esto se mejorara el proceso de enfriamiento y así conservar las propiedades mecánicas del polietileno, dejándolo así en un punto óptimo para llevar a cabo el proceso de bobinado. Y por otra parte el sistema de retorno de agua es mucho más útil que el anterior, ya que se reducen las pérdidas del líquido y se da un mejor aprovechamiento del sistema en general.

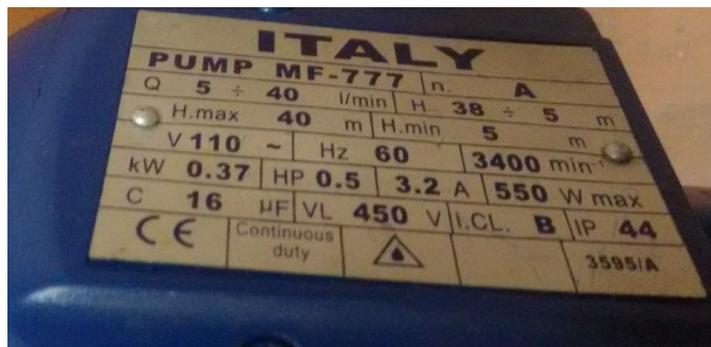
5.4 Cálculos para el sistema de refrigeración

5.4.1 Bomba Hidráulica

La bomba utilizada en este nuevo sistema de refrigeración es la misma que se utilizaba en el anterior, esto con el fin de optimizar gastos y dar un mejor aprovechamiento a los componentes de la anterior máquina, de igual manera se procederá a sustentar el uso de esta bomba por medio de cálculos, los cuales nos indicaran si la bomba cumple con los requerimientos necesarios para operar en este sistema.

Q = 40 L/min			
Hmax = 40 m			
V = 110	Hz = 60		Rpm = 3400
kW 0,37	Hp 0,5	3,2 A	550 Wmax
C 16 μ F	VL 450V	I.CL B	IP 44

En la tabla anterior se nos indican las especificaciones técnicas de la bomba actualmente instalada en el sistema.



Basándonos en estos valores, vamos a escoger la tubería de riego del sistema.

Estos valores nos indican caudal y velocidad de fluido, de donde obtendremos el diámetro interno de la tubería a utilizar.

$$Q = 40 \frac{L}{min} \quad V = 3 \frac{m}{s} \quad A = \frac{\pi}{4} D_i^2$$

Donde:

Q = Caudal

V = Velocidad de fluido

A = área de fluido

Pasamos el caudal a m³/s para poder hallar el diámetro de la tubería.

$$Q = 40 \frac{L}{min} * \frac{0,001m^3}{1L} * \frac{1min}{60s} \quad Q = 6,67 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

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

$$A = \frac{6,67 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{3 \frac{m}{s}} \quad A = 2,23 * 10^{-4} m^2$$

Despejando el diámetro de la ecuación del área obtenemos:

$$D_i = \sqrt{\frac{4}{\pi} * A}$$

Donde D_i = Diámetro interno de la tubería

$$D_i = \sqrt{\frac{4}{\pi} * (2,23 * 10^{-4} m^2)} \quad D_i = 0.0168 m$$

Como diámetro mínimo interno se obtuvo un valor de D_i = 0,0168 m, para escoger la tubería de funcionamiento del sistema, se escoge el siguiente diámetro nominal estandarizado al obtenido, para este caso sería:

$$D_i = 0.0254 m$$

Con este diámetro, obtenemos la nueva área y velocidad de trabajo que se va a utilizar en el sistema.

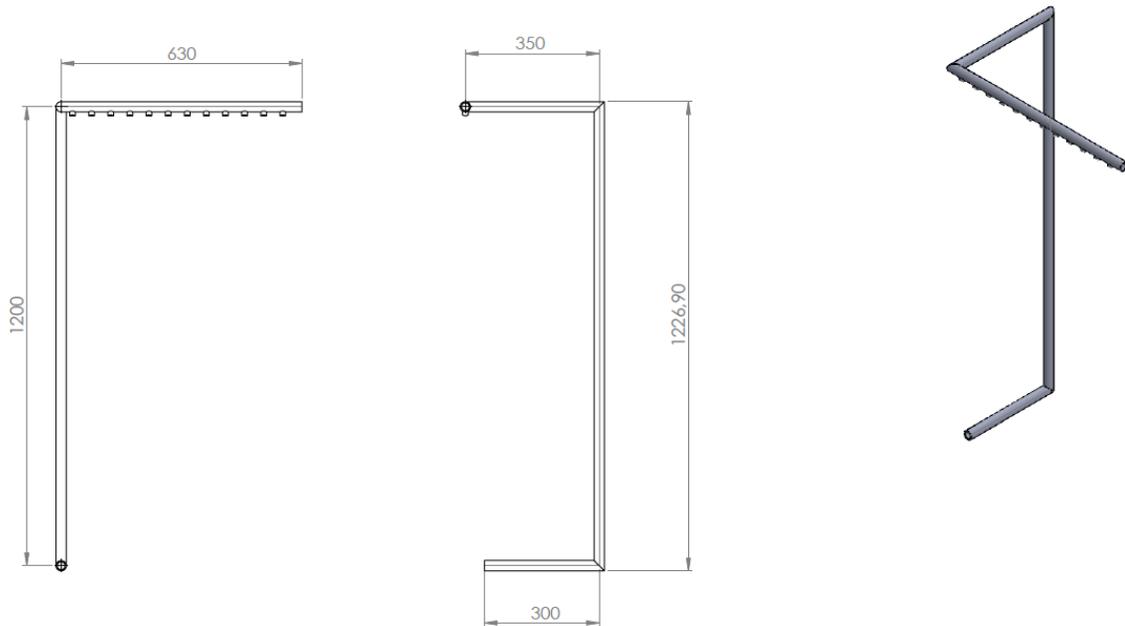
$$A = \frac{\pi}{4} (0,0254 m)^2 \quad A = 5,067 * 10^{-4} m^2$$

$$V = \frac{Q}{A} \quad V = \frac{6,67 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{5,067 \cdot 10^{-4} m^2} \quad V = 1,316 \frac{m}{s}$$

Estos valores corresponden al área y velocidad de trabajo respectivamente.

Con esto obtenemos el valor del diámetro de la tubería que incorporara el nuevo sistema de refrigeración.

5.4.2 Pérdidas en el sistema



Para el cálculo de las pérdidas en el sistema, se hacen necesarias las medidas de la tubería por donde recorre el líquido refrigerante con impulso de la bomba.

Como material a utilizar en la tubería de riego se escogió el policloruro de vinilo (PVC), eso con el fin de minimizar las pérdidas en el sistema a medida que el líquido fluya, ya que este material (PVC) tiene una rugosidad baja comparada con la de otros materiales como los aceros, con estos garantizamos la disminución de las pérdidas.

Como valores iniciales tenemos:

$$Q = 6,67 * 10^{-4} \frac{m^3}{s} \quad D_i = 0.0254 \text{ m} \quad V = 1,316 \frac{m}{s} \quad \varepsilon = 3 * 10^{-7} \text{ mm}$$

Donde ε = Rugosidad del material, en este caso (PVC)

Para el siguiente paso hallaremos el Numero de Reynolds (N_R), este número nos indicara si dentro de la tubería tendremos un flujo laminar o turbulento.

$$N_R = \frac{V * D_i}{\nu} \quad \nu = 1,02 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

Donde:

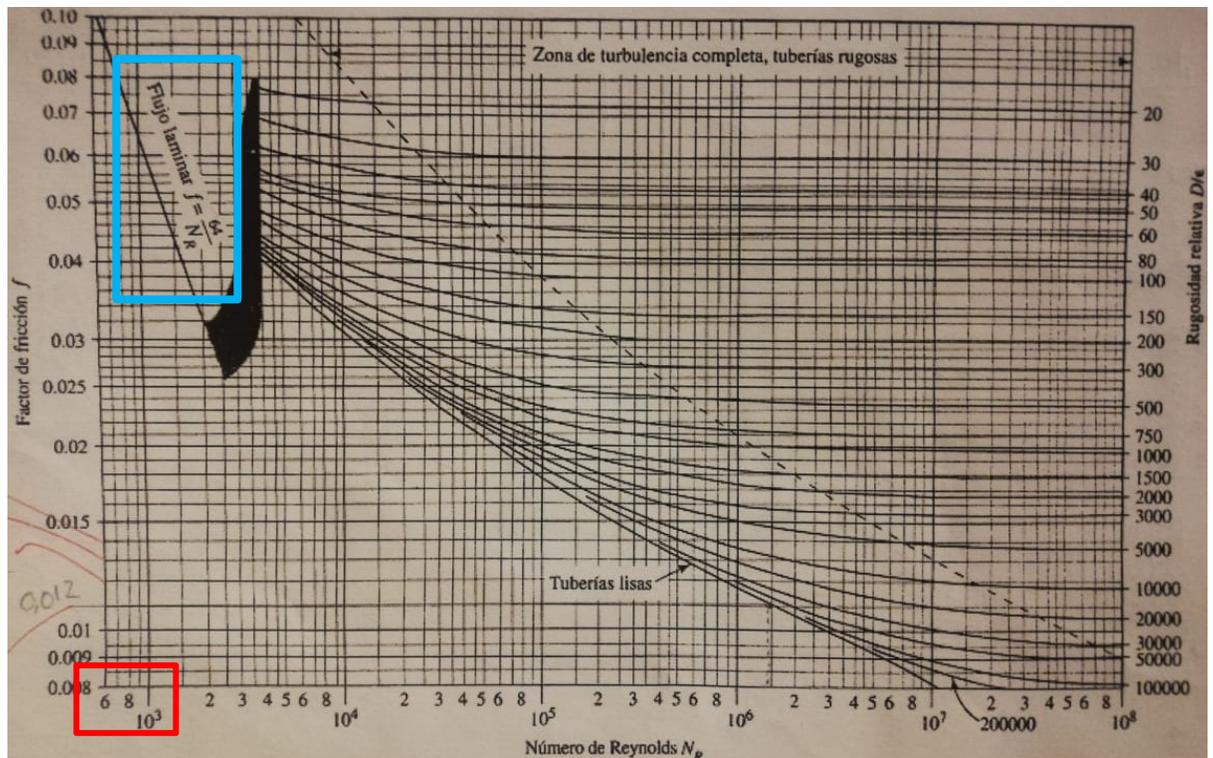
V = Velocidad de trabajo

ν = Viscosidad Cinematica, en este caso agua

D_i = Diámetro interior de la tubería

Por lo tanto:

$$N_R = \frac{1,316 \frac{m}{s} * 0,0254 m}{1,02 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}} \quad N_R = 3,27 * 10^3$$



Basándonos en el diagrama de moody antes mostrado y con el valor del N_R , nos damos cuenta dentro del cuadrado rojo de que este número no está dentro de los parámetros del diagrama, por lo tanto asumimos que el fluido dentro de la tubería tiene un flujo laminar, por lo tanto utilizaremos la ecuación enmarcada en el recuadro azul para hallar el valor de nuestro factor de fricción en el sistema. Por lo tanto:

Se entiende por flujo laminar como el movimiento ordenado de un fluido, es decir que dicho fluido avanza en láminas paralelas sin mezclarse. Entonces tenemos:

$$f = \frac{64}{N_R} \quad f = \frac{64}{3,27 \cdot 10^3} \quad f = 1,95 \cdot 10^{-3}$$

Donde:

f = Factor de fricción

Con este valor, procedemos a hallar las pérdidas menores por fricción en la tubería antes de agregar energía adicional de la bomba.

$$h_L = f * \frac{L}{D} ** \frac{V^2}{2 * g} \quad g = 9,81 \frac{m}{s^2} \quad L = 0,35 m$$

Donde:

h_L = Pérdidas menores por fricción

g = gravedad

L = Longitud del depósito primario a la bomba

$$h_L = (1,95 \cdot 10^{-3}) * \frac{0,35 m}{0,0254 m} ** \frac{(1,316 \frac{m}{s})^2}{2 * (9,81 \frac{m}{s^2})} \quad h_L = 2,371 \cdot 10^{-3} m$$

Con este primer resultado evidenciamos que las pérdidas en el sistema son bastante pequeñas.

Posterior a esto se calculan las pérdidas totales en el sistema después de la bomba hidráulica.

$$h_L = f * \frac{L}{D} ** \frac{V^2}{2 * g} \quad g = 9,81 \frac{m}{s^2} \quad L = 2,48 m$$

Donde:

h_L = Pérdidas menores por fricción

g = gravedad

L = Longitud total de la tubería de riego después de la bomba

$$h_L = (1,95 * 10^{-3}) * \frac{2,48 \text{ m}}{0,0254 \text{ m}} ** \frac{(1,316 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2*(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})} \quad h_L = 0,0168 \text{ m}$$

Con las pérdidas totales en el sistema y la distancia entre el punto más bajo de donde se absorbe el agua hasta el punto más alto donde se desea llevar, podremos hallar la cabeza de la bomba o altura necesaria del sistema para cumplir con las especificaciones. Por lo tanto:

$$h_A = h_L + L_T \quad h_L = 0,0168 \text{ m} \quad L_T = 1,2 \text{ m}$$

Donde:

h_A = Cabeza de bomba

L_T = Distancia entre puntos

$$h_A = 0,0168 \text{ m} + 1,2 \text{ m} \quad h_A = 1,2168 \text{ m}$$

Este resultado nos indica el valor mínimo o altura mínima que debe de alcanzar la bomba para cumplir con los requerimientos del sistema. Con esto nos damos cuenta que la altura máxima que puede alcanzar la bomba es de $H = 40 \text{ m}$ según las especificaciones técnicas mencionadas anteriormente, por lo tanto se concluye que para este parámetro la bomba cumple satisfactoriamente con las necesidades del sistema.

5.4.3 Potencia de la bomba

Con la valor de la altura mínima requerida (h_A) se puede hallar la potencia mínima requerida para el buen funcionamiento del sistema. Entonces:

$$P = \gamma * Q * h_A \quad \gamma = 9,79 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}$$

Donde:

P = Potencia de la bomba hidráulica

γ = *Peso específico del fluido*

Por lo tanto:

$$P = 9,79 \frac{KN}{m^3} * 6,67 * 10^{-4} \frac{m^3}{s} * 1,2168 m \quad P = 7,94 * 10^{-3} Kwatt$$

Por ultimo vemos que la potencia nominal de la bomba $P = 0.5 Kwatt$ supe satisfactoriamente la potencia mínima del funcionamiento del sistema, por lo tanto podemos determinar que es viable para su construcción y esta acorte a los parámetros de funcionamiento de la máquina.

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

- En el diagnóstico se encontró que era necesario hacer el cambio del variador de frecuencia para el módulo de extrusión, este se cambió por un variador marca Invertec que además de tener un menor volumen es de mucho más fácil programación y operabilidad, que facilitara la operación en la máquina didáctica.
- Se determinó que el diseño del módulo de bobinado más adecuado era el de rodillo guiador puesto que es un diseño simple que no involucra un programa de mantenimiento preventivo muy detallado, en comparación con diseños como los de eje de longitud variable o sistemas que desplacen el carrete para un bobinado uniforme.
- De acuerdo a los cálculos y selección del material de los ejes para el nuevo módulo de bobinado, se concluyó que se requiere de un motor más potente para que cumpla con las especificaciones técnicas del sistema, ya que 0.5 HP de potencia no son suficientes para suplir la necesidad, se requiere mínimo 1 HP
- Con el diagnóstico realizado se encontraron los sistemas que se debían intervenir prioritariamente, evitando acciones correctivas a la hora de poner en funcionamiento la máquina
- Se estableció que para implementar un módulo de bobinado para la máquina didáctica era necesario reducir la temperatura del hilo extruido a fin de poder generar tensión en el mismo para realizar el bobinado.
- Se concluyó que las condiciones de operación de la máquina no involucran ambientes exigentes, por lo tanto, el material que se propone para los ejes no necesita tener tratamientos térmicos, ni procesos de mecanizado muy exigentes, de ahí la elección del acero AISI 1040.
- La máquina necesitaba de un sistema de refrigeración mas objetivo y eficiente, puesto que el anterior era un poco deficiente, dado a esto se logró llegar a un sistema moderno con gran parte de los componentes antiguos.
- Se hace necesario implementar un sistema de automatización y control para el sistema de refrigeración, esto con el fin de controlar el llenado del tanque, la intermitencia de la bomba y la presión en la tubería de riego.

6.2 Recomendaciones

- Es necesario seguir las recomendaciones del anexo B para evitar daños en los equipos por falta de mantenimiento preventivo.
- Se sugiere a la hora de realizar la construcción y puesta en funcionamiento de los equipos relacionados en el documento, utilizar los materiales con los que se realizaron los cálculos a fin de evitar rediseños y sobrecostos.
- Proyectos como este benefician a la universidad y a los estudiantes para generar trabajos de calidad que sirvan a los actuales y futuros estudiantes para el desarrollo de algunas asignaturas de sus carreras.
- En un futuro para la modificación del módulo de refrigeración se puede implementar un sistema de control de nivel que controle el funcionamiento de la bomba.

7. Bibliografía

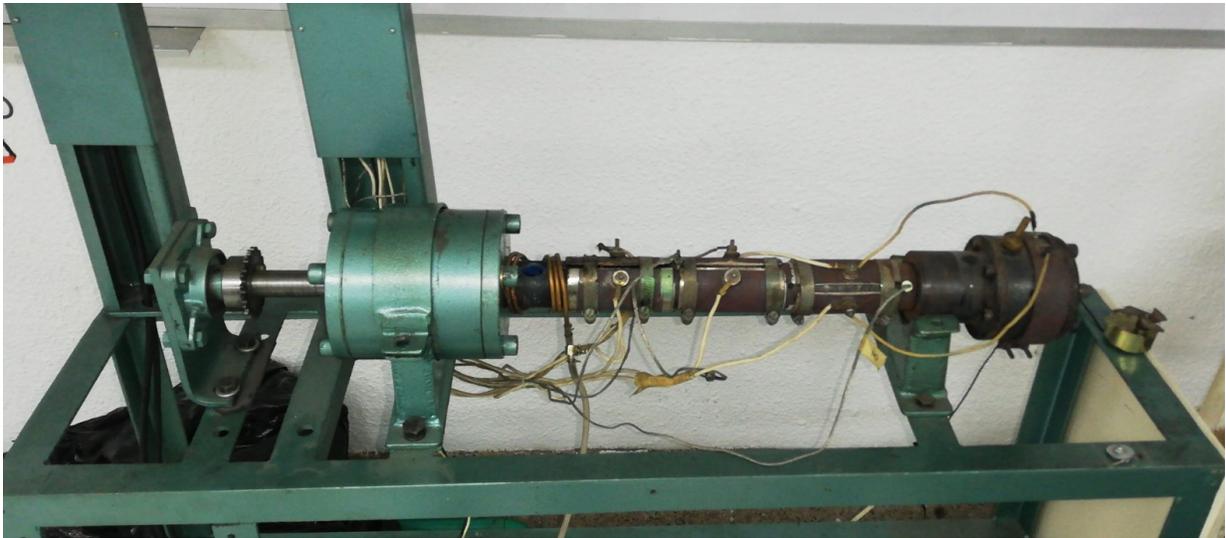
- Alexander Gongora, L. C. (2018). *Análisis de la calidad de potencia y suministro eléctrico en el sistema fotovoltaico de 150 KWp de la Universidad Autónoma de occidente*. Cali.
- control, M. p. (2009). *Alberto Mora*. México: Alfaomega.
- Kalpakjian, S. (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología* . Pearson educación.
- KALPAKJIAN, S. (2008). *Manufactura, Ingeniería y tecnología*. Mexico: Pearson Educación.
- Marcilla, M. B. (2012). *"Extrusión" en tecnología de polímeros* . Alicante : UNE.
- McKinnon, D. L. (2010). Insulation Resistance Profile (IRP) and its use for assessing insulation systems. *IEEE International Symposium on Electrical Insulation* (págs. 1-4). San Diego California: IEEE.
- Medina, E. P. (2015). *Diseño y construcción de una máquina bobinadora de precisión para rafia de polipropileno, en la empresa Hiplas*. Riobamba.
- Mora, A. (2009). *Mantenimiento: planeación, ejecución y control*. Mexico: AlfaOmega.
- Núñez, O. (2015). *Pruebas de aislamiento para motores eléctricos de baja tensión* . Lima.
- Romero, J. M. (2014). *Transformación de materiales termoplásticos*. Quito: IC editorial.

A. Anexo: Planos sistema refrigeración

B. Anexo: Planos módulo de bobinado

C. Anexo: Manual de funcionamiento y mantenimiento

MANUAL DE FUNCIONAMIENTO



MÁQUINA DE PRUEBAS DIDÁCTICA PARA DESARROLLO DE PROCESOS DE EXTRUSIÓN, HALADO Y BOBINADO PARA POLIETILENO

INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

ADVERTENCIA SE RECOMIENDA LEER EL MANUAL DE FUNCIONAMIENTO ANTES DE TRABAJAR CON ESTA MÁQUINA



Fallos en la lectura del siguiente manual pueden ocasionar lesiones en el personal que lo manipule o daños en la máquina.

- No utilizar la máquina sin una toma con conexión a tierra apropiada puede generar riesgos de choque eléctrico.
- Cuando la máquina esté encendida no ponga su mano ni ningún objeto sobre la zona caliente ni las de riesgo mecánico en la máquina.
- En lo posible mantenga el tablero de control cerrado para evitar estar expuesto a voltajes peligrosos.
- Cuando la máquina este siendo intervenida se recomienda realizar los trabajos con esta desenergizada.

Descripción

Características técnicas

A continuación, se describen las características técnicas de cada uno de los módulos con que cuenta la máquina didáctica. Los módulos para explicar son los siguientes:

- Módulo de extrusión
- Módulo de halado
- Módulo de bobinado

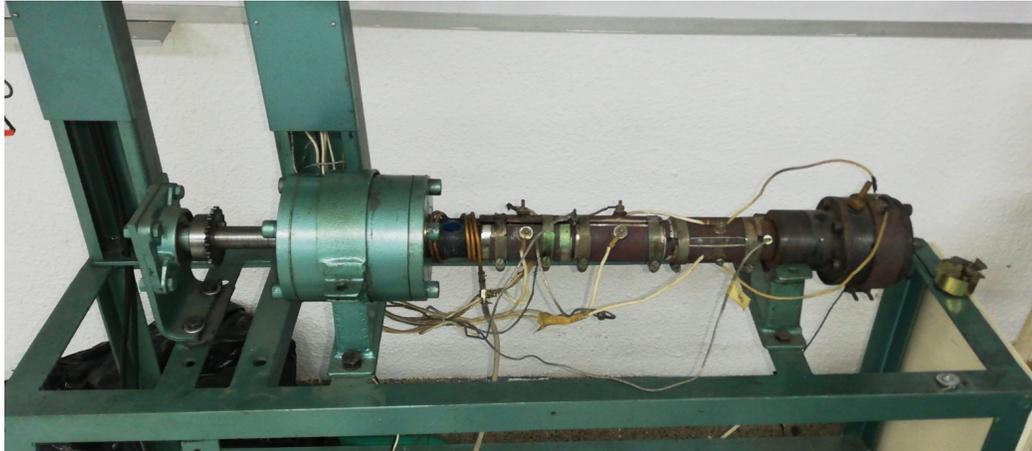
La máquina cuenta con un sistema de control para los módulos, este se encuentra en la parte superior izquierda del módulo de extrusión, para poner en funcionamiento cualquier módulo de la máquina solo se requiere energizar el tablero de control, realizando la respectiva conexión. Las características generales del tablero de control son:

- Voltaje de alimentación 220VAC – 60 HZ
- 1 variador Telemecanique Altivar 11 para control del módulo de halado de la máquina.
- 1 variador Invertek para control del módulo de extrusión
- 3 controladores de temperatura para las 3 zonas de resistencias del módulo de extrusión
- Breakers termomagnéticos de protección para el sistema de control
- Transformador eléctrico 220VAC/12VDC para conexión a relés de estado sólido para las zonas de resistencias del módulo de extrusión

Módulo de extrusión

El módulo de extrusión es el más robusto de los 4 módulos con los que cuenta la máquina, el sistema de extrusión cuenta con un motorreductor Siemens de 1.2 HP controlado por un variador marca Invertek. El cual a través de un sistema de transmisión cadena- piñón acciona el tornillo sin fin que transporta la materia prima a lo largo de las zonas calientes. Este también cuenta con una bomba marca City pump Italy de 0,5 HP para el sistema de

refrigeración de la máquina. En lo que respecta a las zonas calientes este sistema cuenta con 3 zonas de resistencias comandadas por 3 controles de temperatura digitales de marca Rex con 3 relés de estado sólido para la variación de temperatura de acuerdo con las características del material a extruir.



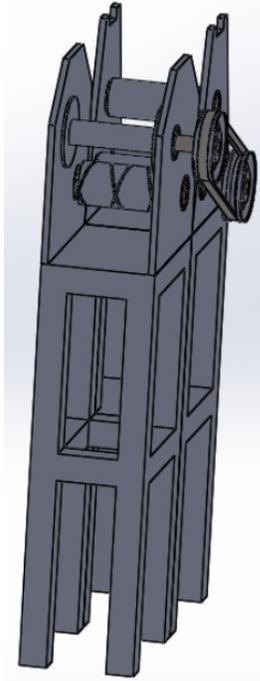
Módulo de halado

El módulo de halado cuenta con un variador marca Telemecanique con un motor de 0,5 HP, el cual es el encargado de transmitir el movimiento para el módulo de halado. El sistema de halado también cuenta con 2 rodillos paralelos con altura variable para calibrar el diámetro del hilo extruido y posteriormente realizar el corte para pellets o realizar bobinado en el siguiente módulo.



Módulo de bobinado

Actualmente la máquina no cuenta con el módulo de bobinado, a pesar de eso se presenta el diseño realizado al sistema, este módulo funciona a través de transmisión de potencia por polea y correa del motor de halado. Por lo tanto, siempre que esté trabajando el módulo de halado trabajara el módulo de bobinado.



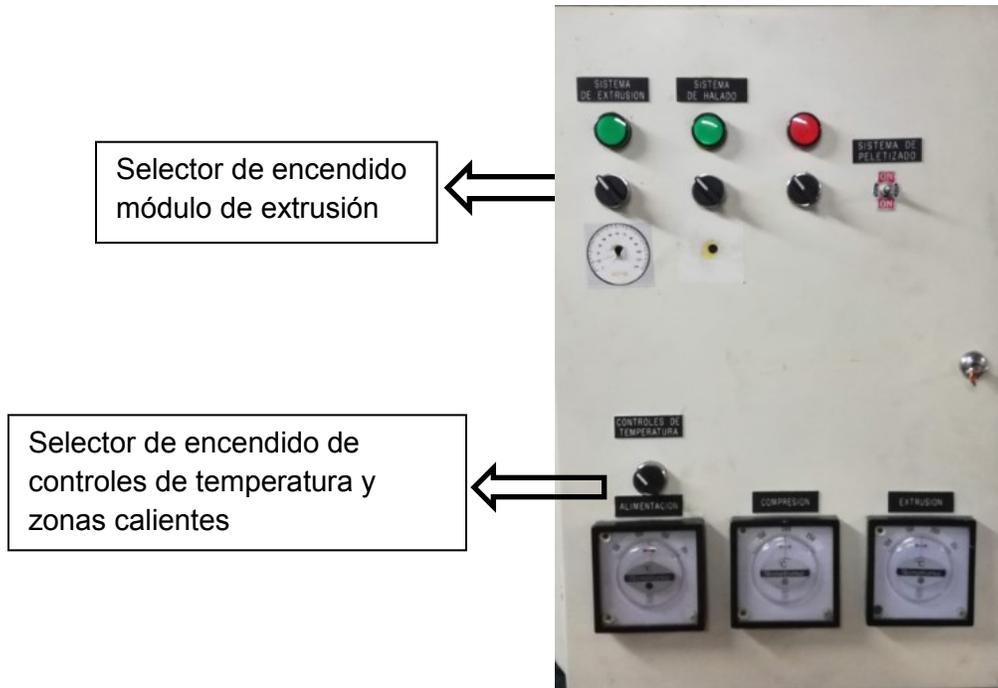
Funcionamiento

A continuación, se dará a conocer el manual de funcionamiento de los módulos de la máquina didáctica, es de resaltar que debido a que no se pudieron realizar las pruebas de funcionamiento no se logró profundizar en gran medida las variables de trabajo de los motores, por lo que en el presente manual solo se mostrara el funcionamiento del módulo de extrusión y halado.

Funcionamiento del módulo de extrusión

Para poner en funcionamiento el módulo de extrusión, conecte la máquina y verifique que el tablero de los módulos este energizado. Si el tablero esta energizado opere el selector

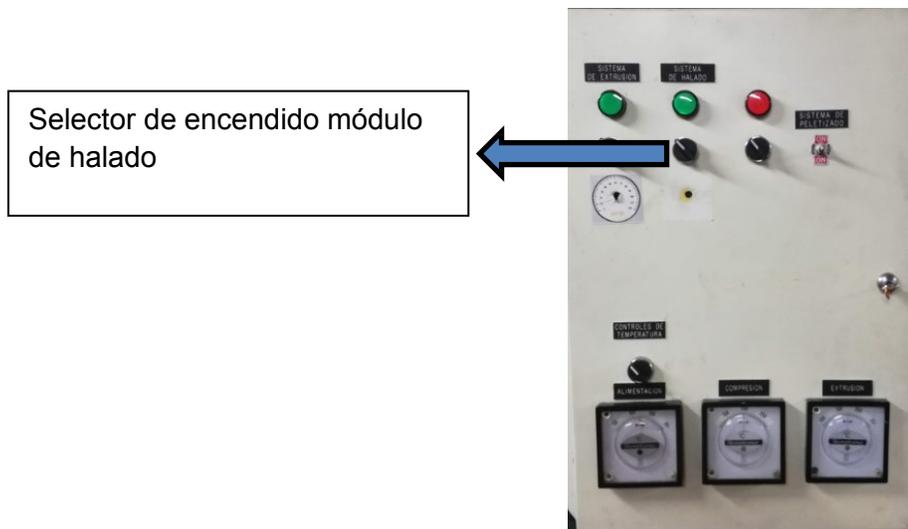
para poner en funcionamiento los controles de temperatura, Hacia la izquierda se encuentra apagado y a la derecha se encuentra encendido el módulo.



Después de haberse encendido las zonas calientes del módulo de extrusión se debe esperar un tiempo hasta que los controles de temperatura alcancen la temperatura del punto de fusión de la materia prima, cuando el control de temperatura se apague después de alcanzar la temperatura adecuada se procede a encender el selector del módulo de extrusión, este a su vez empezará a mover el husillo arrastrando el material hasta el cabezal para así sacar el hilo extruido.

Funcionamiento del módulo de halado

Para poner en funcionamiento el módulo de halado opere el selector en el tablero, para una operación adecuada y que siga la línea de trabajo se recomienda tener que el módulo de extrusión este trabajando y por consiguiente se esté fabricando el hilo extruido.



Una vez operado el selector y que esté encendido el motor de halado se deben calibrar las alturas de los rodillos del sistema de halado, con el fin de que este pueda empezar a halar el hilo extruido, pero se debe tener precaución de no dejar muy cerrados los rodillos puesto que esto puede generar daños en el producto extruido.

MANTENIMIENTO

GENERAL

Una gran parte de las labores de mantenimiento que se le recomienda realizar a la máquina constan de limpieza y lubricación de los elementos móviles. Teniendo en cuenta estos conceptos estas rutinas son:

- Mantener el tornillo sinfín libre de materia prima, para realizar este procedimiento se aconseja que posterior a terminar la práctica se mantengan las zonas calientes encendidas para extraer la mayor cantidad de material que quede al interior de la cámara.
- Comprobar visualmente que la conexión de elementos como las resistencias estén debidamente realizadas.
- Adelantar rutinas de lubricación en los elementos móviles a fin de evitar la fricción entre los mismos y así evitar que tengan un desgaste mayor al normal que da su vida útil.

ESPECIFICO PARA LOS MOTORES

Los motores están diseñados para proporcionar un funcionamiento durante un periodo prolongado de tiempo. Para este caso en particular que la máquina no cuenta con un trabajo constante y que no se tiene un número promedio de horas de trabajo se recomienda realizar el siguiente procedimiento a los motores de extrusión y halado cada vez que se realicen prácticas en esta. Cabe aclarar que el procedimiento que se va a describir en este documento es el que recomienda Siemens para la verificación del correcto funcionamiento de los motores.

De acuerdo con la información del fabricante se establecen los siguientes criterios a la hora de hacer una revisión periódica a los motores:

1. Verifique que el motor este limpio y que los conductos de ventilación del estator y el rotor no estén obstruidos
2. Controle que la carga o el factor de servicio no sean excesivos.
3. Verifique que el aumento de la temperatura del devanado no supere el valor nominal
4. Verifique que la resistencia del aislamiento esté por encima del mínimo recomendado.
5. Verifique la variación de tensión y frecuencia
6. Controle el entrehierro
7. Verifique que las temperaturas de los cojinetes se encuentren dentro de los límites aceptados y que el lubricante esté limpio y en el nivel correcto
8. Verifique que no haya vibración o ruidos inusuales
9. Controle la alineación
10. Controle que haya una lubricación correcta.

Se recomienda cumplir con la mayor cantidad de los criterios descritos en este procedimiento con el fin de evitar anomalías en el funcionamiento de los motores o tener que realizar mantenimientos correctivos. Para las rutinas de lubricación de los rodamientos presentes al interior de las chumaceras se aconseja utilizar el lubricante sugerido por el fabricante o un lubricante con las mismas características debido a que los cojinetes en operación normal no presentan temperaturas tan altas y el ambiente en el que se recomienda instalar la máquina no debe ser tan húmedo. En el anexo F se

encontrará la ficha técnica del lubricante recomendado por el fabricante.

ESPECIFICO PARA EL TABLERO DE CONTROL

Para el mantenimiento de los elementos que se encuentran en el tablero de control se aconseja que de acuerdo con la operación de la máquina se realice un reajuste de los contactos a fin de evitar puntos calientes por desajuste de la tornillería de estos. Se recomienda que se realice este reajuste aplicando también limpiador de contactos con el fin de evitar corrosión en la tornillería por el uso de otros líquidos de limpieza.

Por último, se recomienda que se lleve un control en cuanto a los consumos eléctricos de los motores eléctricos y la bomba de agua. A fin de detectar cualquier tipo de anomalía en el funcionamiento de la máquina.

D. Anexo: Manual de funcionamiento variador de frecuencia inicial

E. Anexo: Manual de funcionamiento variador de frecuencia actual

F. Anexo: Información técnica lubricante motorreductor