



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TEMA:

“MÁQUINA TENSORA Y TINA DE ENFRIAMIENTO
PARA LA FABRICACIÓN DE MANGUERAS CON
PLÁSTICO RECICLADO”

AUTOR: Jefferson Andrés Guerra Rosero

DIRECTOR: Ing. Gustavo León

Ibarra-Ecuador

2017



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0401186093		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Guerra Rosero Jefferson Andrés		
DIRECCIÓN:	Carchi, Tulcán		
EMAIL:	jaguerrarl@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062984118	TELÉFONO MÓVIL:	0989601705

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	MÁQUINA TENSORA Y TINA DE ENFRIAMIENTO PARA LA FABRICACIÓN DE MANGUERAS CON PLÁSTICO RECICLADO
AUTOR:	Guerra Rosero Jefferson Andrés
FECHA:	Julio del 2017
PROGRAMA:	Pregrado
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Gustavo León

AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Jefferson Andrés Guerra Rosero con cédula de identidad Nro. 040118609-3, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

CONSTANCIA

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 26 días del mes de Julio de 2017

EL AUTOR:



Jefferson Andrés Guerra Rosero

Cédula: 040118609-3



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, **Jefferson Andrés Guerra Rosero**, con cédula de identidad Nro. **040118609-3**, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor (es) de la obra o trabajo de grado denominado: “**MÁQUINA TENSORA Y TINA DE ENFRIAMIENTO PARA LA FABRICACIÓN DE MANGUERAS CON PLÁSTICO RECICLADO**”, que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 26 días del mes de Julio de 2017

Nombre: Jefferson Andrés Guerra Rosero
Cédula: 040118609-3



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

ACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

DECLARACIÓN

Yo, JEFFERSON ANDRÉS GUERRA ROSERO, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; y que este no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional.

Mediante la presente declaración concedo el derecho de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Técnica del Norte, según lo establecido por las leyes de Propiedad Intelectual, Reglamentos y Normatividad vigente de la Universidad Técnica del Norte.

Nombre: Jefferson Andrés Guerra Rosero
Cédula: 040118609-3



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
ACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica con el tema “Máquina tensora y tina de enfriamiento para la fabricación de mangueras con plástico reciclado”, fue desarrollado por el Sr. Jefferson Andrés Guerra Rosero, bajo mi dirección.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'G. León', is positioned above a horizontal line.

Ing. Gustavo León

DIRECTOR DEL PROYECTO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

ACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

DEDICATORIA

A mi madre Blanca, que con su ejemplo y trabajo, me supo inculcar la satisfacción del deber cumplido. A mi padre Nelson que aunque ya no está conmigo siempre he sentido su presencia a mi lado alentándome en cada paso que doy. A mis hermanos Alex y Jazmín, por estar siempre conmigo apoyándome en todo momento y por ser parte importante de mi vida. A mis amigos por los momentos alegres y tristes que hemos compartido y por la gran amistad que nos une. A mi familia en general, con mucho aprecio y cariño.

Jefferson Guerra



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
ACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

AGRADECIMIENTO

Al finalizar un trabajo tan arduo como es el desarrollo de la presente Tesis, quiero agradecer a todas esas personas e instituciones, que directa o indirectamente, me colaboraron y facilitaron las cosas para que este trabajo llegue a un feliz término.

Agradezco en primer lugar a Dios por bendecirme siempre a lo largo de todos estos años. A la Universidad Técnica del Norte, al personal docente de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, por sus valiosas sugerencias y la colaboración mostrada en este proyecto. En especial a mi tutor Ing. Gustavo León por la orientación, supervisión y apoyo que hicieron posible la realización de esta tesis.

Un agradecimiento especial a mis amigos Alan Proaño y Humberto Proaño por las largas horas de trabajo y sacrificio que hicieron posible la culminación de este proyecto.

A mi familia por brindarme ese apoyo incondicional, sin ellos nada de esto hubiese sido posible.

Gracias a todos.

Jefferson Guerra

RESUMEN

El proyecto consiste en el diseño y construcción de una máquina tensora y una tina de enfriamiento, para la fabricación de mangueras con plástico reciclado.

El proceso de fabricación de mangueras consiste de varias etapas, como son la preparación de materia prima, la extrusión, el sistema de enfriamiento, el sistema de tensado y la etapa de embobinado, donde el producto queda finalizado para su comercialización. En estas etapas interviene maquinaria especializada a realizar cada tarea.

La tina de enfriamiento logra que el producto proveniente de la extrusora, a alta temperatura, se enfríe logrando que la manguera adquiera dureza. La máquina tensora permite halar la manguera a una velocidad constante, esto es importante para asegurar que el grosor de la manguera no varíe. Para lograr controlar la velocidad de la máquina tensora se dispone de un variador de velocidad. Con el proyecto fue posible la fabricación de mangueras reutilizando el plástico reciclado, aportando a la reducción de la contaminación ambiental.

ABSTRACT

This project consist of design and construction of a tensioning machine and a cooling tub, for the manufacture of hoses using recycled plastic.

El proceso de fabricación de mangueras consiste de varias etapas, como son la preparación de materia prima, la extrusión, el sistema de enfriamiento, el sistema de tensado y la etapa de embobinado, donde el producto queda finalizado para su comercialización. En cada una de estas etapas interviene maquinaria especializada a realizar cada tarea.

The cooling tub allows the product exiting the extruder, at high temperature, to be cooled and the hose becomes solid. The tensioning machine allows the hose to be pulled at a constant speed, this is important to ensure that the thickness of the hose does not vary. In order to control the speed of the tensioning machine, is used a speed variator. With the present project it was possible to manufacture hoses reusing recycled plastic, contributing to the reduction of environmental contamination.

INDICE DE CONTENIDO

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	ii
AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD	iii
CONSTANCIA	iii
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	iv
DECLARACIÓN	v
CERTIFICACIÓN	vi
DEDICATORIA	vii
AGRADECIMIENTO	viii
INDICE DE CONTENIDO	xi
INDICE DE FIGURAS	xiv
INDICE DE TABLAS	xv
INDICE DE ECUACIONES	xvi
CAPITULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	1
1.2. OBJETIVO GENERAL	2
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.4. JUSTIFICACIÓN	2
1.5. ALCANCE	3
1.6. LIMITACIONES	4
CAPÍTULO 2	5
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	5
2.2. PROCESO DE PRODUCCIÓN	6
2.3. MATERIA PRIMA	7
2.3.1. PROPIEDADES DE LOS PLÁSTICOS	7
2.3.2. EL POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD	8
2.3.3. PREPARACIÓN DE LA MATERIA PRIMA	10
2.4. EXTRUSIÓN	10
2.4.1. LA EXTRUSIÓN PLÁSTICA	11
2.5. SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	12
2.5.1. TORRE DE ENFRIAMIENTO	13
2.6. SISTEMA DE TENSADO	16

2.7.	SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD.....	18
2.7.1.	VARIADOR DE FRECUENCIA.....	18
2.7.2.	ELEMENTOS DE PROTECCIÓN.....	20
2.8.	EMBOBINADOR.....	23
2.9.	MEDIO AMBIENTE.....	24
CAPITULO 3.....		25
3.	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	25
3.1.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	25
3.2.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	25
3.3.	DISEÑO DE LA MÁQUINA TENSORA.....	26
3.3.1.	SELECCIÓN DEL TIPO DE DISPOSITIVO DE ARRASTRE.....	26
3.3.2.	MATRIZ DE SELECCIÓN.....	30
3.3.3.	CÁLCULO DE LOS ELEMENTOS DE LA MÁQUINA TENSORA.....	34
3.3.4.	CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE TIRO MÁXIMA.....	36
3.3.5.	CÁLCULO LA POTENCIA DEL MOTOR.....	36
3.3.6.	SISTEMA DE TRANSMISIÓN PARA LOS RODILLOS.....	38
3.3.7.	CÁLCULO DEL PAR SOBRE LA POLEA.....	41
3.3.8.	DISEÑO DEL EJE DEL RODILLO PRINCIPAL.....	41
3.4.	DISEÑO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.....	46
3.4.1.	ELEMENTOS DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.....	46
3.4.2.	TINA DE ENFRIAMIENTO.....	47
3.4.3.	TORRE DE ENFRIAMIENTO.....	54
3.4.4.	SELECCIÓN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO.....	56
3.5.	SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD.....	58
3.5.1.	SELECCIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA.....	58
3.5.2.	SELECCIÓN DEL CABLEADO DE SISTEMA DE CONTROL.....	59
3.5.3.	SELECCIÓN DEL DISYUNTOR.....	60
3.5.4.	SELECCIÓN DEL CONTACTOR.....	60
3.5.5.	CIRCUITOS DE MANDO Y FUERZA.....	60
CAPÍTULO 4.....		63
4.	RESULTADOS.....	63
4.1.	PUESTA A PUNTO DE LA MAQUINARIA.....	63
4.1.1.	EXTRUSORA.....	63
4.1.2.	SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.....	64

4.1.3. SISTEMA DE TENSADO	65
4.2. PRUEBAS	67
4.2.1. SEGURIDAD	67
4.2.2. PRUEBAS Y EXPERIMENTACIÓN.....	68
4.3. RESULTADOS	71
CAPÍTULO 5	75
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
5.1. CONCLUSIONES	75
5.2. RECOMENDACIONES	76
BIBLIOGRAFÍA	77
ANEXOS	79
ANEXO I. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	79
ANEXO 2. SISTEMA ELÉCTRICO	84
ANEXO 2.1 CARACTERÍSTICAS DEL VARIADOR DE FRECUENCIA	84
ANEXO 2.2 CABLEADO DEL VARIADOR DE FRECUENCIA	85
ANEXO 2.3. PARÁMETROS DEL VARIADOR DE FRECUENCIA.....	86
ANEXO 2.4 CAPACIDAD DE CORRIENTE DE CABLES	92
ANEXO 2.5 CATEGORIAS DE CONTACTORES	93
ANEXO 2.6 TIPOS DE DISYUNTORES	94
ANEXO 2.7 TIPOS DE CONTACTORES.....	94
ANEXO 3. CARACTERISTICA DE LA ELECTROBOMBA.....	95
ANEXO 4. TABLAS PARA DISEÑO MECÁNICO.....	96
ANEXO 4.1 CARACTERISTICAS DEL ACERO 1018	96
ANEXO 4.2 CADENA SIMPLE DE RODILLOS	97
ANEXO 5. CÁLCULOS DE LA MÁQUINA EXTRUSORA.....	98
ANEXO 6 COSTOS DEL PROYECTO	104
ANEXO 7. PLANOS DE LA MAQUINARIA.....	110

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Descripción del proceso de fabricación de mangueras [6]	6
Figura 2.2 Símbolo que indica que el LDPE es reciclable [2]	9
Figura 2.3 Representación de una extrusora de husillo sencillo [8].....	11
Figura 2.4 Proceso de extrusión [7].....	11
Figura 2.5 Línea de extrusión para la fabricación de tuberías [7]	12
Figura 2.6 Tina de enfriamiento y sus elementos	13
Figura 2.7 Tipos de torres de enfriamiento	15
Figura 2.8 Máquina tensora con sistema de rodillos	17
Figura 2.9 Variador de frecuencia Delta VFD-L [10].....	18
Figura 2.10 Contactor LS [11].....	21
Figura 2.11 Relé de sobrecarga [11].....	22
Figura 2.12 Producto terminado [3]	24
Figura 3.1 Línea de extrusión de perfil tubular [11]	25
Figura 3.2 Rodillo principal	38
Figura 3.3 Transmisión por cadena [15].....	39
Figura 3.4 Diagrama de cuerpo libre del eje	42
Figura 3.5 Fuerzas en la polea.....	43
Figura 3.6 Diagrama de carga, corte y momento	44
Figura 3.7 Diagrama del circuito de enfriamiento.....	47
Figura 3.8 Modelo del perfil extruido	48
Figura 3.9 Calor que gana el agua proveniente del plástico.....	49
Figura 3.10 Tina de enfriamiento para la fabricación de mangueras	53
Figura 3.11 Torre de enfriamiento.....	54
Figura 3.12 Esquema de la torre a diseñar	55
Figura 3.13 Ubicación de los recipientes en la torre de enfriamiento	56
Figura 3.14 Conexión del VDF-L [10].....	59
Figura 3.15 Circuito de mando y fuerza para el motorreductor	61
Figura 3.16 Circuito de mando y fuerza para la electrobomba	61
Figura 4.1 Tablero de control de la extrusora	64
Figura 4.2 Tablero de control	65
Figura 4.3 Puesta a punto de la máquina tensora	67
Figura 4.4 Guiado de la manguera a la tina.....	69
Figura 4.5 Comportamiento del perfil extruido al variar la presión.....	70
Figura 4.6 Guiado de la manguera a través de la tina	70
Figura 4.7 Presión de ajuste de la máquina tensora.....	71
Figura 4.8 Diámetro del perfil en función de la frecuencia.....	72
Figura 4.9 Vista de los perfiles resultantes en cm	73

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Comparativa de diferentes tipos de máquinas tensoras (tiradores) [7].....	27
Tabla 3.2 Ponderaciones para los puntos a evaluar en cada alternativa	31
Tabla 3.3 Tabla comparativa de los prototipos escogidos	32
Tabla 3.4 Matriz de selección de los prototipos evaluados	34
Tabla 3.5 Datos para calcular el coeficiente de convección	50
Tabla 3.6 Propiedades del HDPE	52
Tabla 3.7 Hoja de datos del motor a usarse	58
Tabla 4.1 Características del polietileno para pruebas	68
Tabla 4.2 Perfil de temperaturas para pruebas	68
Tabla 4.3 Pruebas de tiro con la máquina tensora	72

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2.1 Relación velocidad-frecuencia.....	18
Ecuación 3.1 Cálculo del caudal de la extrusora	35
Ecuación 3.2 Caudal máximo de la extrusora	36
Ecuación 3.3 Caída de presión en la extrusora	37
Ecuación 3.4 Fuerza del perfil a extruir	37
Ecuación 3.5 Cálculo de la potencia del motor	38
Ecuación 3.6 Relación de transmisión.....	39
Ecuación 3.7 Cálculo de la velocidad de salida del motorreductor.....	41
Ecuación 3.8 Cálculo del par del motorreductor	41
Ecuación 3.9 Cálculo del torque para una polea.....	42
Ecuación 3.10 Cálculo de la fuerza de la cadena.....	43
Ecuación 3.11 Cálculo del momento total.....	44
Ecuación 3.12 Cálculo del esfuerzo flector	45
Ecuación 3.13 Cálculo del esfuerzo torsor	45
Ecuación 3.14 Cálculo del esfuerzo máximo	45
Ecuación 3.15 Criterio de Goodman	46
Ecuación 3.16 Valores del calor con respecto a su dirección.....	48
Ecuación 3.17 Transferencia de calor por convección	49
Ecuación 3.18 Correlación de Pohlhausen	50
Ecuación 3.19 Cálculo del número de Reynolds	51
Ecuación 3.20 Cálculo de la velocidad del refrigerante	51
Ecuación 3.21 Número de Prandtl	51
Ecuación 3.22 Calor absorbido.....	52
Ecuación 3.23 Calor cedido.....	52
Ecuación 3.24 Longitud de la tina	53
Ecuación 3.25 Calculo de la altura de la torre de enfriamiento.....	55
Ecuación 3.26 Volumen de la tina de enfriamiento.....	57

CAPITULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

La importancia de los materiales ha sido crucial a lo largo de la historia. Desde sus comienzos en la edad de piedra, pasando por la edad de los metales, el descubrimiento y perfeccionamiento de nuevos materiales han permitido el desarrollo del ser humano. La tecnología actual exige materiales con una gran variedad de propiedades, pero que al mismo tiempo cuenten con un bajo costo de obtención.

La gran mayoría de materiales que se usan actualmente son polímeros, el consumo de éstos continúa con un crecimiento notable en todos los sectores industriales. Este éxito comercial tiene un efecto ambiental negativo ya que genera un volumen de residuos importante que necesita ser gestionado de forma eficaz. A pesar de los esfuerzos que se están realizando por parte de los municipios, la mayor parte de los residuos plásticos continúan en la actualidad depositándose en vertederos, desaprovechando su potencial económico y su reutilización en la elaboración de productos alternativos.

El espectacular aumento en el consumo de los plásticos en la sociedad moderna, que se estima que crece un 4% anualmente, se ha producido en paralelo con el desarrollo tecnológico de estos materiales, cuyo uso se ha extendido además de en el campo ya convencional de los envases, en la fabricación de componentes en las industrias de automoción, vivienda, vestido y todo tipo de bienes de consumo. Así el consumo mundial de materiales plásticos ha pasado de los 10 M de Tm en 1978 hasta los 60 M de Tm en el año 2000 de los cuales el 50% corresponde a USA y el resto se reparte por igual entre Europa y Japón [1].

La recolección de estos desechos está siendo efectuada por el departamento de desechos sólidos del Ilustre Municipio de Ibarra. Donde la creciente acumulación de este material recolectado no genera un aporte económico significativo a esta institución ya que no poseen el equipo necesario para utilizar estos desechos como materia prima.

El depósito de los plásticos en los vertederos está siendo eliminado pues en lugar de ser una solución es un grave problema por su reducida degradabilidad, tanto desde el punto

de vista de deterioro del paisaje, como porque su descomposición en vertederos origina una fuerte producción de metano, más nocivo que el dióxido de carbono.

1.2. OBJETIVO GENERAL

Reducir la contaminación ambiental mediante la construcción de una máquina tensora y tina de enfriamiento para la fabricación de mangueras usando plástico reciclado.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Investigar el proceso de fabricación de mangueras mediante el uso de plástico reciclado.
2. Diseñar y construir una tina de enfriamiento para la fabricación de mangueras.
3. Diseñar y construir una máquina tensora.
4. Implementar un sistema de control de velocidad para la máquina tensora.
5. Realizar un manual de operación y mantenimiento.

1.4. JUSTIFICACIÓN

Los plásticos, por su composición y su origen derivado del petróleo y por tanto de una materia prima agotable, son un residuo de alto valor, relativamente fácil de recuperar y abundante (tanto o más que el vidrio en los residuos domésticos y creciente entre los residuos industriales). En conjunto, el porcentaje de recuperación del plástico utilizado en diferentes sectores industriales es muy bajo.

La reutilización directa de los materiales plásticos está limitada actualmente al 1-2 %, debido a los cada vez más elevados requerimientos de calidad de los productos [2]. Así, el plástico reciclado obtenido de los envases alimentarios y embalajes, con el que se obtiene una grana de buena calidad, no se vuelve a emplear en la fabricación de nuevos envases para alimentos por razones sanitarias, y se usa para otro tipo de aplicaciones. Además, gran parte del plástico presente en la basura doméstica es del tipo film, muy difícil de recuperar. El deterioro de la calidad y también del aspecto físico del producto ha ido acompañado en las dos últimas décadas de una reducción del coste de las materias primas, siempre derivadas del petróleo.

Sin embargo las dificultades de reutilización directa de estos residuos acrecientan el interés por su recuperación, debido a su creciente uso, elevado precio y los problemas de eliminación que presentan. Estos aspectos son más pronunciados precisamente en los plásticos no reutilizables (como los envases y envoltorios alimentarios).

El valor de los materiales plásticos de desecho se contempla también estratégicamente, más allá de la situación actual del mercado de crudos petrolíferos. Para la fabricación de productos plásticos de base se parte del crudo de petróleo, que en último término produce plásticos (un 4 %) y carburantes (el 96 % restante). Contemplando ambos mercados en competencia, el aumento de la producción de plásticos implica producir menos combustibles o aumentar la importación y destilado del petróleo bruto. Por ejemplo, en el caso del polietileno, el plástico de uso doméstico más común, hace falta destilar 18,7 Tm de petróleo bruto para obtener 3,74 Tm de nafta, de las que finalmente se producirá una tonelada del polímero [1].

Desde esta perspectiva, la importancia de reciclar el plástico cobra así una importancia considerable que justifica su reciclado. En definitiva, es necesario reutilizar el plástico reciclado, no mantenerlo almacenado en grandes bodegas de reciclaje, sino aprovechar la tecnología para investigar y poner en marcha la elaboración nuevos productos.

1.5. ALCANCE

Para la producción de manguera con plástico reciclado es necesario varios elementos como son: extrusora, tina de enfriamiento, máquina tensora, cortadora y embobinadora. El presente proyecto consta del diseño y construcción tanto de una tina de enfriamiento como de una máquina tensora para fabricar mangueras usando plástico reciclado.

El sistema de refrigeración del proceso está formado por la tina de enfriamiento, la torre de enfriamiento y un depósito de agua, el sistema consta de una bomba hidráulica la cual realiza la tarea de mantener un ciclo constante de refrigeración mediante agua.

La etapa de tensado consta de una máquina tensora la cual está compuesta por un motorreductor y para el control de velocidad se dispone de un variador de frecuencia.

1.6. LIMITACIONES

Es importante disponer de una instalación grande ya que las máquinas y equipos ocupan mucho espacio, en especial la tina de enfriamiento, es por ello que es recomendable un área de trabajo de unos 60m².

Disponer de un transformador trifásico, una buena iluminación y ventilación para el área de producción.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

En primer lugar en el año 2010, los autores por E. Gómez y W. Hoyos, en el libro “Creación de una empresa dedicada a la manufactura de manguera de riego a partir de plástico recuperado” [3], muestran un estudio para llevar a cabo la realización de un plan de negocios de una empresa de manufactura de manguera de riego, a partir de los residuos sólidos plásticos que generan las empresas del sector industrial de Bucaramanga y su área metropolitana. La investigación concluye que es factible la creación de la empresa desde el punto de vista técnico y financiero, aportando la generación de empleo y mejorando la situación ambiental ya que logra aprovechar el plástico que años atrás era almacenado en rellenos sanitarios, transformándolo a un producto de calidad y accesible al mercado.

El el documento propiedad de Navarrete A. y Villarreal C, denominado “Sistema de moldeo a inyección estilo lineal para una extrusora de plástico reciclado” [4], se muestra un sistema de moldeo a inyección estilo lineal para una extrusora de plástico reciclable con enfriamiento por medio de agua. Para ello se ha incorporado un sistema automático para controlar el nivel de agua en el sistema de enfriamiento, evaluando y controlando la temperatura del producto, tomando en cuenta que el espesor del producto se varía por un sistema adicional de halador controlando la velocidad. Para no desperdiciar ningún recurso se desarrolló un sistema de lazo cerrado utilizando una torre de enfriamiento para que recircule el agua dependiendo el nivel que se encuentre en la tina. De esta manera se consigue efectivizar el proceso y la producción deseada en óptimas condiciones.

El trabajo realizado por Guangasi W. y Tixilema G. sobre “Diseño y construcción de un puller automático doble para la extracción de tubería de PVC [5], se diseñó y construyó un jalador automático doble del tipo dos rodillos, que sirve para extraer tubería de PVC. La máquina está compuesta por una base de perfil estructural, sobre ella se encuentran dos vigas y dos planchas de acero para ensamblar los brazos fijos, móviles y los rodillos, cada jalador posee un motorreductor trifásico, un sistemas de transmisión por cadenas y un tren de engranajes para transmitir la potencia y el movimiento circular del motor a los rodillos. Para la operación se implementa un sistema, controlando y supervisando estas acciones de manera centralizada. Con la implementación de esta máquina se logró

disminuir los tiempos de manufacturación de manguera en un 38,89%, 40,74% y 55,56% en la producción de tubería de 1 pulgada, $\frac{3}{4}$ de pulgada y $\frac{1}{2}$ pulgada respectivamente. Además se incorporó a la producción perfiles para ventanas y viras monocolor. Los tiempos muertos de producción se reducen notablemente, teniendo como consecuencia un incremento en la capacidad productiva de la empresa. Se recomienda la implementación del dispositivo tecnológico en la Empresa Flexi & Rigid CIA. LTDA., y en otras empresas similares, también se recomienda dar mantenimientos periódico a la máquina, tanto en su parte mecánica como eléctrica, para su mejor funcionamiento y duración.

2.2. PROCESO DE PRODUCCIÓN

La fabricación de manguera a partir de plástico reciclado es un proceso que consta de varias etapas, para ello se emplea el método de extrusión del material. En la figura 2.1 se observa las diferentes etapas de este proceso.

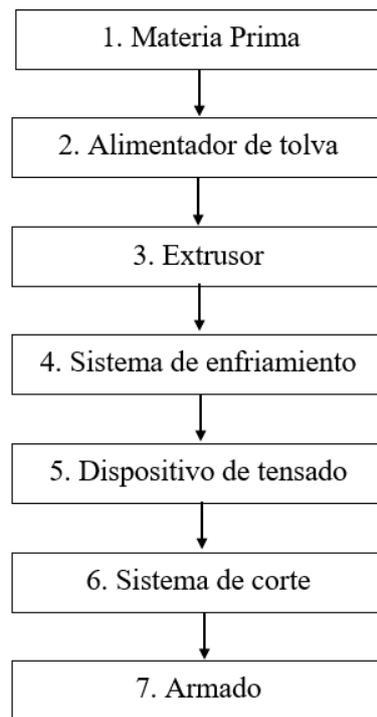


Figura 2.1 Descripción del proceso de fabricación de mangueras [6]

A continuación se describe a breve rasgo cada etapa del proceso:

1. El proceso empieza con la preparación de la materia prima, en esta etapa se mezcla la materia en cantidades definidas de acuerdo al tipo de manguera a fabricar.

2. La materia prima preparada se coloca en la tolva de alimentación de la extrusora.
3. Mediante un dispositivo llamado extrusora, la materia prima se funde y se traslada mediante un tornillo sin fin hacia una boquilla, la cual le da la forma de la manguera.
4. El sistema de enfriamiento permite que la manguera se enfríe adquiriendo la dureza necesaria para ser halada en la siguiente etapa.
5. El dispositivo de tensado hala la manguera a una velocidad constante, de acuerdo a esta velocidad se determina el grosor de la manguera a producir.
6. En la etapa de corte la manguera se mide y corta de acuerdo a como se va a comercializar el producto.
7. En la etapa final, la etapa de armado, el producto se enrolla y prepara para su comercialización.

2.3. MATERIA PRIMA

La palabra plástico procede del término griego *plastikos*, que significa “capaz de ser moldeado”. El término expresa la principal propiedad de este material: su capacidad para deformarse y, por tanto, su facilidad para adoptar prácticamente cualquier forma [2].

2.3.1. PROPIEDADES DE LOS PLÁSTICOS

Los plásticos se obtienen a partir del petróleo, carbón de hulla, del gas natural y de otros elementos orgánicos en los que aparece el carbono. El porqué del uso intensivo de este material, se basa en sus propiedades [3]:

- Plasticidad: Los plásticos se trabajan con mucha facilidad ya que son muy deformables, lo que facilita su industrialización, y por tanto abaratan el costo final del producto.
- Conductividad eléctrica: No son conductores de electricidad, por ello se los emplea como aislantes.
- Conductividad térmica: El plástico conduce muy mal el calor, es decir son muy buenos aislantes.

- Resistencia química y atmosférica: Resisten al ataque de ácidos, sin que estos alteren sus propiedades. También son muy resistentes a las condiciones atmosféricas, sol, viento, lluvia, etc.
- Resistencias mecánicas: A nivel estructural, los plásticos no resisten las torsiones y flexiones, aunque se usa en mecanismos que no requieran de grandes esfuerzos mecánicos. Hay plásticos que resisten bien las compresiones.
- Densidad: Son poco densos (pesan poco).
- Elasticidad: Son muy elásticos.
- Resistencia al desgaste por rozamiento: Aunque algunos plásticos si son resistentes al roce, en general en la mayoría, este provoca un desgaste rápido.
- Dureza: Aunque algunos son duros, en general, los plásticos se rayan con facilidad.
- Temperatura de fusión: Es muy baja, por lo que su resistencia al calor es baja.
- Variedad, forma, textura, color, apariencia: Existen miles de variaciones y cada año se producen nuevos plásticos. Al ser fáciles de trabajar, se consigue múltiples formas, algunas muy complicadas, además de darles la textura y color final deseados, lo que los hace extraordinariamente polivalentes.

2.3.2. EL POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD

Para la fabricación de mangueras se usa el polietileno de baja densidad es un polímero de la familia de los polímeros olefínicos, como el polipropileno y los polietilenos. Es un polímero termoplástico conformado por unidades repetitivas de etileno. Se designa como LDPE (por sus siglas en inglés, Low Density Polyethylene) o PEBD, polietileno de baja densidad.

Es un sólido más o menos flexible, según el grosor, ligero y buen aislante eléctrico. Se trata de un material plástico que por sus características y bajo coste se utiliza mucho en envasado, revestimiento de cables y en la fabricación de tuberías. Los objetos fabricados con LDPE se identifican, en el sistema de identificación americano SPI (Society of the Plastics Industry), con el símbolo de la figura 2.2 ubicado en la parte inferior o posterior:



Figura 2.2 Símbolo que indica que el LDPE es reciclable [2]

Características:

El polietileno de baja densidad es un polímero que se caracteriza por:

- Buena resistencia térmica y química.
- Buena resistencia al impacto.
- Es de color lechoso, llega a ser transparente dependiendo de su espesor.
- Muy buena procesabilidad, es decir, fácil de ser manejado durante su fabricación en forma de película, producto moldeado, tubo, etc.
- Es más flexible que el polietileno de alta densidad.
- Presenta dificultades para imprimir, pintar o pegar sobre él.

Aplicaciones:

- Bolsas de todo tipo: supermercados, boutiques, panificación, congelados, industriales, etc.
- Películas para agro
- Recubrimiento de acequias
- Envasado automático de alimentos y productos industriales: leche, agua, plásticos, etc.
- Stretch film
- Base para pañales desechables
- Bolsas para suero

- Contenedores herméticos domésticos
- Bazar
- Tubos y pomos: cosméticos, medicamentos y alimentos
- Tuberías para riego

2.3.3. PREPARACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

La materia prima para el proceso de extrusión antes de ingresar a la tolva de la extrusora, previamente preparada, es decir mezclar la resina PVC y los diversos aditivos mediante un sistema de máquinas denominado formuladora. Así se permite darle las propiedades deseadas al producto final.

A la formuladora ingresan pequeños lotes de alimentación denominadas cargas. La carga es la unidad de alimentación de la máquina, en la cual se encuentran los componentes de la materia prima en porcentajes definidos en la fórmula científica.

La preparación de las cargas, consiste en determinar la cantidad de cada aditivo de acuerdo a la fórmula que con un peso determinado de resina (15.97 kg de aditivo por cada 100 kg de resina PVC) constituirá una carga [3].

Esto se realiza mediante el pesado de dichos componente en una balanza de precisión.

2.4. EXTRUSIÓN

La extrusión es un proceso utilizado para crear objetos con sección transversal definida y fija [7]. El material se empuja o se extrae a través de un troquel de una sección transversal deseada. Las dos ventajas principales de este proceso por encima de procesos manufacturados son la habilidad para crear secciones transversales muy complejas y el trabajo con materiales que son quebradizos, porque el material solamente encuentra fuerzas de compresión y de cizallamiento. También las piezas finales se forman con una terminación superficial de calidad. En la figura 2.3 se observa una extrusora para la fabricación de perfiles tubulares.

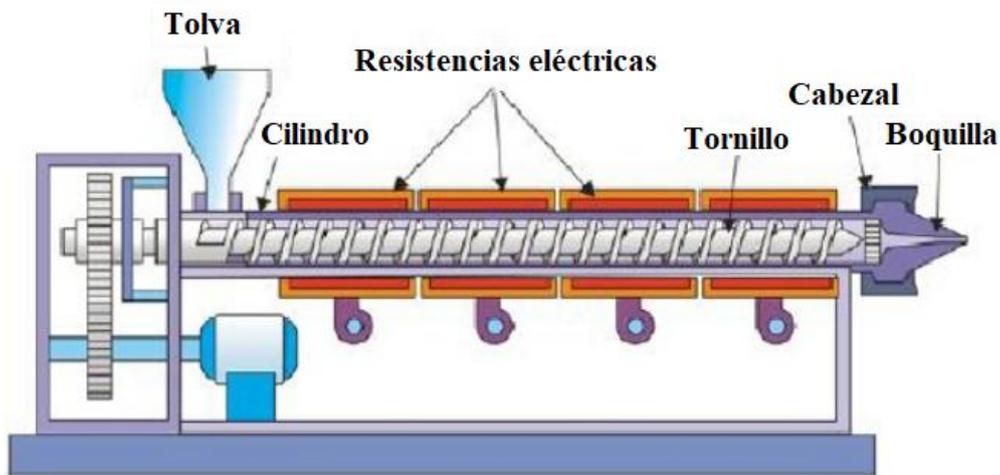


Figura 2.3 Representación de una extrusora de husillo sencillo [8]

2.4.1. LA EXTRUSIÓN PLÁSTICA

El termoplástico que se encuentra en la tolva de alimentación, pasa por gravedad a la extrusora, que está constituida por un tornillo helicoidal que se aloja en el interior de una camisa térmica (cilindro) y por cuyo movimiento rotacional traslada y funde al material a lo largo de la máquina, forzando a que el fundido pase a presión por la boquilla de conformado, lugar donde el producto toma la forma y el tamaño requerido. En la figura 2.4 se observa el proceso de extrusión.

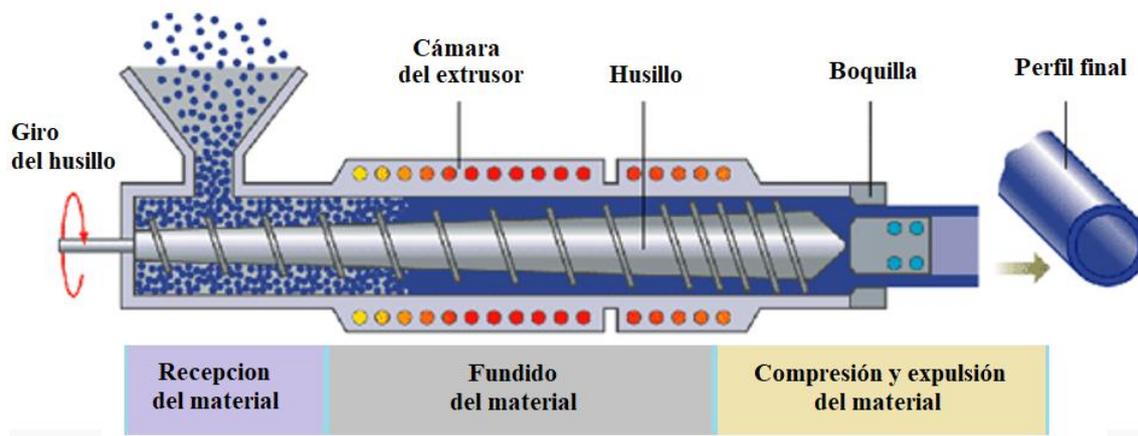


Figura 2.4 Proceso de extrusión [7]

Dentro de una línea de extrusión para la fabricación de tuberías, a parte de la extrusora se necesita una serie de equipos auxiliares tales como: tinas de refrigeración, unidad de extracción, unidad de recogida y corte; los cuales son de gran importancia para obtener

el producto final deseado. En la figura 2.5 se observan los equipos principales que intervienen en una línea de extrusión.

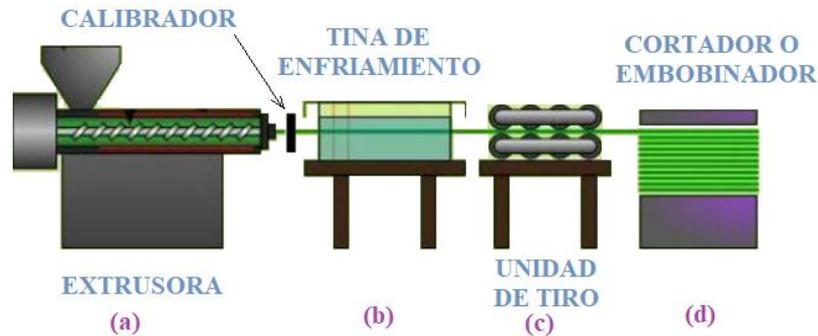


Figura 2.5 Línea de extrusión para la fabricación de tuberías [7]

En la figura 2.5 (a) se muestra una máquina extrusora con tornillo, en la salida de la extrusora se tiene un calibrador o dado, el cual da la forma al material extruido. En la figura 2.5 (b) se observa la tina de enfriamiento, la cual solidifica el perfil extruido para que sea halada mediante la unidad de tiro de la figura 2.5 (c), este dispositivo determina el diámetro exterior de la manguera, por lo cual el halado se realiza a velocidad constante. Finalmente en la figura 2.5 (d) se muestre el cortador o embobinador, el cual prepara el producto para su comercialización.

2.5. SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

Al igual que muchos otros procesos, la extrusión de plástico requiere una cantidad sustancial de la capacidad de refrigeración. Durante el proceso, el plástico se calienta, se derrite y se extrae de la matriz. A continuación, se enfría para que se solidifique en su nueva forma. En el perfil de extrusión procedimiento utilizado para revestimiento de plástico y otras formas; la eliminación de calor tiene lugar en tamaño de los productos y los tanques de enfriamiento de aguas abajo de la matriz. Independientemente del método de enfriamiento y la ubicación, un hecho fundamental sigue siendo: Cuanto más rápido el calor es disipado, más rápido la línea de extrusión se ejecuta. Por esta razón, la transferencia de calor rápida es crucial para la eficiencia y la rentabilidad. El sistema de refrigeración para la extrusión de plástico más empleado es un sistema central de agua helada [9]. Este tipo de sistema requiere tuberías que es menos complicado y menos costoso, tal como se muestra en la figura 2.6.

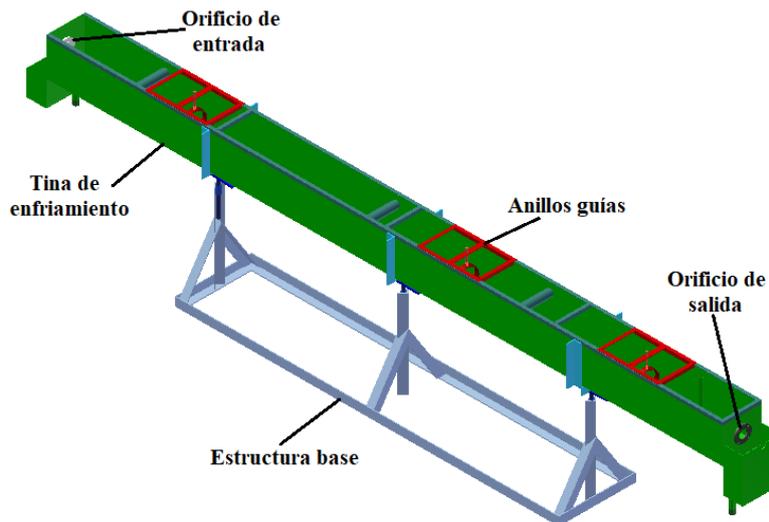


Figura 2.6 Tina de enfriamiento y sus elementos

Este tipo de dispositivo de refrigeración está compuesto por una gran variedad de elementos que están colocados estratégicamente, de tal manera que rodean la superficie de la manguera. Los elementos de refrigeración son colocados a lo largo del dispositivo de enfriamiento por donde pasa la manguera con la finalidad de reducir su temperatura. Los elementos de refrigeración se ajustan para el diámetro de la manguera, así como en dirección oblicua para un mejor enfriamiento.

Esta investigación está enfocada a los dispositivos de enfriamiento colocados después del cabezal de extrusión, para la manguera obtenida por extrusión. Estos dispositivos de enfriamiento tienen el propósito de entubar a la sustancia de enfriamiento (en este caso agua) y la formación de una superficie de enfriamiento que rodea a la manguera para ser enfriada. En la extrusión de materiales termoplásticos se tiene una temperatura muy elevada y una alta flexibilidad, cuando salen de la extrusora se solidifican a través del dispositivo de enfriamiento que se encuentra después del cabezal de la extrusora.

2.5.1. TORRE DE ENFRIAMIENTO

La torre de enfriamiento tiene la función de remover el calor a partir del agua de descarga desde el condensador para que el agua pueda ser descargada al río u otro tipo de sumidero o usada de nuevo en el proceso.

Una torre de enfriamiento es un dispositivo que libera calor a los alrededores por evaporación el cual se enfría porque las moléculas de agua de mayor temperatura se escapan mientras que el agua que se enfría permanece en la torre.

Las torres de enfriamiento son equipos que se usan para enfriar agua en grandes volúmenes porque, son el medio más económico para hacerlo, si se compara con otros equipos de enfriamiento como los cambiadores de calor donde el enfriamiento ocurre a través de una pared.

El agua se introduce por el domo de la torre por medio de vertederos o por boquillas para distribuir el agua en la mayor superficie posible. El enfriamiento ocurre cuando el agua, al caer a través de la torre, se pone en contacto directo con una corriente de aire que fluye a contracorriente o a flujo cruzado, con una temperatura de bulbo húmedo inferior a la temperatura del agua caliente, en estas condiciones, el agua se enfría por transferencia de masa (evaporación) y por transferencia de calor sensible y latente del agua al aire, lo anterior origina que la temperatura del aire y su humedad aumenten y que la temperatura del agua descienda; la temperatura límite de enfriamiento del agua es la temperatura de bulbo húmedo del aire a la entrada de la torre.

Se recomienda el tratamiento del agua a enfriar, agregando álcalis, algicidas, bactericidas y floculantes; y, realizar un análisis periódico tanto de dureza como de iones cloro ya que éstos iones son causantes de las incrustaciones y de la corrosión en los elementos de la torre.

Tipos de torres de enfriamiento

Las torres de enfriamiento se clasifican según el suministro de aire de relleno; según este criterio, se tiene torres de tiro mecánico y torres de circulación natural. En las torres de tiro mecánico se dispone de ventiladores para mover el aire a través del relleno, mientras que en las torres de circulación natural, el movimiento del aire depende de las condiciones ambientales y de la geometría de la torre de enfriamiento.

Dentro de las torres de circulación natural se tiene dos tipos de torres: de tiro atmosférico y de tiro natural.

En la figura 2.7 (a) se observa una torre de tiro atmosféricas, esta utiliza las corrientes de aire de la atmósfera, el aire se mueve de forma horizontal mientras el agua cae verticalmente. Este tipo de torres se caracterizan por ser torres de gran altura y pequeña sección transversal, su instalación se realiza en lugar despejados, para evitar la obstrucción del aire y de esta manera pueda disminuir su eficiencia.

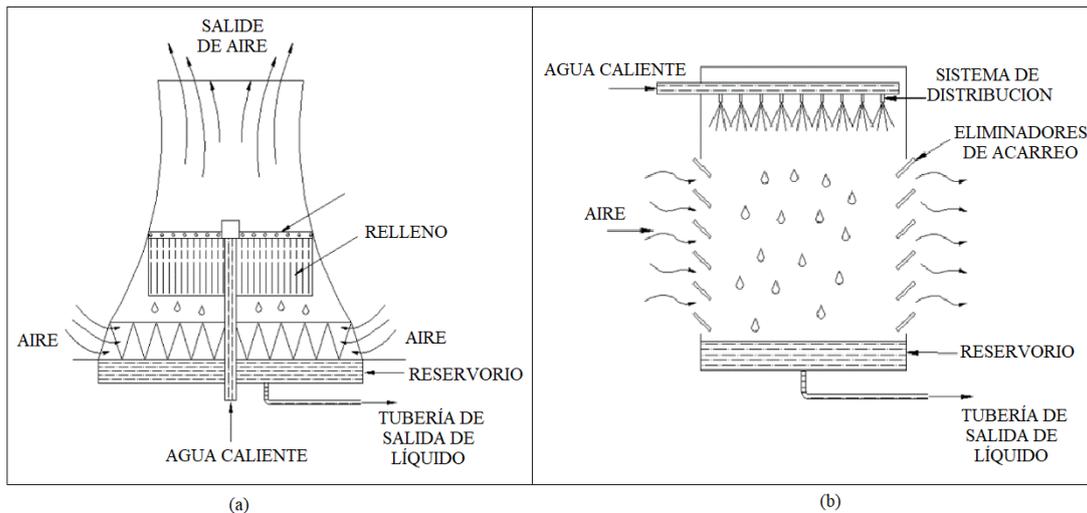


Figura 2.7 Tipos de torres de enfriamiento

En la figura 2.7 (b) se observa una torre de tiro natural, este tipo de torres el aire es inducido por una chimenea situada sobre el relleno. La diferencia de densidad entre el aire húmedo caliente y el aire atmosférico, es la razón principal por la que se crea un tiro de aire a través de la torre. La diferencia de velocidades entre el viento circulante al nivel del suelo y el viento que circula en la parte superior de la chimenea, también ayuda a establecer el flujo de aire.

LA EVAPORACIÓN COMO CAUSA DE ENFRIAMIENTO

El enfriamiento de agua en una torre tiene su fundamento en el fenómeno de evaporación. La evaporación es el paso de un líquido al estado de vapor y solo se realiza en la superficie libre de un líquido, un ejemplo es la evaporación del agua de los mares. Cuando el agua se evapora sin recibir calor del exterior es necesario que tome de sí misma el calor que necesita, esto origina que el agua se enfríe y por lo tanto que su temperatura disminuya.

Ejemplos de enfriamiento natural por evaporación son:

- Se sabe que el agua contenida en un jarro poroso se mantiene muy fresca a causa de la evaporación que se produce en la superficie del jarro, ya que fluye a través de sus poros y en contacto con el aire no saturado se evapora.
- Un líquido caliente se enfría vaciándolo de un recipiente a otro porque aumenta la evaporación al incrementarse el contacto con el aire.

- El frío que se experimenta al salir de un baño es debido a la evaporación rápida del exceso de humedad en la piel al contacto con el aire.

Las propiedades del sistema

- Presión total: La evaporación es más rápida a bajas presiones o en el vacío y más lenta a presiones altas.
- Área de contacto (A). La masa de agua evaporada es proporcional a la superficie en la cual se efectúa la evaporación.
- Coeficiente de transferencia de calor (h) el cual depende entre otras variables, de la velocidad del aire. La evaporación se acelera a mayor velocidad de las corrientes de aire, el viento desplaza las capas de aire sobre la superficie de evaporación y arrastra consigo la humedad.
- Diferencia de temperatura entre el agua y el aire.

2.6. SISTEMA DE TENSADO

Recordando el proceso de extrusión de manguera; este tiene en principio la materia prima, la cual se conforma de una mezcla de polietileno de baja densidad (PEBD), este material es depositado en la tolva en forma de carga, la cual trabaja con un husillo, el husillo gira en el interior de un cilindro que a su vez es calentado por una serie de resistencias eléctricas para facilitar la plastificación de PEBD, la materia prima cae en el interior de la extrusora donde el husillo tiene la función de trasladar, plastificar, presurizar, mezclar y conformar para dar origen a un producto extruido, una vez extruido el material tiene que pasar por un sistema de enfriado que le ayudara a solidificar y a obtener su apariencia final, dando paso a la etapa de tensado la cual es muy importante porque se obtiene un mejor producto, le sigue la etapa de corte y finalmente la etapa de armado donde se empaquetan para su venta. Haciendo énfasis en el sistema de tensado se menciona lo siguiente:

- En el proceso de extrusión de manguera en la etapa de enfriado, se toma en cuenta que la manguera no se detenga ya que la extrusión de material es continuo, si la manguera se llegara a detener provocaría un atascamiento de material y pérdidas de producto, de ahí la importancia del tensado de la manguera.

- En este tipo de proceso el tensado de la manguera junto con el sistema de enfriamiento tiene una función muy específica, lograr que las especificaciones de la manguera sean las óptimas, las cuales son diámetro interno y externo de la manguera, espesor de la manguera y la textura externa de la manguera.
- En la etapa de tensado se regula la velocidad de producción de manguera, se emplea una máquina tensora que combinada con el sistema de enfriamiento, permiten incrementar la producción de acuerdo a la eficiencia de estos elementos.
- Finalmente la etapa de tensado da lugar a la etapa de corte.

El dispositivo usado en la etapa de tensado es conocido como máquina tensora o jalador, de tipo oruga, banda o rodillos, este dispositivo está compuesto por los siguientes elementos:

- Mesa metálica la cual soporta todo el mecanismo de la maquina tensora.
- Motor acoplado a un reductor de velocidades.
- Sistema de transmisión por medio de catarinas y cadenas.
- Sistema de tacones para formar el mecanismo de arrastre.

En la figura 2.8 se observa una máquina tensora donde el mecanismo de arrastre es por medio de rodillos.



Figura 2.8 Máquina tensora con sistema de rodillos

2.7.SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD

Hasta la llegada de los modernos variadores de frecuencia, los motores de inducción no eran máquinas adecuadas para aplicaciones que requerían considerable control de velocidad. El rango de operación de un motor de inducción típico está confinado a menos de 5% de deslizamiento y la variación de velocidad en ese rango es más o menos directamente proporcional a la carga sobre el eje del motor. Aún si el deslizamiento fuera mayor, la eficiencia del motor sería muy pobre puesto que las pérdidas en el cobre del rotor son directamente proporcional al deslizamiento del motor.

2.7.1. VARIADOR DE FRECUENCIA

Un variador de frecuencia (siglas VFD, del inglés: *Variable Frequency Driver*) es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor. En la figura 2.9 se muestra un variador de frecuencia de la marca Delta.



Figura 2.9 Variador de frecuencia Delta VFD-L [10]

Un variador de frecuencia es un caso especial de un variador de velocidad. Los variadores de frecuencia son también conocidos como drivers de frecuencia ajustable (AFD), drivers de CA, micro drivers o inversores. Dado que el voltaje es variado a la vez que la frecuencia, a veces son llamados drivers VVVF (variador de voltaje variador de frecuencia).

Los dispositivos variadores de frecuencia operan bajo el principio de que la velocidad síncrona de un motor de corriente alterna (CA) está determinada por la frecuencia de CA suministrada y el número de polos en el estator, de acuerdo con la relación de la ecuación 2.1:

Ecuación 2.1 Relación velocidad-frecuencia

$$rpm = \frac{12 \cdot f}{p}$$

donde:

RPM = Revoluciones por minuto

f = frecuencia de suministro CA (Hercio)

p = Número de polos (adimensional)

Las cantidades de polos más frecuentemente utilizadas en motores síncronos o en Motor asíncrono son 2, 4, 6 y 8 polos que, siguiendo la ecuación citada, resultarían en 3000 RPM, 1500 RPM, 1000 RPM y 750 RPM respectivamente para motores sincrónicos únicamente y a la frecuencia de 50 Hz. Dependiendo de la ubicación geográfica funciona en 50 Hz o 60 Hz.

En los motores asíncronos las revoluciones por minuto son ligeramente menores por el propio asincronismo que indica su nombre. En estos se produce un desfase mínimo entre la velocidad de rotación (RPM) del rotor (velocidad "real" o "de salida") comparativamente con la cantidad de RPM del campo magnético (las cuales si deberían cumplir la ecuación arriba mencionada tanto en Motores síncronos como en motores asíncronos) debido a que sólo es atraído por el campo magnético exterior que lo aventaja siempre en velocidad (de lo contrario el motor dejaría de girar en los momentos en los que alcanzase al campo magnético)

Descripción del VFD

Un sistema de variador de frecuencia (VFD) consiste generalmente en un motor de CA, un controlador y una interfaz operadora.

Motor del VFD

El motor usado en un sistema VFD es normalmente un motor de inducción trifásico. Algunos tipos de motores monofásicos todavía son utilizados, pero los motores de tres fases son los preferidos. Varios tipos de motores síncronos ofrecen ventajas en algunas situaciones, pero los motores de inducción son más apropiados para la mayoría de propósitos y son generalmente la elección más económica. Motores diseñados para trabajar a velocidad fija son usados habitualmente, pero la mejora de los diseños de motores estándar aumenta la fiabilidad y consigue mejor rendimiento del variador de frecuencia.

Controlador del VFD

El controlador de dispositivo de variación de frecuencia está formado por dispositivos de conversión electrónicos de estado sólido. El diseño habitual primero convierte la energía de entrada CA en CC usando un puente rectificador. La energía intermedia CC es convertida en una señal quasi-senoidal de CA usando un circuito inversor conmutado. El rectificador es usualmente un puente trifásico de diodos, pero también se usan rectificadores controlados. Debido a que la energía es convertida en continua, muchas unidades aceptan entradas tanto monofásicas como trifásicas (actuando como un *convertidor de fase*, un variador de velocidad).

Tan pronto como aparecieron los interruptores semiconductores fueron introducidos en los VFD, ellos han sido aplicados para los inversores de todas las tensiones que hay disponible. Actualmente, los transistores bipolares de puerta aislada (IGBTs) son usados en la mayoría de circuitos inversores.

Las características del motor CA requieren la variación proporcional del voltaje cada vez que la frecuencia es variada. Por ejemplo, si un motor está diseñado para trabajar a 460 V a 60 Hz, el voltaje aplicado se reduce a 230 V cuando la frecuencia es reducida. Así la relación voltios/hertzos se regula en un valor constante ($460/60 = 7.67 \text{ V/Hz}$ en este caso). Para un funcionamiento óptimo, otros ajustes de voltaje son necesarios, pero nominalmente la constante V/Hz es la regla general. El método más novedoso y extendido en nuevas aplicaciones es el control de voltaje por modulación por ancho de pulso o PWM.

2.7.2. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN

CONTACTOR

Un contactor es un interruptor automático, es decir tiene como objetivo el interrumpir o establecer el paso de corriente por un circuito. En la figura 2.10 se observa un contactor de la marca LS.



Figura 2.10 Contactor LS [11]

Principio de funcionamiento

La bobina al ser energizada, mueve un mecanismo que cierra el circuito, recíprocamente, al des-energizarse la bobina, el mecanismo abre el circuito.

Además algunos modelos incluyen contactos auxiliares normalmente abierto (NO), y normalmente cerrado (NC) para ser usados, por ejemplo, en balizas, o alarmas.

Criterios de selección

Es necesario conocer las siguientes características del receptor:

- La tensión nominal de funcionamiento, en voltios (V).
- La corriente de servicio (I_e) que consume, en amperios (A).
- La naturaleza y la utilización del receptor, o sea, su categoría de servicio.
- La corriente de corte, que depende del tipo de categoría de servicio y se obtiene a partir de la corriente de servicio, amperios (A).

Los pasos a seguir para la elección de un contactor son los siguientes:

1. Obtener la corriente de servicio (I_e) que consume el receptor.
2. A partir del tipo de receptor, obtener la categoría de servicio.
3. A partir de la categoría de servicio elegida, obtener la corriente cortada (I_c) con la que se obtendrá el calibre del contador.

Además, hay que considerar la condición del factor de potencia, ya que, en el caso de los circuitos de alumbrado con lámparas de descarga (vapor de mercurio, sodio,...) con factor

de potencia 0,5 (sin compensar), su categoría de servicio es AC3, aunque por su naturaleza debería ser AC1. Mientras que si estuviera compensado a 0,95 su categoría sería AC1.

RELÉ DE SOBRECARGA

Al igual que los "interruptores de sobrecarga y corto-circuito", el relé de sobrecarga, como su nombre lo indica, protege antes sobrecargas de corriente, pero soportan rangos más pequeños, por lo que no ofrecen protección ante corto-circuito. Por lo que se usan después de donde hay riesgo de corto-circuito.

Diseñados para proteger motores y circuitos AC, desconectan la carga en caso de fallas de alguna fase, sobrecarga, tiempo prolongado de partida del motor, y falla de rotor bloqueado. Es frecuentemente utilizado junto a un contactor. En la figura 2.11 se muestra un relé de sobrecarga.



Figura 2.11 Relé de sobrecarga [11]

Rangos y clases

En general son utilizados para motores trifásicos asíncronos (caso de los motores "jaula de ardilla"), por lo tanto se refiere a este motor en particular.

Sin torque resistente (carga mecánica), el rotor se acelera hasta su velocidad síncrona (ω_s). Si hay torque resistente, el rotor disminuye su velocidad, aumenta su consumo de corriente y alcanza un equilibrio.

Por asuntos de diseño, existe un corriente nominal (I_n) que tiene asociada una velocidad nominal (ω_n) y un torque nominal (T_n), o equivalentemente, una potencia nominal. Cercano a estos valores se considera que el motor está en el rango de operación normal.

Una situación excepcional es la partida, durante esta, el rotor tiene velocidad cero. Al energizarse, el motor necesita una gran cantidad de corriente para vencer la inercia del rotor (entre más grande el rotor más grande la inercia), normalmente la corriente en la partida (I_0) es de 5 a 7 veces la nominal (I_n) y va disminuyendo en la medida que el rotor se acelera.

Sin embargo, esta corriente inicial solo recorre el motor por un corto periodo de tiempo sin dañarlo, de otro modo el cableado interno se sobrecalienta y la cobertura se daña o derrite. Esta situación es de la que el relé de sobrecarga protege. Dependiendo de cuánto tiempo el relé permita una sobrecarga de corriente antes de cortar el circuito (*trip*), para que el rotor alcance la velocidad nominal, los relés se clasifican en clases. Las más comunes son:

- Clase 10: Permite sobrecarga por 10 segundos.
- Clase 20: Permite sobrecarga por 20 segundos.
- Clase 30: Permite sobrecarga por 30 segundos.

2.8. EMOBINADOR

El embobinado es un mecanismo que tiene la función de enrollar la manguera producida. La mayoría de embobinadores son manuales debido al alto costo que impone un embobinador automático, el cual tiene integrado un sistema contador y un mecanismo de corte.

Al momento en que la manguera llega al embobinador ésta ya se encuentra fría y solidificada, por lo que se en esta etapa se procede a producir los rollos de una longitud o peso específico, generalmente de 100 m. En la figura 2.12 se muestra el producto terminado listo para su comercialización.



Figura 2.12 Producto terminado [3]

Existen también dispositivos de armado que agilizan el proceso de manera semiautomática, el proceso consiste en embobinar segmentos de manguera, previamente cortados, a través de enrolladoras las cuales son operadas por personal capacitado, colocando la punta de la manguera en el rodillo debidamente sujeta y se activa un motor por medio de un interruptor de pedal, el cual hace girar al rodillo para que la manguera se enrede en él, cuando termina de enrollarse la manguera se extrae el rollo de manguera para posteriormente ser sujeta con flejes para evitar que se. Antes de almacenarlo se coloca la etiqueta con las características, precauciones, recomendaciones, etc. y finalmente se almacena para su venta.

2.9.MEDIO AMBIENTE

La Gestión Ambiental aplicada a una empresa productiva es una herramienta para el control de sus actividades, siendo de esta manera un canal para realizar mejoras en los procesos productivos enfocándose en el cuidado del medio ambiente. Sin embargo, al aplicar estos controles se nota mejoras en todos los aspectos de calidad y seguridad y salud de los trabajadores. Generalmente en las empresas productivas, existen desechos, desperdicios, emanaciones al ambiente, ruido, entre otros.

Desde el punto de vista de la calidad, al establecer controles en el uso de insumos de producción, se está aumentando la productividad ya que se tiene más diversidad de producto y al mismo tiempo se está cuidando nuestro entorno. Otro ejemplo evidente es la generación de gases de combustión, el cual causa quejas de las comunidades vecinas y por último, el cese de las actividades causando atrasos en despachos, insatisfacción del cliente, y desprestigio. Al considerar el punto de vista ocupacional, se prevendría enfermedades ocupacionales del personal, mejorar la calidad del ambiente de trabajo, y prevenir la ocurrencia de accidentes laborales [12].

CAPITULO 3

3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Se realizó investigación de campo en la cual se pudo constatar el proceso de fabricación de mangueras en su totalidad, desde la preparación de la materia prima, la calibración de las diferentes máquinas que intervienen, la producción y control de calidad del producto y finalmente el empaquetado para su distribución y venta. Se constató que en el proceso de fabricación de mangueras intervienen generalmente las mismas maquinarias, las cuales comparten características similares, por ejemplo, el sistema de enfriamiento es por inmersión del producto en una tina de enfriamiento de larga dimensión.

El sistema de tensado, por otra parte, presenta diversidad de diseño en dispositivos de arrastre, por lo cual se evalúa la mejor opción de los diferentes sistemas existentes. En la figura 3.1 se observa una línea de extrusión industrial.



Figura 3.1 Línea de extrusión de perfil tubular [11]

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Los tipos de investigación de acuerdo a su grado de abstracción se dividen en dos: la investigación pura o básica y la investigación aplicada. En la investigación pura, se mejora los conocimientos teóricos y conceptuales, mientras que en la investigación aplicada, se solucionan problemas prácticos y que desde un punto de vista teórico, no aporta mayor conocimiento científico [13]. De acuerdo a esta definición se determina que la investigación en curso es del tipo *aplicada*, porque se resolvió el problema mediante la aplicación de conceptos y principios ya existentes.

3.3. DISEÑO DE LA MÁQUINA TENSORA

3.3.1. SELECCIÓN DEL TIPO DE DISPOSITIVO DE ARRASTRE

Se procede al diseño de la máquina tensora que se acolará a una máquina de extrusión, para lograr el tirado de los perfiles extrudidos con los datos con los que cuenta esta máquina extrusora y así producir mangueras de ½ pulgada. Se satisface las siguientes necesidades:

- La máquina es apta para halar manguera de ½ pulgada.
- También es capaz de sujetar mangueras de diferentes tamaños, hasta de 2 pulgadas.
- La posibilidad de acople a otros dispositivos periféricos para un proceso de extrusión completo.
- El manejo del dispositivo es de forma sencilla y de fácil acoplamiento en el proceso de extrusión.
- La máquina sincroniza su velocidad con la rapidez del gasto extrudido.
- Se trabaja con mangueras de plástico reciclado.

Una vez mencionado tales elementos, es momento de iniciar con el proceso de comparación de los diferentes tipos de dispositivos que se encuentran actualmente en el mercado. Para esto se utiliza una técnica llamada *benchmarking*, ésta es un anglicismo traducible al castellano como comparativa, se define como un proceso sistemático y continuo para evaluar comparativamente los productos, servicios y procesos de trabajo en organizaciones y sistemas [7].

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

En la tabla 3.1 se observa que el objetivo fundamental de todos los equipos es el de jalar un perfil extrudido, más la forma en que esto se hace, es lo que da la pauta para obtener la mejor selección de nuestro diseño.

Tabla 3.1 Comparativa de diferentes tipos de máquinas tensoras (tiradores) [7]



Tirador tipo llanta

Este jalador se utiliza para una producción muy pequeña de perfiles, debido al tamaño del área de contacto, además se elimina el dispositivo de transmisión de potencia utilizando dos motores para proporcionar el par independiente en cada rueda.

La apertura y cierre de la mordaza es muy sencillo utilizando únicamente la manivela superior.

Tirador tipo cuatro llantas

Este jalador utiliza el mismo principio de funcionamiento que el prototipo anterior sólo que éste equipo utiliza otro par de ruedas para lograr una mejor tracción de los perfiles, además cuenta con guidores para mantener fija la posición del mismo.



Tirador simple tipo oruga

Este mecanismo utiliza bandas para el transporte y tirado de los distintos tipos de perfiles extrudidos por la máquina que le antecede.

Cuenta un sistema de apertura y cierre similar al tirador tipo llanta.



Tirador tipo oruga (automatizado)

El funcionamiento de esta máquina es similar al anterior, con la diferencia de que cuenta con un panel de control que permite el ajuste de velocidades para un proceso determinado.



Tirador tipo oruga hidráulico

La característica principal de este dispositivo es el sistema hidráulico en la apertura y cierre del mecanismo de transporte, esto debido a las dimensiones y capacidades del sistema en general.

Tirador tipo oruga (4 orugas)

Este tipo de jalador se ocupa para el tirado de perfiles tubulares o de perfiles cuadrados por la disponibilidad de sus componentes.



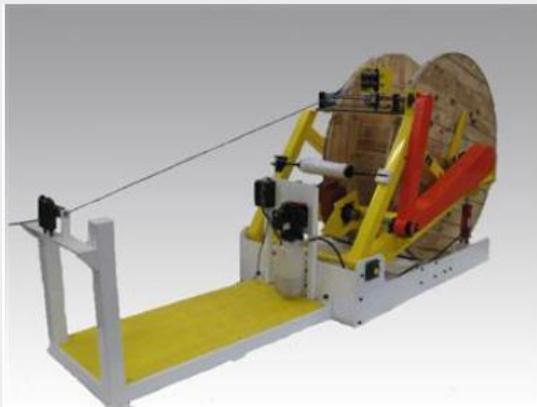
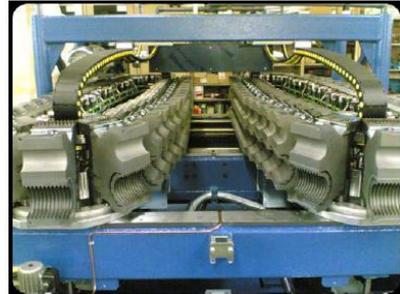


Tirador tipo oruga (6 orugas)

Este tipo de jalador se ocupa para el tirado de perfiles tubulares o de perfiles hexagonales por la disponibilidad de sus componentes.

Tirador tipo oruga (transversal)

Sistema empleado en perfiles tubulares aun deformables para adquirir el acabado proporcionado por las bandas transportadoras.



Tirador embobinador vertical

Su principio de funcionamiento se basa en el embobinado directo de la tina de enfriamiento, calibrado y guiado por rodillos transversales al sentido de tiro del propio embobinador. Este dispositivo cumple satisfactoriamente con su función siempre y cuando el perfil tirado sea flexible.

Tirador embobinador horizontal

El principio de funcionamiento es similar al anterior, con la diferencia que el tiro de este sistema es horizontal e impulsado por un motor acoplado con sistemas de transmisión flexible al embobinador. Permite de forma más rápida el cambio de los embobinados.



A partir de esta tabla se determina los diferentes dispositivos que cumplen con las necesidades mencionadas, obteniendo como resultado cuatro referencias para continuar con la discrepancia entre uno y otro, en términos generales, entre estos se encuentran: tirador tipo llanta, tirador tipo cuatro llantas, tirador tipo oruga y tirador embobinador.

A partir de esto se hace uso de la matriz de selección la cual es una herramienta para tomar decisiones, utilizando criterios ponderados y acordados. Esta herramienta se emplea para asignar prioridades a problemas, tareas, soluciones u otras opciones posibles, para lograr un panorama más amplio de nuestro prototipo a diseñar.

3.3.2. MATRIZ DE SELECCIÓN

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

Los requerimientos son los siguientes:

- La variación de la velocidad de tiro es gradual y a su vez se mantiene constante en un proceso de extrusión.
- Mayor área de tiro posible para obtener una óptima distribución de fuerzas.
- La fuerza de sujeción a la entrada es idónea para no deformar el producto.
- La fuerza de sujeción y de tiro a lo largo del dispositivo permanece constante y no presenta concentraciones en algún punto en particular.
- La máquina trabajará como mínimo a la velocidad de extrusión.
- La apertura de la mordaza es variable, desde un valor mínimo a un valor máximo idóneo al proceso, para una buena sujeción de la manguera.
- Los dispositivos de transmisión de potencia permiten el fácil reajuste en el proceso de tiro (apertura y cierre de mordaza).

En seguida se describen los elementos de la matriz de decisión utilizada en la selección de las alternativas de diseño. En la tabla 3.2 en el eje vertical se observan las alternativas de solución al problema a tratar, mientras que en el eje horizontal aparecen las capacidades a evaluar en cada alternativa de solución.

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

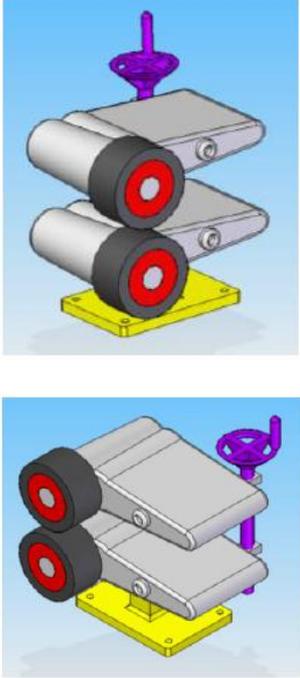
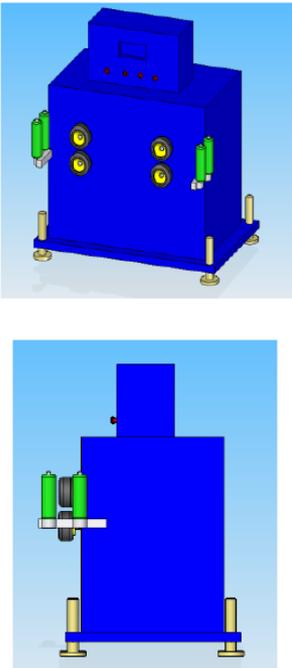
Tabla 3.2 Ponderaciones para los puntos a evaluar en cada alternativa

Características	Número de Motores	Dimensiones	Velocidad Tangencial	Zona de Contacto	Acoplable a Otras Máquinas
Alternativa	20%	15%	30%	20%	15%
X	Cantidad de motores empleados	Tamaño del dispositivo	Velocidad de tiro constante	Superficie de contacto del material	Disponibilidad de complementar con otros dispositivos

A continuación se procede a crear la tabla 3.3 que contiene los prototipos a evaluar, se procede a describir sus ventajas y desventajas de acuerdo a las características que se busca, es decir; número de motores, dimensiones, velocidad tangencial, zona de contacto y si es acoplable con otras máquinas. Esta descripción de ventajas y desventajas ayuda al momento de asignar una valoración con respecto a los otros prototipos a comparar.

- Prototipo A. Tirador tipo llanta
- Prototipo B. Tirador tipo cuatro llantas
- Prototipo C. Tirador tipo oruga
- Prototipo D. Tirador embobinador

Tabla 3.3 Tabla comparativa de los prototipos escogidos

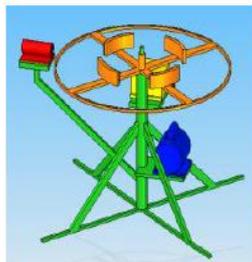
Prototipo	Ventaja	Desventaja
PROTOTIPO A. TIPO LLANTA		
	<ul style="list-style-type: none"> • Posibilidad de tirar perfiles rígidos y también flexibles. • Regulación gradual de la velocidad de acuerdo a las necesidades del proceso. • Velocidad tangencial constante en las ruedas de tiro para cada evento.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

Prototipo

Ventaja

Desventaja

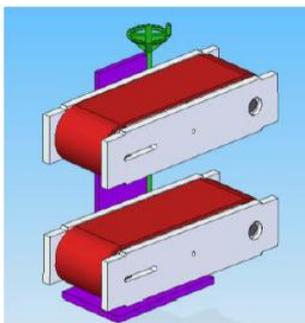
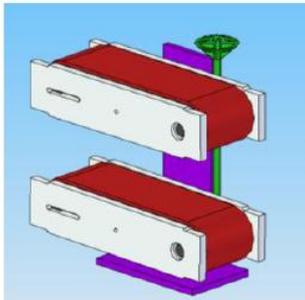
PROTOTIPO C. TIPO EMBOBINADOR



- Empleo de un solo motor.
- Entrega del producto ya embobinado.
- La zona de contacto es la periferia del embobinado.

- Manejo exclusivo de perfiles flexibles.
- Necesidad de un dispositivo adicional para el control del embobinado.
- Velocidad de tiro en función del radio del embobinado.
- Limita el uso de otros equipos periféricos por ser un dispositivo terminal.

PROTOTIPO D. TIPO ORUGA



- Posibilidad de tirar perfiles rígidos y también flexibles.
- Regulación gradual de la velocidad de acuerdo a las necesidades del proceso.
- Velocidad tangencial constante en las ruedas de tiro para cada evento.
- Es acoplable a dispositivos periféricos (corte, embobinado, calibrador).
- Uso de un solo motor.
- Longitud de apertura variable de acuerdo a las necesidades del proceso.

- Implementación de sistema independiente de apertura y cierre.
- Necesidad de sistema adicional de transmisión de potencia debido al empleo de un solo motor.

Haciendo uso de la tabla 3.2 y 3.3 se justifica los valores otorgados en la matriz de selección de la tabla 3.5. Utilizando una escala de calificación del 5 al 10 en donde la menor calificación posible es 5 y la mayor calificación es 10, se procede a evaluar las opciones planteadas.

Tabla 3.4 Matriz de selección de los prototipos evaluados

Características		Número de Motores	Dimensiones	Velocidad Tangencial	Zona de Contacto	Acoplable a Otras Máquinas	TOTAL
Alternativas		20%	15%	30%	20%	15%	
Calificación	A	10	8	9	9	8	
Porcentaje		2	1,2	2,7	1,8	1,2	8,9
Calificación	B	7	6	7	6	9	
Porcentaje		1,4	0,9	2,1	1,2	1,35	6,95
Calificación	C	10	7	5	7	6	
Porcentaje		2	1,05	1,5	1,4	0,9	6,85
Calificación	D	9	7	9	7	8	
Porcentaje		1,8	1,05	2,7	1,4	1,2	8,15

En la tabla 3.5 se observa en la columna de la derecha, el valor total correspondiente a cada prototipo evaluado. Se nota que el menor valor pertenece al prototipo B, que corresponde al prototipo de cuatro llantas, este dispositivo es útil para otros propósitos pero para el proyecto a desarrollar es la peor opción, por lo tanto se la descarta. Lo mismo sucede con los prototipos C y D que corresponden al tipo embobinador y oruga respectivamente.

Finalmente la opción mejor calificada es la A la cual se refiere a la unidad de tiro tipo llanta. Este prototipo para nuestro interés, que es la fabricación de mangueras, necesita un área de contacto mayor, por lo que la unidad de tiro tipo llanta es cambiada por sistema de rodillos, el cual tiene similares características, además de mayor disponibilidad y variedad en tamaños.

3.3.3. CÁLCULO DE LOS ELEMENTOS DE LA MÁQUINA TENSORA

Antes de proceder con el cálculo de los elementos de la máquina tensora, es necesario conocer algunos datos de la extrusora con la cual se va a trabajar.

Cálculo del caudal de la extrusora

Para calcular el caudal de una extrusora se usa la ecuación 3.1

Ecuación 3.1 Cálculo del caudal de la extrusora

$$Q = \left(\frac{AK}{k + B + y} \right) * n$$

Para mayor detalle de los cálculos referentes a la extrusora, se consulta el anexo 5. Ahora, se reemplaza los valores en la ecuación 3.1 [14]:

$$Q = \left(\frac{(59,1279 \cdot 10^3 \text{ mm}^3)(0,3766 \text{ mm}^3)}{0,3766 \text{ mm}^3 + 387,3949 \cdot 10^{-3} \text{ mm}^3 + 8,063 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^3} \right) \cdot 30 \text{ RPM}$$

$$Q = 873\,464,9138 \text{ mm}^3 / \text{minuto}$$

Para representar el caudal en kg/hora, se multiplica por la densidad específica del PVC ($\gamma = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$) [9] y por 60 minutos que contiene una hora.

$$Q = 873,4649 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} \cdot 1,25 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \cdot 60 \frac{\text{min}}{\text{hora}}$$

$$Q = 65,5 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}$$

Dimensionamiento del motor

Para realizar el dimensionamiento del motor, en primer lugar se procede a determinar la velocidad máxima a la que se extrae el producto proveniente de la extrusora.

La variable fundamental que se toma en consideración para obtener la velocidad de la máquina tensora, es la capacidad de producción de la extrusora; es decir el caudal del material a extruir en kg/hora. El caudal de la extrusora depende de varios parámetros tales como: dimensiones del husillo, dimensiones de las boquillas, y el tipo de material con el cual se va trabajar.

dónde:

D: Diámetro del tornillo.

L: Longitud del tornillo.

N: Velocidad de tornillo.

U: Viscosidad efectiva del PVC.

H: Profundidad de canal en la zona de dosificación.

Θ : Angulo de filete del tornillo.

3.3.4. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE TIRO MÁXIMA

Basado en el principio de continuidad de un fluido a través de un tubo de sección transversal, el caudal máximo que entrega la extrusora se mantiene constante independientemente de las dimensiones de la boquilla que se configure en el cabezal, pues a medida que se reduce la sección transversal de la boquilla la velocidad a la que sale el perfil aumenta, siendo esta velocidad la que se toma como valor máximo para el proceso. Su caudal está dado por la ecuación 3.2.

Ecuación 3.2 Caudal máximo de la extrusora

$$Q_{max} = V_{max} \cdot A$$

dónde:

V: velocidad del perfil

A: área de la sección transversal de la boquilla de menor diámetro

La boquilla más pequeña tiene dos agujeros de un diámetro de 2 mm cada uno, ocupando un área igual a 2 veces el área de un orificio y obteniéndose una velocidad de:

$$V_{max} = 30\,321,15 \frac{mm}{min}$$

$$V_{max} = 30,32 \approx 30 \text{ m}/min$$

Esta es la velocidad máxima en metros por minuto a la que opera la máquina tensora.

3.3.5. CÁLCULO LA POTENCIA DEL MOTOR

La potencia del motor se determina multiplicando la velocidad máxima de la máquina tensora y la fuerza que desarrolla la máxima caída de presión de la extrusora.

La ecuación 3.3 determina la caída de presión máxima a lo largo de la extrusora para un caudal de extrusión nulo.

Ecuación 3.3 Caída de presión en la extrusora

$$P = \frac{6 \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot N \cdot u}{H^2 \cdot \tan \theta}$$

dónde:

D : Diámetro del tornillo.

L : Longitud del tornillo.

N : Velocidad de tornillo.

U : Viscosidad efectiva del PVC.

H : Profundidad de canal en la zona de dosificación.

θ : Angulo de filete del tornillo.

La viscosidad efectiva del PVC para el rango de temperaturas de trabajo (170 a 190) °C es de (1060 a 500) poises (Pascales/segundo) [5].

Por lo general se toma la viscosidad a la máxima temperatura que garantiza que no hay degradación térmica del PVC, agregando a la ecuación 3.3 los parámetros del tornillo y su viscosidad efectiva se tiene una presión de:

$$P = \frac{6 \cdot \pi \cdot (0,08 \text{ m}) \cdot (1,6 \text{ m}) \cdot (0,5 \text{ rev/seg}) \cdot (500 \frac{N}{m \cdot \text{seg}})}{(0,00704 \text{ m})^2 \cdot \tan(17,7)}$$

$$P = 38,19 \text{ MPa}$$

Fuerza del perfil

La fuerza de perfil se determina a partir de la presión desarrollada a lo largo del cilindro y por el área de la boquilla 3 la cual da la forma para crear el perfil cilíndrico de menor diámetro. Tal como se indica en la ecuación 3.4.

Ecuación 3.4 Fuerza del perfil a extruir

$$F = P \cdot A$$

$$F = 38,19 \text{ MPa} \cdot 2\pi \cdot (0,002 \text{ m})^2$$

$$F = 959,82 \text{ N}$$

Ahora se aplica la ecuación 3.5, se calcula la potencia del motor de la máquina tensora.

Ecuación 3.5 Cálculo de la potencia del motor

$$Potencia = V_{max} \cdot F$$

$$Potencia = \left(0,30 \frac{m}{min}\right)(959,82 N) \cdot \frac{1 min}{60 s}$$

$$P = 479,91 W \cdot \frac{1 HP}{0,745 W}$$

$$P = 0,644HP \approx 0,75HP$$

La potencia más próxima es 0,75 hp y es lo que se encuentra comúnmente en motores comerciales, sin embargo como uno también se desea extruir no solo perfiles de ½ pulgada, sino también perfiles de mayor diámetro (hasta 2 pulgadas), se escoge un motor de 1 hp.

3.3.6. SISTEMA DE TRANSMISIÓN PARA LOS RODILLOS

Un sistema de transmisión mecánica es un mecanismo que sirve para transmitir la potencia desde un motor hacia otra parte, con la velocidad y el torque necesario para realizar una determinada operación.

En la figura 3.2 se observa el sistema a emplearse, donde el torque del motor se transmite mediante banda en V a la polea, y ésta transmite el movimiento al eje donde están conectados el rodillos que halará la manguera, además se posee un piñón que transmite mediante una cadena el movimiento al siguiente rodillo y éste a su vez mediante el mismo mecanismo transmite el movimiento al tercer rodillo. Para este sistema se ocupó rodillos de 10 cm de diámetro, los cuales son impulsados por un motor reductor de 1 hp a 30 rpm.

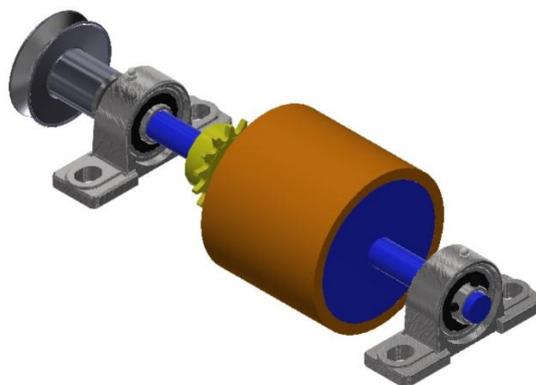


Figura 3.2 Rodillo principal

Sistema de transmisión por cadenas

Un sistema de transmisión por cadenas está compuesto por una serie de eslabones unidos por pernos que son conocidos como cadenas, en conjunto con catarinas, una motriz y otra conducida; que sirven para transferir el movimiento entre dos ejes paralelos que se encuentran separados entre sí. La cadena más utilizada es la de tipo rodillo, cuya característica principal es el paso, que es la distancia entre dos eslabones adyacentes, en la figura 3.3 se muestra este sistema de transmisión mecánica.

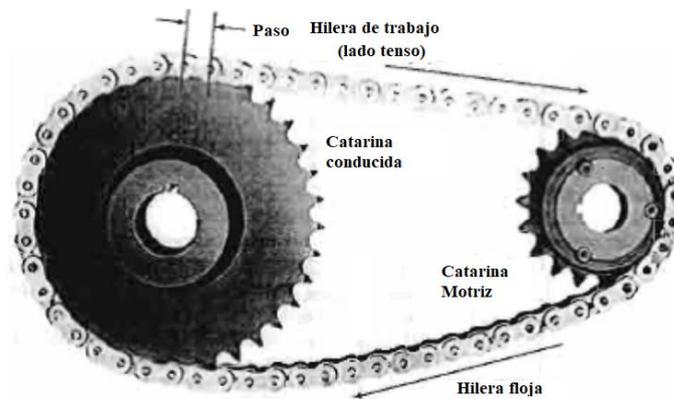


Figura 3.3 Transmisión por cadena [15]

Para el diseño de la transmisión se empieza por determinar la relación de transmisión (i), a partir de las velocidades de entrada y salida del sistema, para poder determinar el número de dientes de las catarinas motriz y conducida, se hace uso de la ecuación 3.6.

Ecuación 3.6 Relación de transmisión

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

donde:

i : Relación de transmisión

ω_1 : Velocidad angular de entrada (velocidad que entrega el motorreductor)

ω_2 : Velocidad angular de salida (velocidad requerida para el proceso)

N_1 : Número de dientes de la catarina conducida

N_2 : Número de dientes de la catarina motriz

A continuación se calcula la velocidad angular de los rodillos, tomando como referencia la velocidad máxima de la máquina tensora, calculada anteriormente, con los siguientes valores:

Potencia del motorreductor 1 Hp

Velocidad máxima de halado = 30 m/min

Diámetro de los rodillos con el recubrimiento = 14 cm

Velocidad de salida:

Perímetro del rodillo = πd

Perímetro del rodillo = $\pi(14 \text{ cm})$

Perímetro del rodillo = 43,98 cm \approx 0,44 m

Se aplica regla de tres:

$$0,44 \text{ m} \qquad 1 \text{ rpm}$$

$$30 \text{ m} \qquad X$$

$$X = \frac{30 \text{ m} \cdot 1 \text{ rpm}}{0,44 \text{ m}}$$

$$X = 68,18 \text{ rpm} \approx 68 \text{ rpm}$$

Relación de velocidad:

Para calcular la relación de velocidad se emplea la ecuación 3.6, reemplazando los valores obtenidos se tiene:

$$i = \frac{68}{97} = 0,7$$

Para seleccionar el número de dientes de la catalina motriz y el paso de la cadena se utiliza la tabla del anexo 4.2 [16].

Se utilizará una cadena número 40 de 0,5 pulgadas de paso, con una catalina de 24 dientes, para la capacidad de 1 hp a 30 rpm, obtenido mediante interpolación.

3.3.7. CÁLCULO DEL PAR SOBRE LA POLEA

En primer lugar se tiene un motorreductor con las siguientes características:

Potencia (1hp)= 0,75 kW

Velocidad nominal (V_1) = 1690 rpm

Relación de transmisión (i) = 30:1

Se procede a calcular la velocidad de salida (V_2) del motorreductor, se usa la ecuación 3.7:

Ecuación 3.7 Cálculo de la velocidad de salida del motorreductor

$$V_2 = \frac{V_1}{i}$$

$$V_2 = \frac{1690 \text{ rpm}}{30}$$

$$V_2 = 56,33 \text{ rpm}$$

Para obtener el par se utiliza la ecuación 3.8:

Ecuación 3.8 Cálculo del par del motorreductor

$$T = \frac{HP * 716}{RPM} \quad (\text{en } kgf \cdot m)$$

$$T = \frac{1 \cdot 716}{56,33}$$

$$T = 12,7 \text{ kgf} \cdot m \frac{9,807 \text{ N} \cdot m}{1 \text{ kgf} \cdot m}$$

$$T = 124,55 \text{ N} \cdot m$$

3.3.8. DISEÑO DEL EJE DEL RODILLO PRINCIPAL

Se procede al diseño del eje del rodillo principal, el cual transmite el movimiento a los rodillos secundarios mediante transmisión por cadena. En la figura 3.4 se observa el diagrama de cuerpo libre con las cargas aplicadas en el eje.

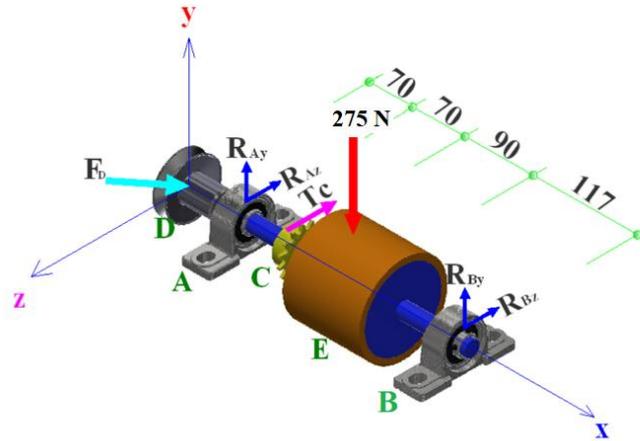


Figura 3.4 Diagrama de cuerpo libre del eje

La fuerza de 275 N es la fuerza que ejercen los rodillos al presionar la manguera para el halado. La fuerza transmitida por el motor por medio de banda se la muestra como F_D . La fuerza T_C es la fuerza de transmisión por cadena de rodillo a rodillo. Los puntos A y B corresponden a los rodamientos del eje. Por lo tanto los datos para el cálculo son:

- Torque: $T = 124,55 \text{ N} \cdot \text{m}$
- Diámetro de la polea: $D = 74 \text{ mm} = 0,074 \text{ m}$
- Fuerza: $F = 275 \text{ N}$ (fuerza que ejercen los rodillos)
- Angulo de la polea: $\theta = 45^\circ$
- Diámetro de la cadena: $D_C = 74 \text{ mm} = 0,074 \text{ m}$

Se procede a calcular las fuerzas desconocidas F_D y T_C . Para el cálculo de la fuerza resultante F_D se utiliza la ecuación 3.9 [16].

Ecuación 3.9 Cálculo del torque para una polea

$$T = F_D \cdot D/2$$

Se despeja F_D :

$$F_D = \frac{T}{D/2}$$

$$F_D = \frac{124,55}{0,074/2}$$

$$F_D = 3,37 \text{ kN}$$

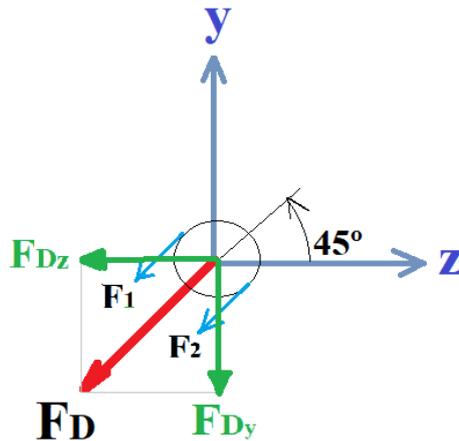


Figura 3.5 Fuerzas en la polea

En la figura 3.5 se visualiza las fuerzas que actúan en la polea, se procede con el cálculo de las componentes de la fuerza F_D en los planos XY y XZ.

$$F_{Dy} = F_D \cdot \cos \theta$$

$$F_{Dy} = 3,37 \cdot \cos 45 = 1,77 \text{ kN}$$

$$F_{Dz} = F_D \cdot \text{sen } \theta$$

$$F_{Dz} = 3,37 \cdot \text{sen } 45 = 2,86 \text{ kN}$$

Se procede al cálculo de la fuerza en el piñón de la cadena F_C , con un diámetro de 62 mm, se usa la ecuación 3.10:

Ecuación 3.10 Cálculo de la fuerza de la cadena

$$F_C = \frac{T}{D_C/2}$$

$$F_C = \frac{124,55 \text{ N} \cdot \text{m}}{0,062 \text{ m}/2}$$

$$F_C = 4,02 \text{ kN}$$

Se aplica sumatorias de fuerzas y momentos para los planos XY y XZ con los valores obtenidos. En la figura 3.6 se muestra el diagrama de carga, corte y momentos para el eje.

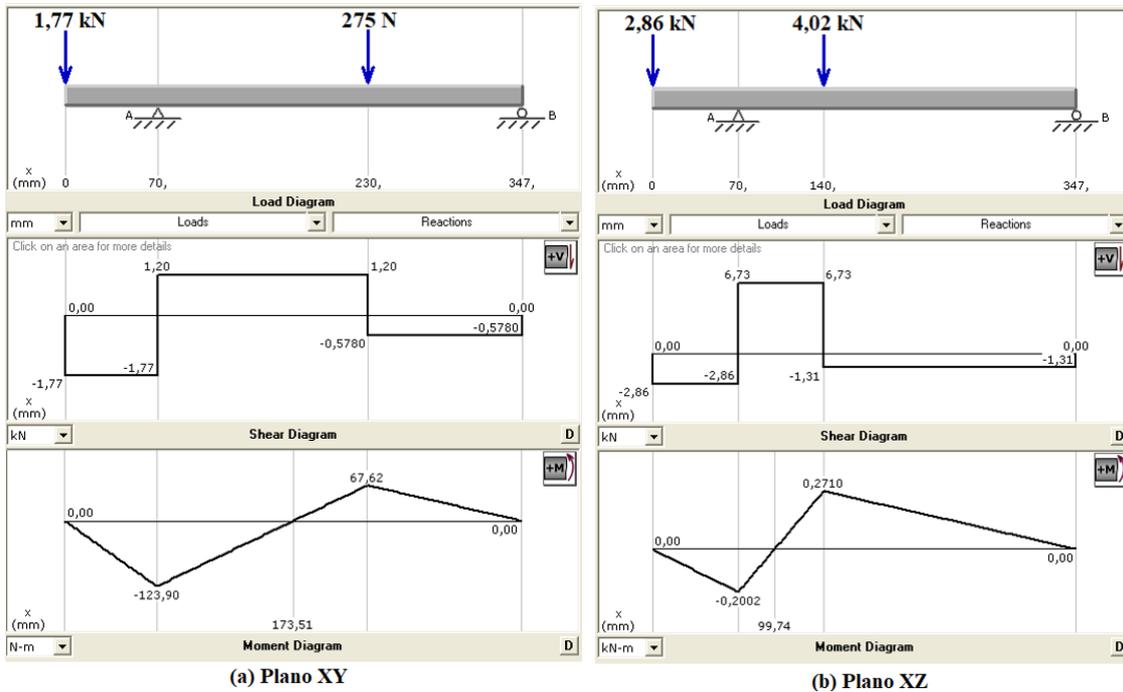


Figura 3.6 Diagrama de carga, corte y momento

Los valores de las reacciones en los puntos A y B son:

- $R_{Ay} = 1,2 \text{ kN}$, $R_{Az} = 6,73 \text{ kN}$
- $R_{By} = 0,58 \text{ kN}$, $R_{Bz} = 1,31 \text{ kN}$

Se aplica el método Von Misses [17], se observa que el punto crítico es A. Se calcula M_A el momento resultante en el punto A, se emplea la ecuación 3.11:

Ecuación 3.11 Cálculo del momento total

$$M_A = \sqrt{M_{Ay}^2 + M_{Az}^2}$$

$$M_A = \sqrt{123,9^2 + 0,2^2}$$

$$M_A = 123,9$$

Se usa la ecuación 3.12 para el cálculo del esfuerzo flector.

Ecuación 3.12 Cálculo del esfuerzo flector

$$\sigma = \frac{M \cdot c}{I} = \frac{M \left(\frac{d}{2}\right)}{\pi \cdot d^4}$$

$$\sigma = \frac{123,9(32)}{\pi \cdot d^3} = \frac{1264,04}{d^3}$$

La ecuación 3.13 permite el cálculo del esfuerzo torsor.

Ecuación 3.13 Cálculo del esfuerzo torsor

$$\tau = \frac{T \cdot r}{J} = \frac{T \left(\frac{d}{2}\right)}{\pi \cdot \frac{d^4}{32}}$$

$$\tau = \frac{124,55(16)}{\pi \cdot d^3} = \frac{634,33}{d^3}$$

Para el cálculo del esfuerzo máximo se usa la ecuación 3.14:

Ecuación 3.14 Cálculo del esfuerzo máximo

$$\sigma' = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

$$\sigma' = \sqrt{\left(\frac{1264,04}{d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{634,33}{d^3}\right)^2}$$

$$\sigma' = \frac{1674,8}{d^3}$$

Ahora para obtener el diámetro asumimos un acero AISI 1018, en el anexo 4.1 se muestran sus propiedades, con un $s_y = 440 \text{ MPa}$ se aplica la ecuación 3.15 del criterio de Goodman para obtener el diámetro del eje.

Ecuación 3.15 Criterio de Goodman

$$n_{est} = \frac{s_y}{\sigma'}$$

$$n_{est} = \frac{440 \cdot 10^6}{\frac{1674,8}{d^3}} = 5$$

$$d = 0,027m = 27 \text{ mm}$$

El diámetro del eje a diseñar empleando acero AISI 1018 es de 27 mm.

3.4.DISEÑO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

Las industrias utilizan agua de refrigeración para varios procesos. Para crear un ciclo de enfriamiento el agua se reutiliza en este proceso. Cuando el agua es reutilizada, ésta se bombea a través de la instalación hacia la torre de enfriamiento. Después de que el agua se enfría, se reintroduce como agua de proceso. El agua que tiene que enfriarse generalmente tiene temperaturas entre 40 y 60 °C. El agua se bombea a la parte superior de la torre de enfriamiento y de ahí fluye hacia abajo a través de tubos de plástico. Cuando el agua fluye hacia abajo, emite calor que se mezcla con el aire de arriba, provocando un enfriamiento de 10 a 20°C.

Parte del agua se evapora, causando la emisión de más calor. Por eso se observa vapor de agua encima de las torres de refrigeración.

Existen sistemas de enfriamiento abiertos y cerrados. Cuando un sistema es cerrado, el agua no entra en contacto con el aire de fuera. Como consecuencia la contaminación del agua por contaminantes del aire y microorganismos es insignificante, mientras que en los sistemas abiertos se toma en cuenta la contaminación con el ambiente exterior.

3.4.1. ELEMENTOS DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

El circuito de enfriamiento se observa en la figura 3.7, lo constituye la tina, un depósito, la bomba, la torre de enfriamiento y la tubería, formado un circuito cerrado de recirculación de agua. La tina de enfriamiento actúa como un gran depósito donde se

produce el intercambio de calor entre el material extruido y el agua. Debido a esto el agua se calienta en la tina de enfriamiento y mediante las tuberías llega al depósito, de aquí por la acción de la bomba, el agua pasa a la torre de enfriamiento, donde se enfría y se oxigena, para luego volver a entrar al proceso.

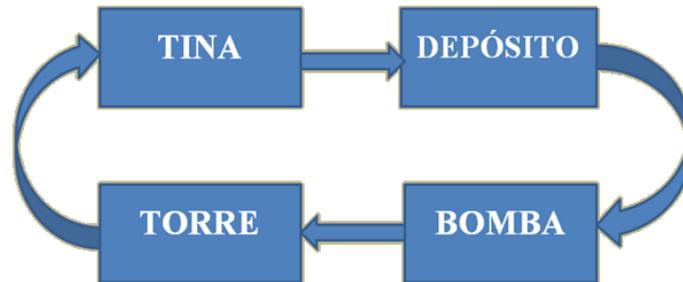


Figura 3.7 Diagrama del circuito de enfriamiento

El objetivo del sistema de enfriamiento es mantener un flujo de agua constante para no crear turbulencia. La temperatura que se fijó es de 50 °C, esta es fácil de mantener debido al clima promedio que es de 25 °C, ya que para obtener menores temperaturas es necesario un intercambiador de calor o un sistema de refrigeración más complejo y por consiguiente más costoso.

3.4.2. TINA DE ENFRIAMIENTO

La tina de enfriamiento es un depósito de agua, que tiene el propósito de enfriar la manguera para que se solidifique. El material extruido es enfriado rápidamente por boquillas que entregan agua refrigerante a lo largo de su trayecto hasta salir de la tina en estado sólido. Su longitud está acorde con el rendimiento de la extrusora y sincronizado con la velocidad de extrusión, ya que el plastificado requiere de un cierto tiempo de permanencia para poder solidificarse, las tinas de enfriamiento, generalmente, son de gran longitud.

En el proceso de enfriamiento del plástico ocurre transferencia de momento y de calor, simultáneamente. Analizando la interface sólido-líquido del sistema, se tiene que el sólido es enfriado por convección forzada.

Posteriormente se toma la medición de la velocidad a la que sale el flujo másico de la mezcla del polietileno en el sistema de arrastre, ya que la mezcla fundida a la salida del extrusor corresponde a ese mismo flujo.

Para conocer el perfil de temperaturas del plástico a lo largo de la tina de enfriamiento, se procede a realizar un balance general en un elemento diferencial del plástico, para obtener modelos matemáticos que describan la variación de la temperatura del plástico conforme aumenta la longitud.

CÁLCULO DEL LARGO DE LA TINA DE ENFRIAMIENTO

El modelo de la figura 3.8 permite analizar el comportamiento de la energía calorífica entre el agua de enfriamiento y el perfil extruido [9]. Se observa que el calor en la dirección z y θ tienen baja emisión, por lo tanto se desprecia. Se considera solo el calor en la dirección r .

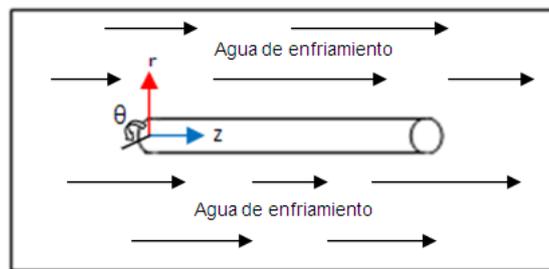


Figura 3.8 Modelo del perfil extruido

En la ecuación 3.16 misma se muestra los valores del calor de acuerdo a su dirección:

Ecuación 3.16 Valores del calor con respecto a su dirección

$$q_z = q_\theta = 0 \quad \text{y} \quad q_r \neq 0$$

Considerando las siguientes condiciones en estado estacionario:

- La conductividad térmica no varía con la temperatura
- La mayor temperatura se encuentra en el centro del perfil plástico
- Aunque el comportamiento real de la temperatura es una curva parabólica, se considera para efectos prácticos un comportamiento lineal
- Se considera el calor transferido a un perfil tubular es por convección

En la figura 3.9 se muestra el calor que gana el agua proveniente del plástico, obtenido con la correlación de Nusselt [9].

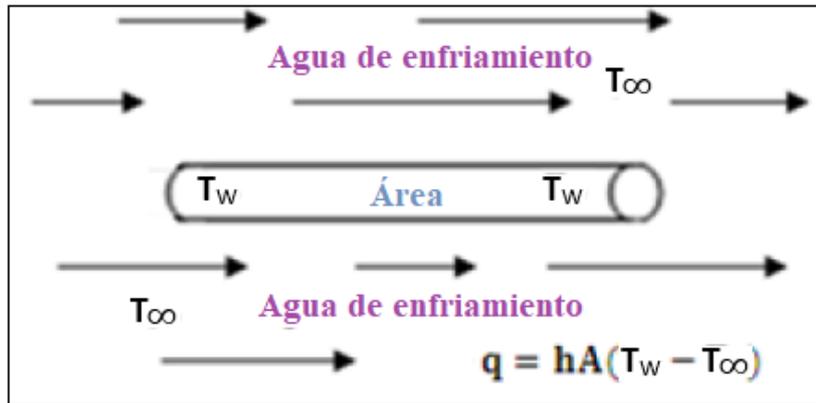


Figura 3.9 Calor que gana el agua proveniente del plástico

La ecuación 3.17 muestra la transferencia de calor por convección [18].

Ecuación 3.17 Transferencia de calor por convección

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

dónde:

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

Para el cálculo h se asume lo siguiente:

- Estado estacionario
- El agua toma el calor del plástico
- La densidad y la conductividad térmica no varían con la temperatura

Para realizar los cálculos del sistema, se considera la correlación de Pohlhausen de transferencia de calor por convección, para flujo extremo con flujo laminar, la cual se muestra en la ecuación 3.18.

Ecuación 3.18 Correlación de Pohlhausen

$$h = 0,664(Re)^{\frac{1}{2}}(Pr)^{\frac{1}{3}}\left(\frac{K}{D_c}\right)$$

En la Tabla 3.5 se muestra los datos necesarios para conocer el coeficiente de convección de la tina de enfriamiento, usando agua a 20 °C como refrigerante.

Tabla 3.5 Datos para calcular el coeficiente de convección

Alto L_1 (m)	Ancho L_2 (m)	Área (m^2)	G (m^3/s)	ρ (kg/m^3)	$V_{refrigerante}$ (m/s)
0,25	0,25	0,012	0,0000667	1000	0,00555833
D_c (m)	μ ($kg/m \cdot s$)	C_p ($J/kg \cdot ^\circ C$)	k ($W/m \cdot ^\circ C$)	T_w ($^\circ C$)	T_∞ ($^\circ C$)
0,0065	1,002	4181,8	0,5984	25	210

dónde:

Re : número de Reynolds

Pr : número de Prandtl

ρ : densidad del líquido

μ : viscosidad

k : coeficiente térmico

C_p : calor específico

V : velocidad del flujo

G : gasto volumétrico

D_p : diámetro del perfil

L_1 : altura de la tina:

L_2 : ancho de la tina

Se empieza calculando el número de Reynolds mediante la ecuación 3.19:

Ecuación 3.19 Cálculo del número de Reynolds

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D_c}{\mu}$$

Para calcular V , es decir, velocidad del agua como refrigerante se usa la ecuación 3.20:

Ecuación 3.20 Cálculo de la velocidad del refrigerante

$$V = \frac{G}{A_t} = \frac{G}{L_1 \cdot L_2}$$

$$V = \frac{0,0000667}{0,25 \cdot 0,25}$$

$$V = 0,001 \text{ m/s}$$

Se considera que la velocidad del agua no cambia con el aumento de la temperatura, se sustituye estos datos en la ecuación 3.19:

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D_c}{\mu} = \frac{1000 \cdot 0,001 \cdot 0,0065}{1,002}$$

$$Re = 0,006$$

Como $Re < 2100$ se demuestra que el flujo se comporta de forma laminar [9]. Para calcular el número de Prandtl se emplea la ecuación 3.21:

Ecuación 3.21 Número de Prandtl

$$Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{k}$$

$$Pr = \frac{4181,8 \cdot 1,002}{0,5984}$$

$$Pr = 7002,28$$

El valor característico del número de Prandtl para el agua es 7, cuando Pr es pequeño significa que el calor se difunde muy rápido comparado con la velocidad [19], lo cual en nuestro caso es todo lo contrario, el calor se difunde muy lento comparado con la velocidad.

Ahora si se aplica la ecuación 3.18 con todos los valores calculados.

$$h = 0,664(0,006)^{\frac{1}{2}}(7002,28)^{\frac{1}{3}}\left(\frac{0,5984}{0,0065}\right)$$

$$h = 0,664$$

Reemplazando valor se obtiene un valor de:

$$h = 90,588 \left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$$

Una vez conocido h se procede a utilizar la ecuación 3.22 que corresponde al calor absorbido, de siguiente forma:

Ecuación 3.22 Calor absorbido

$$q_{absorbido} = h\pi dL_t(T_W - T_\infty)$$

Por una parte se ha calculado el flujo de calor que extrae el refrigerante al perfil con la ecuación 3.22; sin embargo se necesita conocer la cantidad de calor que se extrae del perfil para lograr un buen manejo, es así que se hace uso de otra herramienta para el cálculo de dicho flujo, se emplea la ecuación 3.23.

Ecuación 3.23 Calor cedido

$$q_{cedido} = \dot{m}C_p(T_i - T_f)$$

En la Tabla 3.6 se muestra las propiedades del polietileno de alta densidad (HDPE).

Tabla 3.6 Propiedades del HDPE

Q (m^3/s)	ρ (kg/m^3)	C_p ($J/kg \cdot ^\circ C$)	T_i ($^\circ C$)	T_f ($^\circ C$)	D_p (m)
0,00000496	930	1800	210	75	0,0065

Usando los valores de la tabla 3.7 se reemplaza en la ecuación 3.23, siendo $\dot{m} = Q\rho$ se obtiene:

$$q_{cedido} = 0,00000496 \cdot 930 \cdot 1800 \cdot (210 - 75)$$

$$q_{cedido} = 1120,91 \text{ W}$$

Se iguala la ecuación 3.22 y ecuación 3.23, se observa que los flujos de calor son iguales para lograr un buen manejo del perfil. Luego se despeja L_t (longitud de la tina) donde se obtiene la ecuación 3.24:

Ecuación 3.24 Longitud de la tina

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

Por último al reemplazar los valores obtenidos y considerando que la temperatura de agua de enfriamiento es 17 °C se tiene:

$$L_t = \frac{0,00000496 \cdot 930 \cdot 1800(210 - 75)}{90,588 \cdot \pi \cdot 0,0065(210 - 17)}$$

$$L_t = 3,28 \text{ m}$$



Figura 3.10 Tina de enfriamiento para la fabricación de mangueras

En la Fig. 3.10 se observa la tina de enfriamiento calculada, ésta además posee una base ajustable, para variar la altura de la tina y poder acoplar con la extrusora y la máquina

tensora de manera sencilla y práctica, este proceso se recomienda hacerlo antes del llenado de la tina de enfriamiento.

3.4.3. TORRE DE ENFRIAMIENTO

Las torres de enfriamiento son equipos que se usan para enfriar agua en grandes volúmenes porque, son el medio más económico para hacerlo, si se compara con otros equipos de enfriamiento como los cambiadores de calor donde el enfriamiento ocurre a través de una pared.

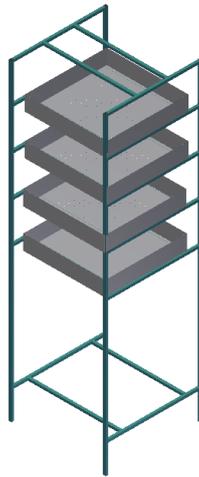


Figura 3.11 Torre de enfriamiento

Donde se desea enfriar agua desde una temperatura de 43,3 °C hasta 29,4 °C en una torre de enfriamiento de agua empacada, trabajando a contracorriente con un flujo de aire húmedo de 15000 m³/h. Se desea que en la torre la velocidad de flujo de aire sea de 1,356 kg de aire/s · m². El aire de entrada tiene 29,4 °C y una temperatura de bulbo húmedo de 23,9 °C.

El coeficiente de transferencia de transferencia de masa es

$$k_G a = 1,207 \cdot 10^{-7} \text{ kmol/s} \cdot \text{m}^3$$

$$P a = \frac{h_L a}{k_G a \cdot M_B \cdot P} = 4,187 \cdot 10^3$$

Si la torre opera a una presión de $P = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ se procede a calcular la altura máxima, con los datos expuestos en la figura 3.12.

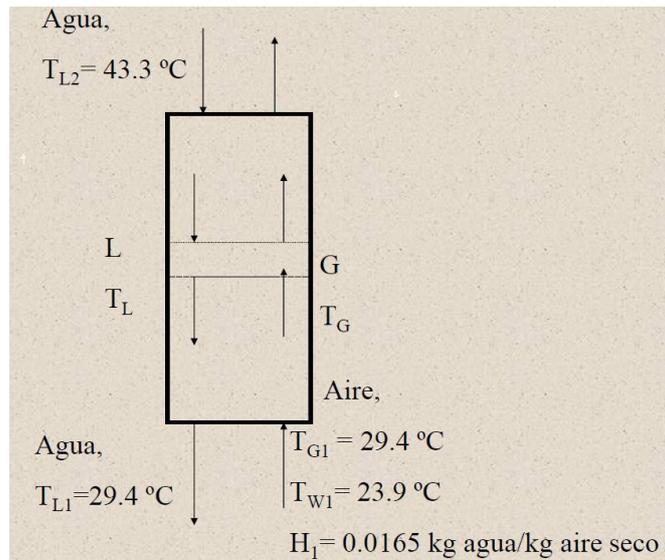


Figura 3.12 Esquema de la torre a diseñar

Para el diseño de la torre se emplea la ecuación 3.25.

Ecuación 3.25 Calculo de la altura de la torre de enfriamiento

$$z = \frac{G}{M_B \cdot k_G a \cdot P} \int_{H_{Y1}}^{H_{Y2}} \frac{dH_y}{H_{yi} - H_y}$$

Aplicando estos datos en la ecuación 3.25, se obtiene [20]:

$$z = \frac{1,356}{(65,11)(1,207 \cdot 10^{-7})(1,013 \cdot 10^5)} \quad (1,82)$$

$$z = 3,10 \text{ m}$$

Por lo tanto la altura mínima de la torre es ser 3,10 m. Con este valor se procede a diseñar la torre de enfriamiento, otro dato que hay que considerar es la altura de la tina de enfriamiento, ya que se desea que la recirculación del agua sea por medio de la gravedad, para reducir costos y no emplear más bombas hidráulicas.

Luego se procede a la colocación de tres recipientes perforados, estos ayudan a evitar el derramamiento excesivo de agua y aumentar la eficacia de enfriamiento. Estos se colocan uno encima del otro y al final se dispone de un recipiente sin perforar, el cual está conectado mediante tubería hacia la tina de enfriamiento, donde el agua completa su ciclo. Para la ubicación del recipiente final se dispone de manera tal que esté por encima de la

tina de enfriamiento, para que el agua circule por efecto de la gravedad, los demás recipientes se ubican distribuyéndolos uniformemente en la estructura de la torre, tal como se observa en la figura 3.13.



Figura 3.13 Ubicación de los recipientes en la torre de enfriamiento

3.4.4. SELECCIÓN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

El tanque es suficientemente grande para cubrir las diferencias entre el volumen mínimo de agua del sistema y el volumen de los componentes instalados.

El tanque de almacenamiento actúa como un depósito adicional a la tina de enfriamiento, se ubica en sitios donde el agua no se contamine, para ello se dispone de dos tipos: cerrado o abierto. El tipo cerrado permite eliminar menos contaminación, pero se reduce el tiempo de enfriamiento del agua. Mientras que el tipo abierto está expuesto a mayor contaminación, pero el enfriamiento y oxigenación del agua es mayor, es recomendable optar por este tipo de depósito por su mayor eficacia, pero para evitar la contaminación del agua se instala filtros adecuados.

Para calcular la capacidad mínima del tanque, se toma como medida el volumen de la tina de enfriamiento.

CALCULO DEL VOLUMEN DE LA TINA DE ENFRIAMIENTO

Se tiene las siguientes dimensiones de la tina de enfriamiento:

largo: $L = 3,10 \text{ m}$, ancho: $A = 0,25 \text{ m}$ y altura: $H = 0,25 \text{ m}$

El volumen viene dado por la ecuación 3.22:

Ecuación 3.26 Volumen de la tina de enfriamiento

$$V = L * A * H$$

$$V = (3,10m)(0,25 m)(0,25 m)$$

$$V = 0,194 m^3$$

Por lo tanto se debe seleccionar un tanque de almacenamiento cuyo volumen sea el doble del volumen de la tina de enfriamiento, ya que cuando se quiera vaciar la tina de enfriamiento, el tanque de almacenamiento debe ser capaz de contener todo el volumen de agua del sistema de enfriamiento.

$$V_T = 2 V$$

$$V_T = 2 \cdot 0,194 m^3$$

$$V_T = 0,388 m^3 \cdot \frac{1000 l}{1m^3}$$

$$V_T = 388 l$$

Es decir el tanque de almacenamiento debe tener un volumen mayor a 0,388 m³ o 388 litros, por lo que se selecciona un tanque de este valor permite que cuando se hace la limpieza o mantenimiento del sistema, toda el agua que contiene la tina de enfriamiento pasa a al tanque de almacenamiento, evitando su desperdicio.

En definitiva el sistema de refrigeración forma un circuito cerrado, donde el agua pasa de la tina de enfriamiento hacia el tanque de almacenamiento, luego a la torre de enfriamiento para volver a repetir el ciclo de trabajo. El agua se calienta en la tina de enfriamiento al contacto con la manguera, de aquí el agua pasa al tanque de almacenamiento donde realiza un intercambio de calor al mezclarse con el agua fría almacenada, a continuación por medio de una electrobomba el agua del tanque es bombeada hacia la torre, donde se enfría al contacto con el aire y se oxigena, para finalmente volver a la tina con una temperatura óptima para enfriar.

3.5. SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD

3.5.1. SELECCIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA

Se procede a seleccionar el variador de frecuencia para el motor cuyas características se presentan en la tabla 3.7 [21].

Tabla 3.7 Hoja de datos del motor a usarse

Fabricante	Motori
Tipo	Motor asíncrono trifásico
Serie	Serie M, 4 polos (80 84)
Voltaje - Frecuencia	230/460 V – 60 Hz
Potencia	0,75 kW
Velocidad	1690 rpm
Corriente Nominal	1,6 A
Rendimiento	76 %
Factor de Potencia ($\cos \varphi$)	0,77
Peso	9,3 kg
Insolación	Clase F
Protección	IP 55

El variador a emplearse es un Delta VLF-L cuyas principales características son:

- Potencia 0.75 kW
- Filtro RFI incorporado
- Frecuencia de salida de hasta 400Hz
- Dimensiones muy compactas
- Potenciómetro incorporado al panel de programación
- Motor muy silencioso (frecuencia portadora hasta 10kHz)
- Rampas en “S” (7 niveles a escoger)
- Comunicación MODBUS de serie, Profibus-DP: opcional
- Rearme “al vuelo”, tras fallo momentáneo en la red

- Aceleración/deceleración automáticas
- Compensación de deslizamiento
- Ciclo automático programable de velocidades/tiempos
- Preparado para montaje sobre rail DIN

El variador VFD-L dentro de su reducido tamaño (132x168 mm) y mínimo peso (0,8 kg) posee avanzadas prestaciones para el control de motores asíncronos. En la figura 3.14 se observa el conexionado básico del variador de frecuencia.

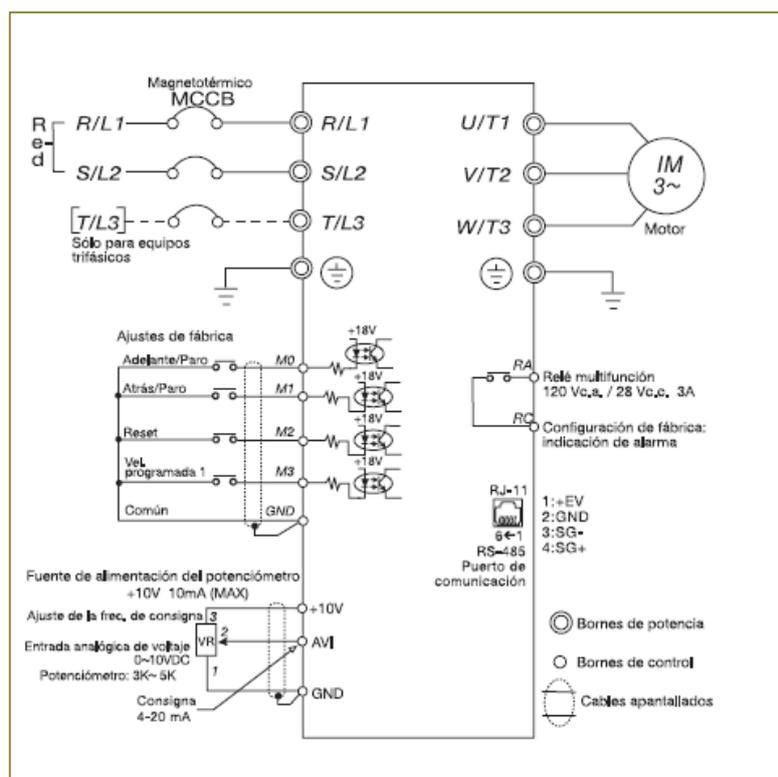


Figura 3.14 Conexionado del VDF-L [10]

La forma de programar parámetros esta racionalizada en los variadores VFD-L, gracias a que están agrupados por funciones en nueve bloques. Cada bloque tiene, como máximo 20 parámetros. Este agrupamiento en bloque permite un rápido acceso al parámetro que se desee modificar, ahorrando un tiempo considerable.

3.5.2. SELECCIÓN DEL CABLEADO DE SISTEMA DE CONTROL

Una vez obtenido el variador de frecuencia con el que se va a trabajar, se procede a seleccionar el cableado del sistema. En el anexo 2.1 se muestra el cableado sugerido por

el fabricante, para cableado principal se sugiere 12-20 AWG y para el cableado del circuito de control 22-24 AWG.

Se selecciona como cableado principal el cable 14 AWG y para el circuito de control 22 AWG.

3.5.3. SELECCIÓN DEL DISYUNTOR

Una vez seleccionado el tipo de cable a utilizar, se procede a seleccionar el disyuntor en base al anexo 2.4 donde se muestra la capacidad de corriente de los cables. Se observa que para el cable 14 AWG, de tipo tripolar, se tiene una corriente de 15 A, por lo tanto, se procede a seleccionar un disyuntor que funcione con menor amperaje para que realice su función de protección. En el anexo 2.6 el disyuntor elegido es el BKR B13A cuya corriente de trabajo de 13 A es menor a la corriente máxima que soporta el cable 14 AWG.

Se aplica el mismo procedimiento para el cable para el circuito de control 22 AWG, de esta manera el disyuntor elegido es el BKR B3A.

3.5.4. SELECCIÓN DEL CONTACTOR

Para seleccionar el contactor se utiliza la corriente nominal del motor, cuyas características se encuentran en la tabla 3.7. Usando el anexo 2.7 se selecciona el contactor GMC 6, con el anexo 2.6 se selecciona la categoría AC3 para control de motores de jaula de ardilla que se apagan en plena marcha. Se aplica el mismo procedimiento para seleccionar el contactor para la electrobomba del anexo 3, por lo tanto el contactor a usar es el GMC 9.

3.5.5. CIRCUITOS DE MANDO Y FUERZA

En la figura 3.15 se muestra el circuito para el control del motorreductor de la máquina tensora, y en la figura 3.16 se muestra el de la electrobomba del sistema de refrigeración.

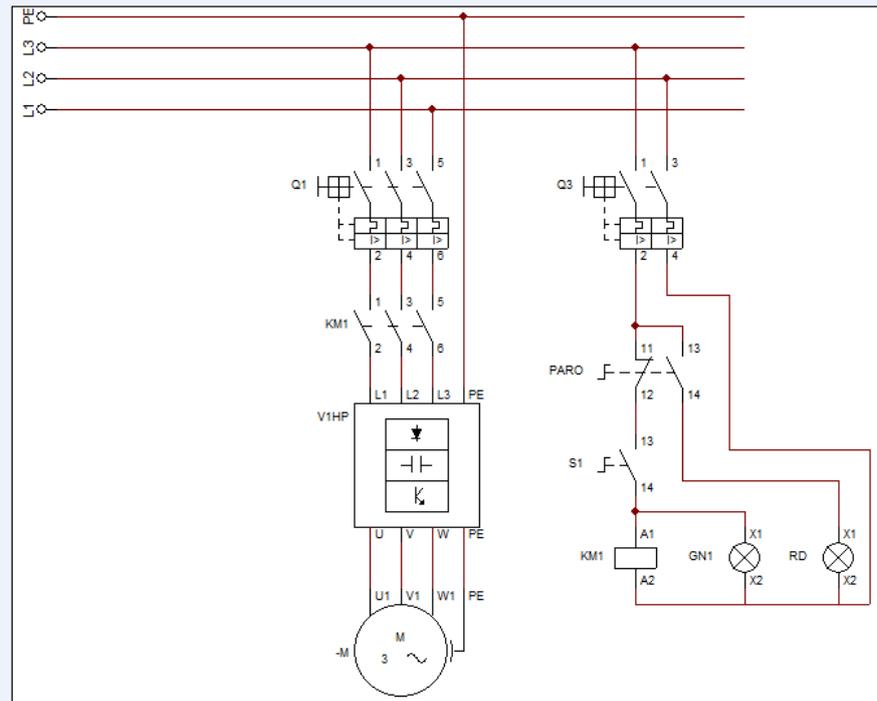


Figura 3.15 Circuito de mando y fuerza para el motorreductor

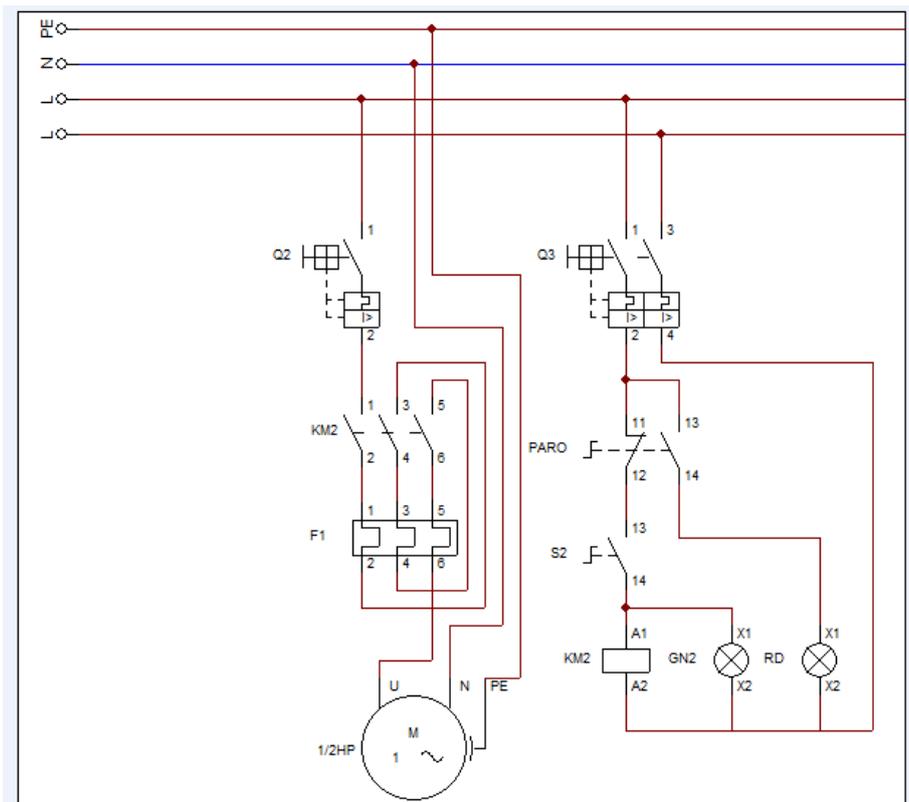


Figura 3.16 Circuito de mando y fuerza para la electrobomba

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS

4.1. PUESTA A PUNTO DE LA MAQUINARIA

4.1.1. EXTRUSORA

Para realizar las pruebas de funcionamiento, en primer lugar se conoce, las características mecánicas y eléctricas de la máquina extrusora, para poder operar adecuadamente. Se conoce la potencia, voltaje y amperaje nominales, si cuenta o no cuenta con reductor de velocidad, todo esto es importante ya que determinan la velocidad de giro del husillo, la cual determinará entre otras cosas, la velocidad de extrusión del perfil. También es importante conocer para que tipo de materiales está diseñada, ya que las temperaturas máximas que alcanza, limitan los diferentes tipos de materiales a extruir. Otra limitante es el tipo de dado, ya que si los refuerzos con los que se desee trabajar sobrepasan el diámetro de la boquilla, se dará una obstrucción del material procesado a la salida del dado.

Previo al encendido de la extrusora se toma en cuenta las condiciones de operación inicial.

La temperatura del ambiente entre 15 y 45 °C, la humedad del ambiente influye en la operación, ésta es aproximadamente de un 20% a un 80% (humedad relativa) [14].

La extrusora se encuentra lejos de lugares corrosivos e inflamables, lejos de solventes orgánicos y el lugar tiene una alta iluminación.

El material a procesar posee las propiedades deseadas antes de ingresar a la tolva, la materia prima tiene un 30% de polietileno de alta densidad y un 70% de polietileno de baja densidad más el protector UV que es el pigmento.

Procedimiento de encendido

La extrusora tiene un interruptor general en la parte externa del panel de control, antes de activar el interruptor todos los dispositivos de la extrusora; como resistencias, compresor, etc., están apagados. A continuación se enciende el interruptor general.

Se activa los selectores para encender pirómetros de temperatura del sistemas de extrusión, que se encuentran distribuidos en la extrusora verificando en el panel de control el amperaje de cada uno.

Se verifica que el sistema de enfriamiento con agua esté funcionando, para impedir la fundición de plástico a la entrada de la tolva y el paso de temperatura hacia los rodamientos, esto reduce su vida útil.

Verificar en los pirómetros el valor correspondiente a la temperatura deseada a lo largo de la zona de calefacción.

Los sistemas de extrusión se calientan, hasta llegar a la temperatura graduada en el pirómetro, aproximadamente de 40 a 60 minutos.

Cuando los sistemas de extrusión han alcanzado la temperatura de operación, esperar aproximadamente 10 minutos para asegurar cada temperatura.

Corroborar la dirección de rotación de cada motor antes de operar, luego se verifica si la extrusora ha alcanzado la temperatura de operación.

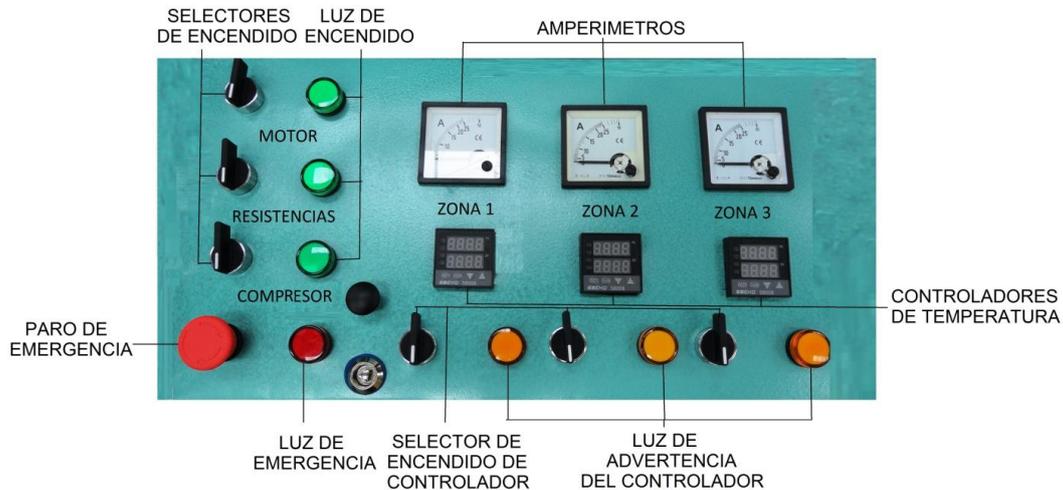


Figura 4.1 Tablero de control de la extrusora

4.1.2. SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

Antes de llevar a cabo el llenado de la tina de enfriamiento y del tanque de almacenamiento, se realiza una limpieza exhaustiva de los equipos y revisar las conexiones de tubería, luego se procede a su llenado, este proceso toma su tiempo. La tina se llena completamente hasta que el agua alcanza la altura de los orificios de desagüe,

donde se procede al llenado del tanque de almacenamiento. Es muy importante tapar los orificios de entrada y salida de la manguera en la tina de enfriamiento ya que el agua pasará a llenar el tanque de almacenamiento al momento de alcanzar el nivel de estos orificios.

Se verifica que el tanque de almacenamiento se llene a la mitad de su capacidad, para ello es recomendable tener señalización del nivel del tanque.

Cuando la operación de llenado termina, se procede al encendido de la electrobomba, el sistema posee una llave de paso para regular la cantidad de flujo, la operación de esta llave es manual, se regula de tal manera que el nivel de agua en la tina se mantenga constante.

4.1.3. SISTEMA DE TENSADO

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

En primer lugar se verifica que el interruptor general de la planta se encuentre desactivado.



Figura 4.2 Tablero de control

En la figura 4.2 se observa el tablero de control del motorreductor de la máquina tensora y la electrobomba del sistema de enfriamiento. El paro de emergencia por seguridad está activado, el indicador del mismo no emitirá luz alguna ya que esto sucederá una vez que el dispositivo se conecte a la corriente eléctrica.

La perilla del variador está en el mínimo valor del intervalo que ésta permita, de este modo, los hercios que el variador entregue al conectar la máquina tensora serán los mínimos establecidos.

Antes de proceder al arranque de la plata, se realiza una inspección rápida del estado de la maquinaria y del tablero de control, se observa fugas de líquidos, estado de los rodillos, que los elementos electrónicos se encuentren limpios, sin derrame de algún líquido, que los cables no estén rotos o descubiertos, etc.

A continuación se procede con la puesta en marcha para operar la máquina tensora, los pasos se describen a continuación:

1. Conectar el interruptor general de encendido de la planta.
2. Asegurarse que el botón de paro de emergencia no esté activado.
3. Activar el interruptor de encendido del motor.
4. Incrementar la frecuencia suministrada al motor a través de la perilla del variador de frecuencia hasta alcanzar la velocidad de tiro.

Realizado este procedimiento el sistema de tensado se encuentra funcionando adecuadamente para comenzar el proceso de extrusión.

En la figura 4.3 se indica ordenada y simplificada el orden de los pasos, descritos anteriormente, para la puesta a punto del sistema de tensado.

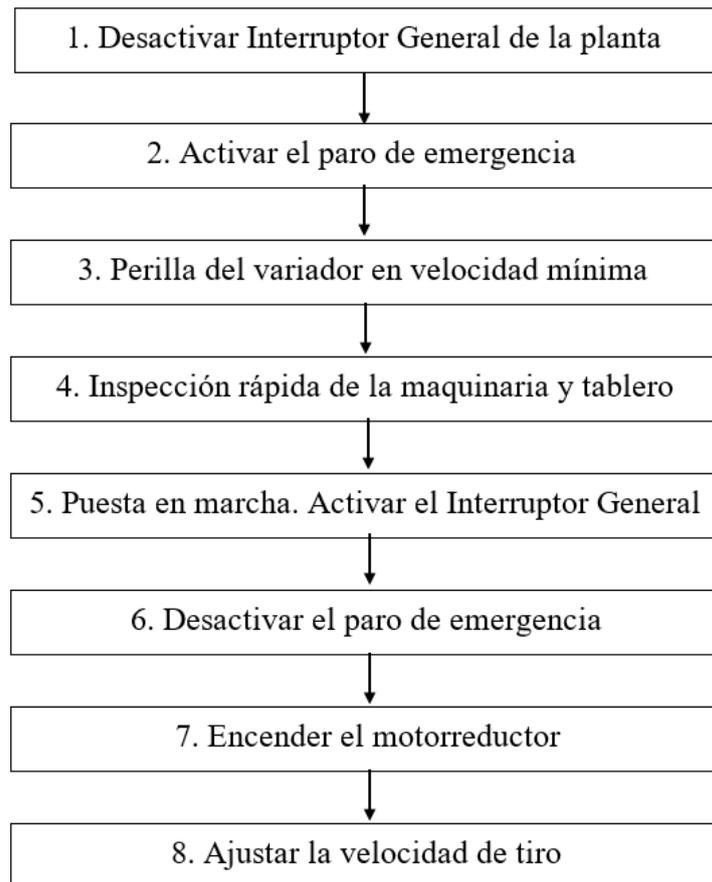


Figura 4.3 Puesta a punto de la máquina tensora

4.2. PRUEBAS

4.2.1. SEGURIDAD

En una línea de conformado de plásticos, se tiene en cuenta que se trabaja con material a alta temperatura, pues su manejo implica que éste se encuentre en su punto de fusión. Si se presenta algún percance, se cuenta con la vestimenta y equipo adecuado para solucionarlo.

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

- Guantes de carnaza
- Zapatos industriales resistentes a altos impactos
- Ropa

- Lentes protectores
- Herramienta en general

4.2.2. PRUEBAS Y EXPERIMENTACIÓN

En la puesta en marcha de la máquina, se utilizó polietileno de baja densidad con un perfil de temperaturas dentro del husillo de 110 °C en la zona de alimentación, 150 °C en la zona de compresión, 170 °C en la zona de dosificación y 180 °C en la zona del dado [14].

Condiciones previas

Con la máquina tensora instalada en la línea de extrusión se realizaron las primeras pruebas de tiro para un polietileno de baja densidad, LDPE, con las características mostradas en la tabla 4.1.

Tabla 4.1 Características del polietileno para pruebas

Polietileno alta densidad grado extrusión		
Grado	Índice de fluidez	Densidad
PAD 56050	5 g / 10 min	0,9665 g/cm ³

Es importante que el material se someta a un proceso de triturado previo a ingresar a la tolva de la extrusora, así se precalienta y obtiene una mejor materia prima para el proceso de extrusión. El procesamiento del material se lleva a cabo mediante un perfil de temperaturas mostrado en la tabla 4.2. La selección de estas temperaturas se tomó con base en la viscosidad del polietileno utilizada en los cálculos del capítulo 3 del presente trabajo.

Tabla 4.2 Perfil de temperaturas para pruebas

Perfil de temperaturas (°C)			
Alimentación	Compresión	Dosificación	Dado
110	150	170	180

El proceso empieza con el arranque de la extrusora, se recomienda activar las resistencias antes de encender la extrusora, ya que suele quedar material solidificado del proceso anterior, esto atasca al motor y daña el tornillo de la extrusora. Una vez la camisa de la extrusora ha alcanzado su temperatura de funcionamiento, se procede a colocar la materia prima en la tolva de la extrusora y encender el motor.

En la figura 4.4 se observa el guiado de la manguera a la tina de enfriamiento, se tiene en cuenta que el material proveniente de la extrusora se encuentra a una temperatura de 180 °C, por lo que se manipula con mucho cuidado para evitar quemaduras, este material se lo enrolla rápidamente formando una masa capaz de pasar por el orificio de entrada de la tina de enfriamiento, este proceso requiere mucha práctica.

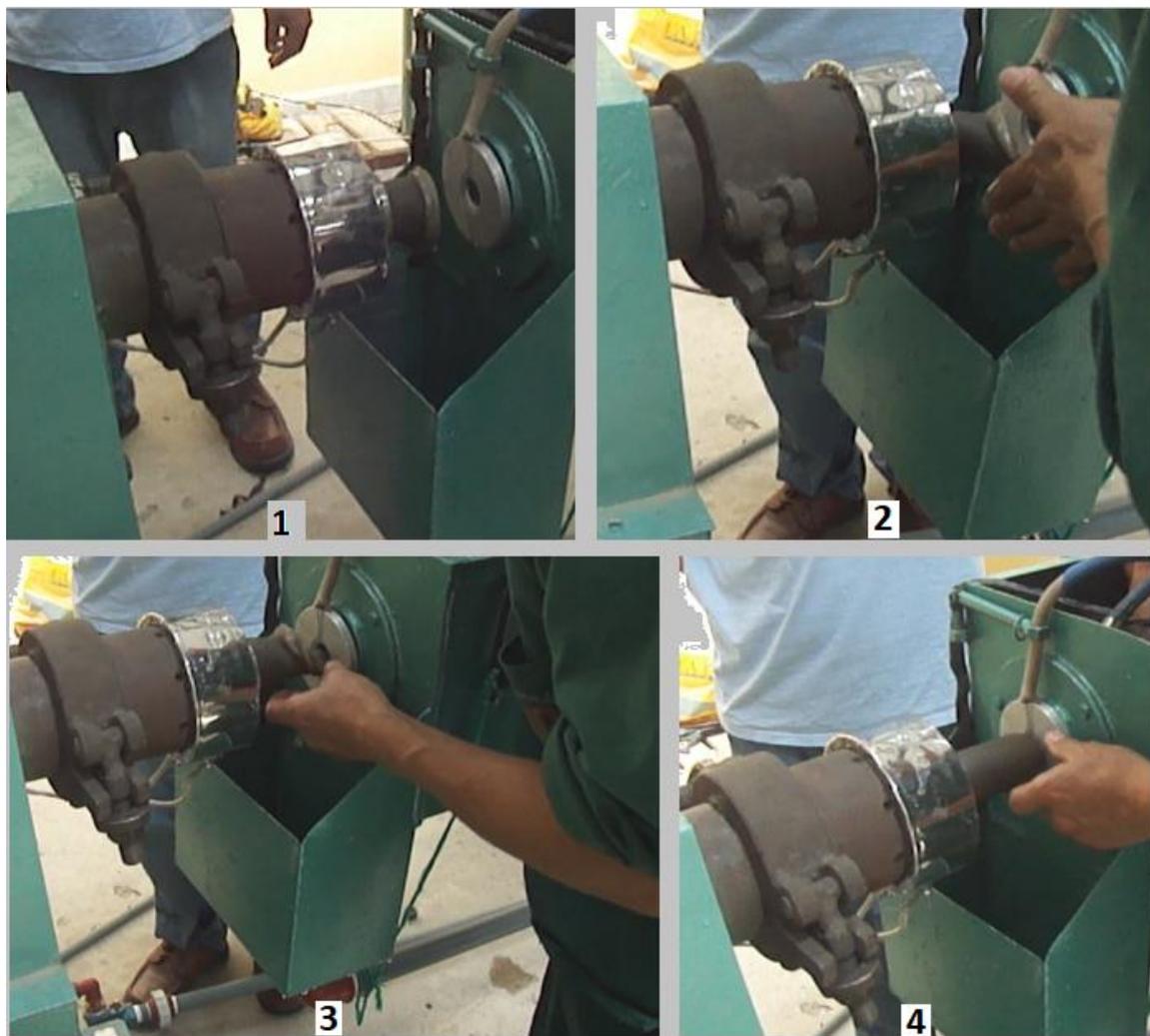


Figura 4.4 Guiado de la manguera a la tina

Es importante la regulación de presión del compresor, ya que si ésta es elevada como se observa en la figura 4.5(a) la manguera tiende a inflarse y reventar, produciendo agujeros en el perfil. Por otro lado, si la presión es muy baja como en la figura 4.5(b), la manguera no se forma su diámetro interior, resultando en fugas de agua por el orificio de entrada de la tina de enfriamiento.



Figura 4.5 Comportamiento del perfil extruido al variar la presión

Luego la manguera es guiada a lo largo de la tina de enfriamiento, pasando por los anillos guías, como se muestra en la figura 4.6. Al final se hace pasar por el orificio de salida de la tina.

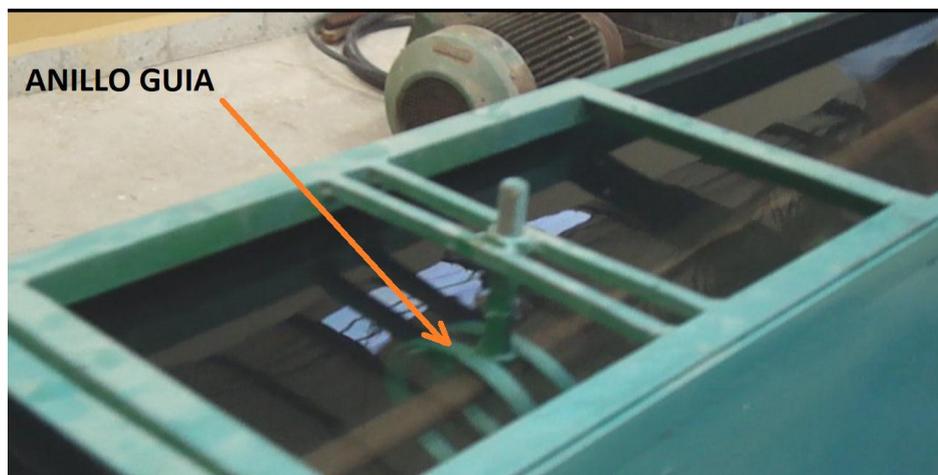


Figura 4.6 Guiado de la manguera a través de la tina

A continuación se procede a conectar la manguera con la máquina tensora, para ello se procede a guiar a través de los rodillos de ajuste lateral, pasando por los rodillos de arrastre y culminando en la guía en Y.

Se regula el ajuste de presión de los rodillos superiores para que ejerzan presión sobre la manguera y ésta sea arrastrada a una velocidad constante.

Una presión adecuada garantiza la adherencia de la manguera sin deformarla, como se muestra en la figura 4.7 (a); mientras que si la presión es excesiva, figura 4.7 (b), el perfil resultante sale aplanado.



Figura 4.7 Presión de ajuste de la máquina tensora

La velocidad de tiro es regulada mediante la perilla del variador de frecuencia, dependiendo de esta velocidad variará el ancho del perfil resultante. Una vez hecho esto, el proceso se vuelve automático, es importante que la materia prima no falte en la tolva de la extrusora. Finalmente, el producto obtenido se procede a medirlo y enrollarlo para su comercialización.

Cuando el ciclo de trabajo ha finalizado, se apaga el motor de la extrusora y se deja que la máquina tensora siga jalando, hasta que el material deje de fluir en la boquilla del dado. Se desconecta la electrobomba y se tapa los orificios de entrada y salida de la tina de enfriamiento. Se deja a la máquina tensora en el estado inicial establecido. Se apague las resistencias de la extrusora y se desconecta la alimentación de la maquinaria.

4.3.RESULTADOS

Se realizaron 4 pruebas de tiro en el proceso de extrusión variando la frecuencia [Hz] suministrada al motor. A medida que la velocidad de tiro aumentaba, por incremento de la frecuencia, se redujo el efecto de *hinchamiento*, dando así una variación en el diámetro del perfil tal como se muestra en la tabla 4.3.

Tabla 4.3 Pruebas de tiro con la máquina tensora

Prueba #	Frecuencia (Hz)	Velocidad de tiro (m/s)	Diámetro del perfil (mm)
1	30	0,32	0,10
2	40	0,41	0,087
3	50	0,48	0,075
4	60	0,59	0,063

En la figura 4.8 se muestra la gráfica de los resultados obtenidos en la tabla 4.3, en el capítulo 3 se determinó la velocidad de extrusión para el dado anular (dado con el cual se realizaron las pruebas), ésta fue de 0.30 m/min con un diámetro a la boquilla de 0,065 m. El punto P representa las coordenadas de los parámetros bajo los cuales se diseñó la máquina tensora.

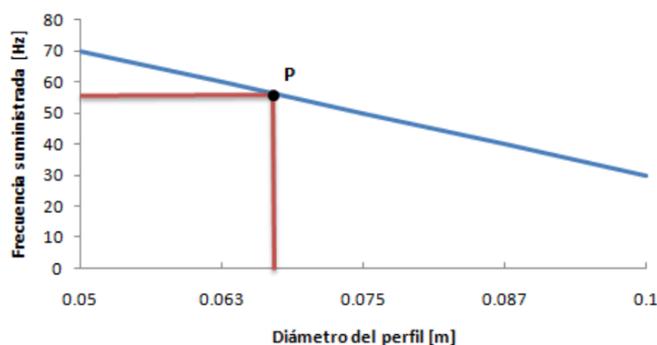


Figura 4.8 Diámetro del perfil en función de la frecuencia

Finalmente, se comprueba que el diámetro final del perfil halado por la máquina tensora, programado en la frecuencia de la ecuación 2.1, corresponde al diámetro de la boquilla y en consecuencia, del adecuado funcionamiento del dispositivo fabricado.

En la figura 4.9 se visualiza los perfiles obtenidos en las diferentes pruebas, donde se observa las dimensiones reales de los perfiles extruidos.

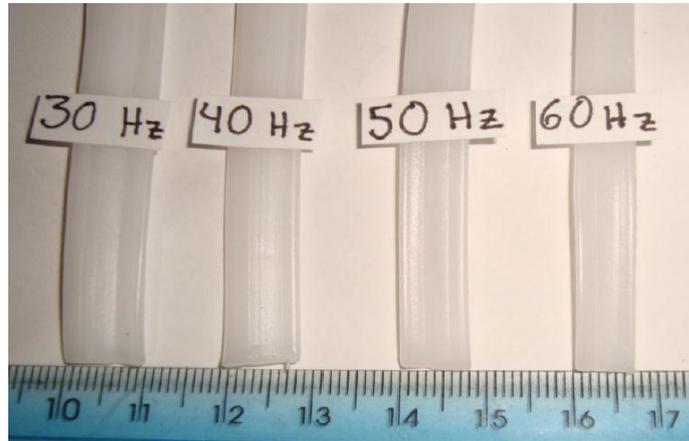


Figura 4.9 Vista de los perfiles resultantes en cm

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

1. La construcción de la máquina tensora y tina de enfriamiento redujo la contaminación ambiental, al utilizar el material reciclado en la producción de mangueras.
2. La fabricación de manguera con plástico reciclado es una opción factible a realizar, ya que es un medio de generación de ingresos.
3. Se obtiene un producto uniforme de buena calidad mediante el diseño y construcción de la máquina tensora, que cumple con los requerimientos de halado del producto de forma constante. Posee varios mecanismos que hacen fácil la operación y mantenimiento de la misma.
4. El enfriamiento del producto extruido, con el diseño y construcción de la tina de enfriamiento, se consigue un producto sólido, apto para ser halado por la máquina tensora.
5. La regulación del grosor del diámetro de la manguera al variar la velocidad de tiro, bajo el diseño y construcción del sistema de control de velocidad empleando un variador de frecuencia.
6. El estudio de mercado bajo una tabla comparativa de los diversos dispositivos de arrastre, determina la selección de componentes con el fin de economizar la manufactura y construcción del dispositivo en cuestión.
7. La manguera producida cumple con los requisitos de buena calidad y no presenta perforaciones, óptima para usarse para instalaciones eléctricas.

5.2. RECOMENDACIONES

1. Utilizar materiales y piezas de buena calidad para la construcción de la maquinaria, aunque suponen un costo mayor de construcción en corto plazo; resulta beneficioso a largo plazo ya que se reducen paradas de producción o cambio de piezas.
2. Respetar las paradas destinadas a mantenimiento para evitar averías o paradas no programadas en la producción.
3. Todo operario debe conocer el manual de operación de las máquinas y usar la debida ropa de trabajo, para evitar accidentes laborales.
4. Se recomienda una revisión semanal del sistema de enfriamiento, agregar la cantidad necesaria de agua a fin de mantener constante su nivel, ya que se reduce debido a evaporación.
5. Se obtienen diferentes tamaños de mangueras, simplemente cambiando los perfiles de la boquilla tanto de la extrusora como de la tina de enfriamiento.
6. Reutilizar todo el material de desperdicio que se genera en la producción inicial, es recomendable además de la maquinaria necesaria para el proceso de extrusión, se cuente con una trituradora.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. M. Arandes, J. Bilbao y D. López Valerio, «RECICLADO DE RESIDUOS PLÁSTICOS,» *Revista Iberoamericana de Polímeros*, vol. 5, pp. 1-18, 2004.
- [2] M. Cruz y A. Loaeza, Diseño y manufactura de un carro de arrastre para una máquina de extrusion, Mexico D.F., 2012.
- [3] E. Gómez y W. Hoyos, Creacion de una empresa dedicada a la manufactura de manguera de riego a partir de plástico recuperado, Bucaramanga, Colombia, 2010.
- [4] A. Navarrete y C. Villarreal, Sistema de moldeo a inyección estilo lineal para una extrusora de plástico reciclado, Ibarra, 2013.
- [5] W. Guangasi y G. Tixilema, Diseño y construcción de un puller automático doble para la extracción de tubería de PVC en la empresa FlexiI & Rigid, Ambato, 2016.
- [6] J. Cruz, Diseño de jaladora de banda para línea de extrusión No. 7, Jocotitlán, Mexico, 2011.
- [7] J. Arandes, J. Bilbao y D. López, «Reciclado de residuos plásticos,» *Revista Iberoamericana de polímeros*, vol. 5, pp. 1-18, 2004.
- [8] I. Beltran, Tecnología de polímeros, Alicante, España, 2001.
- [9] V. K. Savgorodny, Transformación de plásticos, Barcelona: Gustavo Gili, 1978.
- [10] Delta Group, *VFD-L Series. User Manual*, Taiwan, 1971.
- [11] «Directyindustry,» 2010. [En línea]. Available: <http://www.directindustry.es/prod/tecnomatic/banos-de-enfriamiento-para-extrusion-de-tubos-y-de-perfiles-28800-382831.html>. [Último acceso: 27 Abril 2017].
- [12] A. Moscoso, «El reciclaje. Ilustre Municipio de Ibarra,» Ibarra, Ecuador, 2011.
- [13] F. Abarza, «Abarza,» [En línea]. Available: <https://abarza.wordpress.com/2012/07/01/investigacion-aplicada-vs-investigacion-pura-basica/>. [Último acceso: 2 Junio 2017].
- [14] A. R. Proaño, Máquina extrusora con soplado continuo para fabricación de mangueras de 1/2 pulgada con plástico reciclado, Ibarra, 2013.
- [15] R. Mott, Diseño de elementos de máquinas, Mexico D.F.: Pearson Education, 2006.

- [16] R. L. Mott, *Diseño de elementos de máquinas*, Mexico D.F.: Pearson Education, 2006.
- [17] R. Budinas y K. Nisbelt, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, Mexico DF: McGraw-Hill, 2012.
- [18] Y. Cengel, *Transferencia de calor y mas*, Mexico DF: McGraw-Hill, 2007.
- [19] A. E. N. Silva, *SISTEMA DE MOLDEO A INYECCIÓN ESTILO LINEAL PARA UNA EXTRUSORA DE PLÁSTICO RECICLADO*, Ibarra, 2013.
- [20] CSM Motori S.p.A., *General Catalogue*, Italy, 2007.
- [21] C. José, 2002.
- [22] D. Montalvo, 2012. [En línea]. Available: <http://agroforestaljaen.com/riego/riego2/>.
- [23] R. Guillen, J. Pérez y L. Gonzáles, *Estudio termotécnico de torres de enfriamiento autoventiladas*, Barseelona: Gustavo Gili, 1973.
- [24] Prezi, «Prezi.com,» 2017. [En línea]. Available: <https://prezi.com/9tub1wnnlbxz/residuos-solidos-plasticos/>. [Último acceso: 3 Marzo 2017].
- [25] R. Guiller, *Estudio termotécnico de torres de enfriamiento autoventiladas*, Barseelona: Gustavo Gili, 1973.
- [26] Munsch, *Extruder operation manual*, Germany, 2012.
- [27] D. Rojas, 2010. [En línea]. Available: <http://es.scribd.com/doc/86818239/Diseño-de-jaladora-de-banda-para-linea-de-extrusion>.

ANEXOS

ANEXO I. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

OPERACIÓN

ENCENDIDO

Previo al encendido de la se toma en cuenta las condiciones de operación.

La máquina se encuentra lejos de lugares corrosivos e inflamables, lejos de solventes orgánicos y el lugar tiene una alta iluminación.

Procedimiento de encendido

1. La máquina tensora tienen un interruptor general en la parte externa del panel de control, antes de activar el interruptor todos los dispositivos de la máquina tensora están apagados. Encender el interruptor general.
2. Verificar el sistema de enfriamiento con agua este con el nivel adecuado. Encender la bomba.
3. Verificar que la circulación de agua entre la tina de enfriamiento y la torre de enfriamiento sea la deseada.
4. Activar el selector para encender el variador de frecuencia
5. Elegir la velocidad adecuada de trabajo de acuerdo al variador de frecuencia y encender el motor.
6. Guiar la manguera que sale de la extrusora por la tina de enfriamiento hasta luego llegar a la máquina tensora. Para ello usar la protección adecuada para evitar quemaduras, ya que la manguera al salir de la extrusora se encuentra a altas temperaturas, cuando la manguera alcanza la máquina tensora ésta ya se encuentra sólida y con una temperatura relativamente baja.

APAGADO

Para iniciar el apagado se hace el siguiente procedimiento:

1. Esperar que la extrusora deje de enviar material de trabajo.
2. Apagar el variador de frecuencia.
3. Apagar la bomba de agua después de que la extrusora se haya enfriado.
4. Apagar el interruptor principal

MANTENIMIENTO

SISTEMA MOTRIZ

Es el encargado de proporcionar el movimiento a la máquina tensora y a la recirculación de agua, está conformado por un motor, poleas, ruedas dentadas y una bomba.

MOTOR

El mantenimiento se realiza a cada 600 horas de operación o cada 3 meses, lo que ocurra primero, antes de realizarlo se desconecta la máquina.

La revisión prevé el desmontaje parcial o total o el cambio del motor e implica normalmente una interrupción programada de un determinado sector del servicio.

Para iniciar la inspección se toma en cuenta aquellas partes que son propensas a daños o desgaste.

Asegurarse que la alimentación de energía no exceda el amperaje nominal máximo del motor. Verificar que el ventilador tenga sus ventilaciones despejadas. El exceso de calentamiento del motor disminuye la eficiencia del mismo.

Verificar vibraciones, calentamiento fuera de lo común esto indica fallas del motor tales como remordimiento, sobretensión de la olea de salida, así como también obstrucción de los canales de ventilación.

Si estos síntomas son encontrados es necesario quitar el motor de funcionamiento y retirar la carcasa del mismo, para poder realizar una inspección detallada se verifica que:

- Los devanados que estén alineados.
- No haya ruptura de cables en el devanado.
- No haya suciedad en el interior.
- Los rodamientos no muestren su reemplazo.
- El eje está alineado.
- Ventilador limpio.

SISTEMA DE TRANSMICIÓN

Correa de transmisión

Para una inspección detallada se sigue los siguientes pasos:

1. Se inspecciona cada 24 horas.
2. Verificar vibraciones o calentamiento de la correa, esto afecta la vida útil de la correa.
3. Verificar si las poleas están alineadas.
4. Al momento de instalar las correas no ponerlas bruscamente es necesario hacerlo a mano y reduciendo la distancia entre centros de la polea por medio de un tonillo que se encuentra en la maquina tensora.
5. Verificar a tensión de la correa no sea elevada.

Cadenas

Las causas principales de los fallos son:

1. La Inspección de tensión no fue hecha cada 24 horas.

2. Desgaste de la cadena, o alargamiento provocando el daño en los piñones y salto de la cadena. Un deterioro de un eslabón provoca que la cadena trabaje mal.
3. Acumulación de suciedad y materias extrañas entre dientes.
4. Una cadena mal lubricada no trabaja con mayor suavidad y ayuda considerablemente a disminuir su vida útil.
5. los piñones estén en mal estado permitiendo la entrada incorrecta de los eslabones.

Rodamientos

- Revisar el rodamiento que se encuentre perfectamente ubicado, engrasado y sin gimotear. También se controla la temperatura de los mismos ya que una temperatura elevada quita la grasa del rodamiento y comienza a desgastar las bolas o rodillos.
- Los rodamientos se reemplazan cada 4800 horas si ya ha cumplido su vida útil.
- Las chumaceras se engrasan y los castigadores de los rodamientos se aprietan equitativamente, si hubiese huelgo o juego entre el eje y el rodamiento de la chumacera, el eje se envía a rectificar.

Rodillos de ajuste

- Revisar que los rodillos estén bien recubiertos con la alfombra que agarra a la manguera.
- Se observa que no hay juego entre el rodillo y el eje.
- También siempre se inspecciona que los rodillos estén bien alineados.
- El apriete de los rodillos no es excesivo a la manguera, se regula por medio del tornillo de ajuste ubicado en la parte superior de la máquina tensora.

SISTEMA ELÉCTRICO

- Se revisa cada 24 horas que el cableado este en perfectas condiciones así como sus terminales que estén bien ajustados.
- Se comprueba que los componentes: disyuntores, contactores, relé térmico y variador de frecuencia se encuentren limpios y en buen estado.
- Verificar que el voltaje sea el correcto para el trabajo del panel de control.
- Verificar que la bomba este su cableado fuera del agua para evitar cortocircuitos.

ANEXO 2. SISTEMA ELÉCTRICO

ANEXO 2.1 CARACTERÍSTICAS DEL VARIADOR DE FRECUENCIA

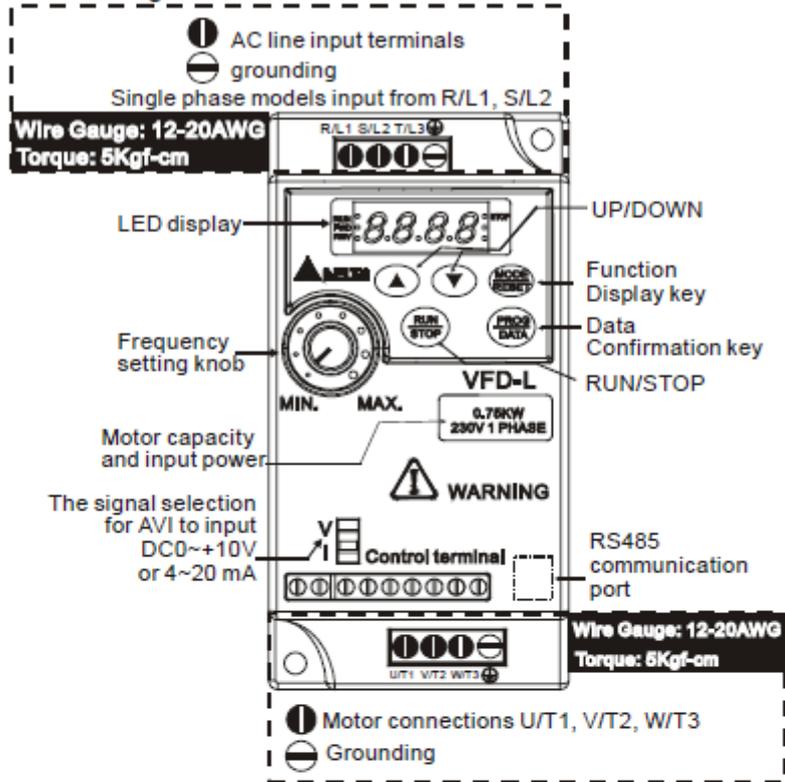
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS		SERIE L		
Clase de Voltaje		Clase 230 V		
Talla del equipo VFD- □□□ L21		VFD002L21B	VFD004L21B	VFD007L21B
Potencia Máx. de motor (kW)		0,2	0,4	0,75
Salida	Potencia aparente nominal (kVA)	0,6	1,0	1,6
	Corriente de salida nominal (A)	1,6	2,5	4,2
	Voltaje máximo de salida (V)	Proporcional al voltaje de entrada		
	Frecuencia nominal (Hz)	1,0 a 400 Hz		
Entrada	Corriente de entrada nominal (A)	4,9	6,5	9,7
	Voltaje / Frecuencia nominal	Monofásico - 180 a 264 Vac - 50/60 Hz		
	Filtro de RFI	incorporado		
	Tolerancia de frecuencia	± 5%		

Características del control	Sistema de Control	SPWM (Modulación sinusoidal por ancho de pulsos, frec. 3kHz-10kHz)		
	Resolución de la frecuencia de salida	0,1 Hz		
	Características del par	Incluyendo la compensación del par y la compensación de deslizamiento, el par de arranque puede ser 150% a 5Hz		
	Capacidad de sobrecarga	150% de la corriente nominal durante 1 minuto		
	Tiempo de aceleración/deceleración	0,1 a 600 segundos (2 configuraciones independientes para el tiempo de aceleración/deceleración)		
	Modelo V/F	Modelo V/F ajustable		
	Nivel de prevención contra bloqueo	Ajuste del 20 al 200% de la corriente nominal		

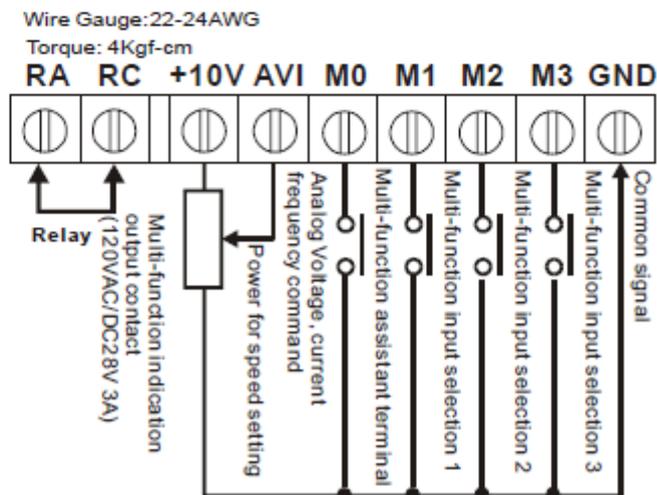
Características operativas	Ajuste de la frecuencia	Panel de Programación	Ajuste mediante teclas ▲ ▼ o el potenciómetro	
		Señal externa	Potenciómetro-5k /0,5W, 0 a +10V ó 0 a +5V (impedancia de entrada 100 k), interfaz RS-485, 4 a 20 mA (impedancia de entrada 250) 3 entradas multifunción (3 velocidades, Jog, "potenciómetro motorizado")	
	Señal de marcha/paro	Panel de Programación	Mediante teclas RUN, STOP	
		Señal externa	M0 a M3 se pueden combinar para ofrecer varios modos de operación, interfaz serie RS-485 (MODBUS)	
	Señal de entrada multifunción	3 velocidades, Jog, inhibidor Acel./Decel., selector primera/segunda Acel./Decel., contador, operación PLC, arranque "al vuelo"		
Indicación de salida multifunción	Variador en funcionamiento, frecuencia alcanzada, velocidad cero, indicación de alarma, indicación Local/Remoto, indicación funcionamiento PLC			

ANEXO 2.2 CABLEADO DEL VARIADOR DE FRECUENCIA

Main circuit wiring



Control circuit wiring



ANEXO 2.3. PARÁMETROS DEL VARIADOR DE FRECUENCIA

Chapter 3 Summary of Parameters

Group 0: User Parameters

✎The parameter may be set during operation.

Parameters	Functions	Settings	Factory Setting
0-00	Identity code of drive (Read only)	1: 40W 2: 100W 3: 200W 4: 400W 5: 750W 6: 1.5KW	
0-01	Rated current display (Read only)	40W: 0.4A 100W: 0.8A 200W: 1.6A 400W: 2.5A 750W: 4.2A 1.5K: 7.0A	
0-02	Parameter reset	10: Reset Parameters to Factory Setting	0
✎ 0-03	Start-up display of AC drive	0: F (Frequency command) 1: H (output frequency) 2: U (user-defined unit) 3: A (output current)	0
✎ 0-04	User-defined Unit	0: Display User-Defined Unit (u) 1: Display Counter Value (C) 2: Display Process Operation (1=tt) 3: Display DC-BUS voltage (U) 4: Display output voltage (E)	0
✎ 0-05	User-defined coefficient K	0.1 ~ 160	1.0
0-06	Software version	Read only	##
0-07	Password input	0 ~ 999	0
0-08	Password configuration	0 ~ 999	0

Group 1: Basic Parameters

Parameters	Functions	Settings	Factory Setting
1-00	Maximum operation Freq.	50.0 ~ 400Hz	60.0
1-01	Maximum setting Freq.	10.0 ~ 400Hz	60.0
1-02	Maximum output voltage	2.0 ~ 255V	220
1-03	Mid-point freq.	1.0 ~ 400Hz	1.0
1-04	Mid-point voltage	2.0 ~ 255V	12.0
1-05	Minimum output freq.	1.0 ~ 60.0Hz	1.0
1-06	Minimum output voltage	2.0 ~ 255V	12.0
1-07	Upper bound of freq.	1 ~ 110%	100
1-08	Lower bound of freq.	0 ~ 100%	0.0
✎ 1-09	Accel time 1 (Tacc1)	0.1 ~ 600 Sec	10.0
✎ 1-10	Decel time 1 (Tdec1)	0.1 ~ 600 Sec	10.0
✎ 1-11	Accel time 2	0.1 ~ 600 Sec	10.0

	Parameters	Functions	Settings	Factory Setting
✓	1-12	Decel time 2	0.1 ~ 600 Sec	10.0
✓	1-13	JOG Accel time	0.1 ~ 600 Sec	10.0
✓	1-14	JOG Decel time	0.0 ~ 600 Sec	10.0
✓	1-15	JOG frequency	1.0Hz~400Hz	6.0
	1-16	Auto-accel/decel	0: Linear Accel/Decel 1: Auto accel, linear decel 2: Linear accel, auto decel, 3: Auto Accel/Decel 4: Linear accel. Auto decel, stall prevention during deceleration 5: Auto accel. Auto decel, stall prevention during deceleration	0
	1-17	S-curve setting in acceleration	0 ~ 7	0
	1-18	S-curve setting in deceleration	0 ~ 7	0

Group 2: Operation Method Parameters

	Parameters	Functions	Settings	Factory Setting
	2-00	Source of frequency command	0: Digital keypad 1: 0 ~ 10V from AVI 2: 4 ~ 20mA from AVI 3: Controlled by V.R on drive 4: RS-485 communication interface	0
	2-01	Source of operation command	0: By digital keypad 1: By external terminals, keypad STOP enable 2: By external terminals, keypad STOP disable 3: By RS-485 communication interface, keypad STOP enable 4: By RS-485 communication interface, keypad STOP disable	0
	2-02	Stop method	0: Ramp stop 1: Coast stop	0
	2-03	Carrier freq.	3 ~ 10K Hz	10
	2-04	Reverse operation inhibit	0: Enable reverse 1: Disable reverse 2: Disable forward	0
	2-05	ACI (4 ~ 20mA) input loss detection	0: Decel to 0Hz 1: Stop immediately, display EF 2: Run with the last freq.	0
	2-06	Line Start Lockout	0: Enable 1: Disable	0

Group 3: Output Function Parameters

Parameters	Functions	Settings	Factory Setting
3-00	Desired freq. attained	1.0 ~ 400 Hz	1.0
3-01	Terminal count value	0 ~ 999	0
3-02	Preliminary count value	0 ~ 999	0
3-03	Multi-function (relay output)	0: not used 1: AC drive operational 2: Max. Output Freq. Attained 3: Zero Speed 4: Over Torque 5: Base-Block (B.B.) 6: Low Voltage Detection 7: AC Drive Operation Mode 8: Fault Indication 9: Desired Freq. Attained 10: PLC Program Running 11: PLC Program Step Complete 12: PLC Program Complete 13: PLC Program Operation Pause 14: Terminal Count Value Attained 15: Preliminary Count Value Attained 16: Ready State Indicator	8

Group 4: Input Function Parameters

Parameters	Functions	Settings	Factory setting
✓ 4-00	Potentiometer bias freq.	0.0~350Hz	0.0
✓ 4-01	Potentiometer bias polarity	0: positive bias 1: negative bias	0
✓ 4-02	Potentiometer freq. gain	1~200%	100
4-03	Potentiometer reverse motion enable	0: not used 1: reverse motion enable 2: forward motion only	0
4-04	Multi-function input terminal1 (M1) (d 0~d 20)	0: not used 1: M0: FWD/STOP, M1: REV/STOP 2: M0: RUN/STOP, M1: FWD/REV	1
4-05	Multi-function input terminal 2(M2)	3: M0, M1, M2: 3-wire operation control mode	6
4-06	Multi-function input terminal 3(M3) (d 0, d 4~d 20)	4: External fault, normally open (N.O.) 5: External fault, normally closed (N.C.) 6: RESET 7: multi-step speed command 1 8: multi-step speed command 2 9: jog operation 10: accel/decel speed inhibit 11: first or second accel/decel time selection 12: base-block (B.B.),normally open (N.O.) 13: base-block (B.B.),normally closed (N.C)	7

Parameters	Functions	Settings	Factory setting
4-06	Multi-function input terminal 3(M3) (d 0, d 4~d 20)	14: increase master freq. 15: decrease master freq. 16: run PLC program 17: pause PLC 18: counter trigger signal 19: counter reset 20: select ACI/deselect AVI	7

Group 5: Multi-step Speed and PLC Parameters

Parameters	Functions	Settings	Factory Setting
5-00	1 st step speed freq.	0.0 ~ 400Hz	0.0
5-01	2 nd step speed freq.	0.0 ~ 400Hz	0.0
5-02	3 rd step speed freq.	0.0 ~ 400Hz	0.0
5-03	PLC mode	0: Disable PLC operation 1: Execute one program cycle 2: Continuously execute program cycles 3: Execute one program cycle step by step (separate by STOP) 4: Continuously execute one program cycle step by step (separate by STOP)	0
5-04	PLC forward/reverse motion	0 ~ 15 (0: Forward 1: Reverse)	0
5-05	Time duration step 0	0 ~ 65500 Sec	0
5-06	Time duration step 1	0 ~ 65500 Sec	0
5-07	Time duration step 2	0 ~ 65500 Sec	0
5-08	Time duration step 3	0 ~ 65500 Sec	0

Group 6: Protection Parameters

Parameters	Functions	Settings	Factory Setting
6-00	Over-Voltage Prevention Level	0:disable 350~410V	390
6-01	Over-current Prevention Level	0: disable 20~200%	170
6-02	Over-torque detection	0:disable 1:enable during constant speed operation and continues until the continuous limit is reached. 2:enabled during constant speed operation and halted after detection. 3:enabled during accel and continues before continuous output time limit is reached. 4:enabled during accel and halted after over-torque detection.	0
6-03	Over-torque detection level	30 ~ 200%	150

Parameters	Functions	Settings	Factory Setting
6-04	Over-torque detection time	0.1 ~ 10.0 Sec	0.1
6-05	Electronic thermal overload relay	0: Not used 1: Act with standard motor 2: Act with special motor	0
6-06	Electronic thermal characteristic	30~600 Sec	60
6-07	Present fault record	0: No fault occurred	0
6-08	Second most recent fault record	1: oc (over current) 2: ov (over voltage)	
6-09	Third most recent fault record	3: oH (over heat) 4: oL (over load)	
6-10	Forth most recent fault record	5: oL1 (electronic thermal) 6: EF (external fault)	
6-11	Fifth most recent fault record	7: Reserved 8: Reserved	
6-12	Sixth most recent fault record	9: ocA (current exceed during acceleration)	
		10: ocd (current exceed during deceleration) 11: ocn (current exceed during steady state)	

Group 7: Motor Parameters

Parameters	Functions	Settings	Factory Setting
↗ 7-00	Motor rated current	30~120 %	85
↗ 7-01	Motor no-load current	0 ~ 90 %	50
↗ 7-02	Torque compensation	0 ~ 10	1
↗ 7-03	Slip compensation	0.0 ~ 10.0	0.0

Group 8: Special Parameters

Parameters	Functions	Settings	Factory Setting
8-00	DC braking voltage level	0 ~ 30%	0
8-01	DC braking time during start-up	0.0 ~ 60.0 Sec	0.0
8-02	DC braking time during stopping	0.0 ~ 60.0 Sec	0.0
8-03	Start-point for DC braking	0.0 ~ 400.0 Sec	0.0
8-04	Momentary power loss	0: Stop operation after momentary power loss. 1: Continues after momentary power loss, speed search starts with master freq. 2: Continues after momentary power loss, speed search starts with min. output freq.	0

	Parameters	Functions	Settings	Factory Setting
	8-05	Max. allowable power loss time	0.3 ~ 5.0 Sec	2.0
	8-06	B.B. time for speed search	0.3~5.0 Sec	0.5
	8-07	Max. speed search current level	30~200%	150
	8-08	Skip freq. 1 upper bound	0.0~400 Hz	0.0
	8-09	Skip freq. 1 lower bound	0.0~400 Hz	0.0
	8-10	Skip freq. 2 upper bound	0.0~400 Hz	0.0
	8-11	Skip freq. 2 lower bound	0.0~400 Hz	0.0
	8-12	Skip freq. 3 upper bound	0.0~400 Hz	0.0
	8-13	Skip freq. 3 lower bound	0.0~400 Hz	0.0
	8-14	Auto restart after fault	0~10	0
	8-15	AVR function	0: AVR function enable 1: AVR function disable 2: AVR function disable when decel	2
	8-16	Dynamic braking voltage	350 ~ 450V	380
	8-17	DC braking lower bound limit	0.0 ~ 400 Hz	0.0

Group 9: Communication Parameters

	Parameters	Functions	Settings	Factory Setting
✓	9-00	Communication address	1 ~ 247	1
✓	9-01	Transmission speed	0: Baud rate 4800 1: Baud rate 9600 2: Baud rate 19200	1
✓	9-02	Transmission fault treatment	0: Warn and continue running 1: Warn and ramp to stop 2: Warn and coasting stop 3: No warn and keep running	0
✓	9-03	Modbus communication watchdog timer	0: Disable 1~20: 1 ~ 20 Sec	0
✓	9-04	Communication protocol	ASCII mode 0: 7,N,2 1: 7,E,1 2: 7,O,1 3: 8,N,2 4: 8,E,1 5: 8,O,1	0
			RTU mode 6: 8,N,2 7: 8,E,1 8: 8,O,1	

ANEXO 2.4 CAPACIDAD DE CORRIENTE DE CABLES

<i>INSTALACIONES EN TUBO</i>				<i>INSTALACIONES AL AIRE LIBRE</i>		
Calibre del conductor	Sección transversal	3 conductores unipolares o un cable tripolar	Un cable bipolar	Un cable unipolar	Un cable bipolar	3 conductores unipolares o un cable tripolar
AWG – MCM	mm ²	Amperios	Amperios	Amperios	Amperios	Amperios
22	0.324	3	3	5	4	4
20	0.0517	5	6	8	7	6
18	0.821	7	8	10	9	8
16	1.31	10	11	15	14	13
14	2.08	15	27	20	18	17
12	3.31	20	21	25	23	22
10	5.26	30	30	40	35	33
8	8.37	40	40	55	48	45
6	13.30	55	55	80	68	63
4	21.15	70	—	105	—	87
2	33.63	95	—	140	—	119
1	42.41	110	—	165	—	145
1/0	53.51	125	—	195	—	155
2/0	67.44	145	—	225	—	180
3/0	85.02	165	—	260	—	210
4/0	107.2	195	—	300	—	240
250	126.7	215	—	340	—	265
300	152.0	240	—	375	—	300
350	177.4	260	—	420	—	330
400	202.7	280	—	455	—	360
500	253.4	320	—	515	—	415
600	304.0	355	—	575	—	450
750	380.0	400	—	655	—	515
1000	506.7	455	—	780	—	600

ANEXO 2.5 CATEGORIAS DE CONTACTORES

Categorías de empleo para contactores según IEC 60947-4-1

Las categorías de empleo normalizadas fijan los valores de corriente que el contactor debe establecer o cortar.

Dependen:

- De la naturaleza del receptor controlado: motor de jaula o de anillos, resistencias.
- De las condiciones en las que se realicen los cierres y las aperturas: motor lanzado o calado o en curso de arranque, inversión del sentido de la marcha, frenado a contracorriente.

Empleo en corriente alterna

Categoría AC-1:	Se aplica a todos los aparatos de uso de corriente alterna (receptores), cuyo factor de potencia es al menos igual a 0,95 ($\cos \varphi \geq 0,95$). Ejemplos de utilización: calefacción, distribución.
Categoría AC-2	Esta categoría rige el arranque, el frenado a contracorriente y la marcha "a sacudidas" de los motores de anillos. ■ En el cierre, el contactor establece la corriente de arranque, aproximadamente 2,5 veces la corriente nominal del motor. ■ En la apertura, deberá cortar la corriente de arranque, con una tensión igual a la tensión de la red.
Categoría AC-3	Se aplica a los motores de jaula en los que el corte se realiza con el motor lanzado. ■ En el cierre, el contactor establece la corriente de arranque, que es de 5 a 7 veces la corriente nominal del motor. ■ En la apertura, el contactor corta la corriente nominal absorbida por el motor; en ese momento, la tensión en las bornas de sus polos se acercará al 20% de la tensión de la red. El corte resulta sencillo. Ejemplos de utilización: todos los motores de jaula habituales: ascensores, escaleras mecánicas, cintas transportadoras, elevadores de cangilones, compresores, bombas, trituradoras, climatizadores, etc.
Categoría AC-4	Esta categoría se aplica a las aplicaciones con frenado a contracorriente y marcha "a sacudidas" con motores de jaula o de anillos. El contactor se cierra bajo un pico de corriente que puede alcanzar de 5 a 7 veces la corriente nominal del motor. Al abrirse, corta esta misma corriente bajo una tensión tan elevada que la velocidad del motor se debilita. Esta tensión puede llegar a ser igual que la tensión de la red. El corte resulta brusco. Ejemplos de utilización: máquinas de impresión, máquinas de tréfil, elevadores, equipos de la industria metalúrgica.

Empleo en corriente continua

Categoría DC-1	Se aplica a todos los aparatos de utilización de corriente continua (receptores) cuya constante de tiempo (L/R) es inferior o igual a 1 ms.
Categoría DC-3	Esta categoría rige el arranque, el frenado a contracorriente y la marcha "a sacudidas" de los motores de derivación. Constante de tiempo ≤ 2 ms. ■ En el cierre, el contactor establece la corriente de arranque, aproximadamente 2,5 veces la corriente nominal del motor. ■ En la apertura, deberá cortar 2,5 veces la corriente de arranque, con una tensión igual a la tensión de la red. Una tensión tan elevada que la velocidad del motor se debilita y, en consecuencia, puede aumentar su fuerza contra-electromotriz. El corte resulta difícil.
Categoría DC-5	Esta categoría se aplica al arranque, el frenado a contracorriente y la marcha "a sacudidas" de los motores serie. Constante de tiempo $\leq 7,5$ ms. El contactor se cierra bajo un pico de corriente que puede alcanzar 2,5 veces la corriente nominal del motor. Al abrirse, corta esta misma corriente bajo una tensión tan elevada que la velocidad del motor se debilita. Esta tensión puede llegar a ser igual que la tensión de la red. El corte resulta brusco.

Categorías de empleo para contactos y contactores auxiliares según IEC 60947-5-1

Empleo en corriente alterna

Categoría AC-14 (1)	Se aplica al control de cargas electromagnéticas en las que la potencia absorbida, cuando el electroimán está cerrado, es inferior a 72 VA. Ejemplo de utilización: control de bobina de contactores y relés.
Categoría AC-15 (1)	Se aplica al control de cargas electromagnéticas en las que la potencia absorbida, cuando el electroimán está cerrado, es inferior a 72 VA. Ejemplo de utilización: control de bobina de contactores.

Empleo en corriente continua

Categoría DC-13 (2)	Se aplica al control de cargas electromagnéticas en las que el tiempo empleado en alcanzar el 95% de la corriente en el régimen establecido ($T = 0,95$) es 6 veces superior a la potencia P absorbida por la carga (con $P \leq 50$ W). Ejemplo de utilización: control de bobina de contactores sin resistencia de economía.
----------------------------	---

(1) Sustituye a la categoría AC-11.

(2) Sustituye a la categoría DC-11.

ANEXO 2.6 TIPOS DE DISYUNTORES



BKN 3P

In	Model	Catalog No.	Pack. unit (Pcs.)	PRICE
1A	BKN 3P B1A	06130066R0	40	
2A	BKN 3P B2A	06130067R0	40	
3A	BKN 3P B3A	06130068R0	40	
4A	BKN 3P B4A	06130069R0	40	
6A	BKN 3P B6A	06130070R0	40	
10A	BKN 3P B10A	06130071R0	40	
13A	BKN 3P B13A	06130963R0	40	
16A	BKN 3P B16A	06130072R0	40	
20A	BKN 3P B20A	06130073R0	40	
25A	BKN 3P B25A	06130074R0	40	
32A	BKN 3P B32A	06130075R0	40	
40A	BKN 3P B40A	06130076R0	40	
50A	BKN 3P B50A	06130077R0	40	
63A	BKN 3P B63A	06130078R0	40	

ANEXO 2.7 TIPOS DE CONTACTORES



Frame Size (AF)	Coil Voltage	Coil Current	Motor Capacity (KW) AC3				Model
			200 ~ 240V	380 ~ 440V	500 ~ 550V	690V	
6	200 VAC	0.01A	1.5KW 7A	2.2KW 6A	3KW 5A	3KW 4A	GMC-6M-AC200V
	100 VAC	0.02A					GMC-6M-AC100V
9	200 VAC	0.01A	2.2KW 9A	4KW 9A	3.7KW 6A	4KW 5A	GMC-9M-AC200V
	100 VAC	0.02A					GMC-9M-AC100V
12	200 VAC	0.01A	3KW 12A	5.5KW 12A	4KW 7A	4KW 5A	GMC-12M-AC200V
	100 VAC	0.02A					GMC-12M-AC100V
16	200 VAC	0.01A	4KW 15A	7.5KW 16A	5.5KW 9A	4KW 5A	GMC-16M-AC200V
	100 VAC	0.02A					GMC-16M-AC100V

ANEXO 3. CARACTERISTICA DE LA ELECTROBOMBA

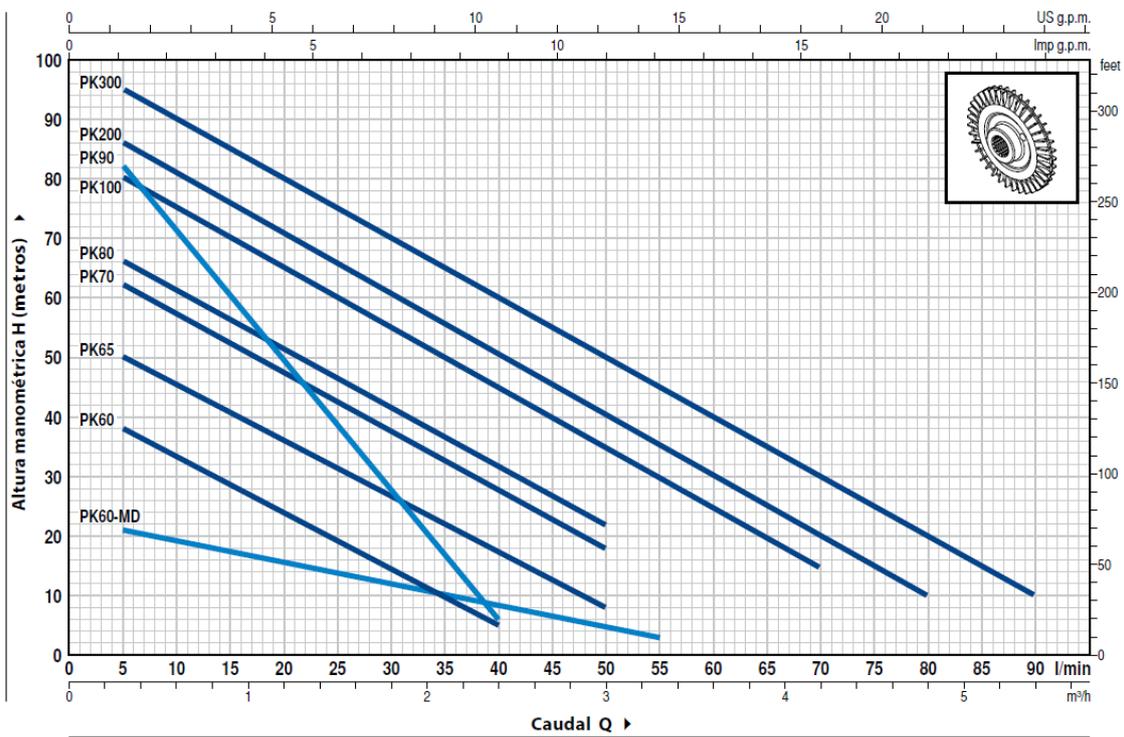
MODELO		POTENCIA (P ₂)		Q	H															
Monofásica	Trifásica	kW	HP		m ³ /h	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	3.0	3.3	4.2	4.8	5.4	
				l/min	0	5	10	15	20	25	30	35	40	50	55	70	80	90		
PKm 60°	PK 60°	0.37	0.50	40	38	33.5	29	24	19.5	15	10	5								
PKm 60°-MD	PK 60°-MD	0.37	0.50	22	21	19	17.5	15.5	13.8	12	10	8.5	5	3						
PKm 65	PK 65	0.50	0.70	55	50	45.5	40.5	36	31	27	22	17	8							
PKm 70	PK 70	0.60	0.85	65	62	57	52	47	42	37	32	27	18							
PKm 80	PK 80	0.75	1	70	66	61	56	51	46	41	36.5	31	22							
PKm 90	PK 90	0.75	1	90	82	71	60	49	38	27	17	5								
PKm 100	PK 100	1.1	1.5	85	80	75	70	65	60	55	50	45	35	30	15					
PKm 200	PK 200	1.5	2	90	86	81	76	71	65.5	60	55	50	40	35	20	10				
-	PK 300	2.2	3	100	95	90	85	80	75	70	65	60	50	45	30	20	10			

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.

CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

50 Hz n= 2900 rpm HS= 0 m



CONSUMO EN AMPERIOS



MODELO	TENSION		
	230 V	240 V	110 V
Monofásica			
PKm 60°	2.5 A	2.4 A	5.5 A
PKm 60°-MD	2.2 A	2.1 A	4.4 A
PKm 65	3.7 A	3.4 A	7.4 A
PKm 70	5.2 A	4.8 A	10.8 A
PKm 80	5.2 A	4.8 A	10.5 A
PKm 90	5.6 A	5.1 A	11.5 A
PKm 100	9.0 A	8.2 A	18.0 A
PKm 200	11.5 A	11.0 A	24.0 A

ANEXO 4. TABLAS PARA DISEÑO MECÁNICO

ANEXO 4.1 CARACTERISTICAS DEL ACERO 1018

Designación nominal TBH:						
Designaciones Internacionales				Designación TBH		
ASTM, AISI, SAE, NMX				1018		
Código de Color TBH				Blanco		

Composición Química Nominal:						
Acero	C (%)	Mn (%)	Si (%)	P (%)	S (%)	Fe (%)
Grado 1018	0.15 a 0.2	0.6 a 0.9	N/A	0.04	0.05	BALANCE

Propiedades Mecánicas:				
Condición	Resistencia Mecánica (PSI)	Resistencia a la Cedencia (PSI)	Elongación (%)	Dureza (HBN)
Laminado en Caliente	58,000 min	31,900 min	25	116
Estirado en Frío	63,800 min	53,700 min	15	126

Tratamientos Térmicos:						
Normalizado	Recocido para Bajar dureza	Recocido para Regenerar	Templado	Revenido	Puntos Críticos Ac1	Puntos Críticos Ac3
1100 a 1250 °C	650 a 890 °C enfriar al aire	850 a 890 °C enfriar al horno	Cementado 925 °C	150 a 250 °C	724 °C	840 °C

Usos Industriales:
 Barra redonda para flechas, pernos, tornillos sujetadores, línea blanca, entre otras, que no estén sometidas a grandes esfuerzos. Partes automotrices como manivelas, bielas, etc. Ya cementado es ideal para engranes o donde se tengan involucrados esfuerzos adicionales.

Propiedades mecánicas:

Dureza 126 HB (71 HRb)

Esfuerzo de fluencia 370 MPa (53700 PSI)

Esfuerzo máximo 440 MPa (63800 PSI)

Elongación máxima 15% (en 50mm)

Reducción de área 40%

Módulo de elasticidad 205 GPa (29700 KSI)

Maquinabilidad 76% (AISI 1212 = 100%)

Propiedades físicas:

Densidad 7.87 g/cm³ (0.284 lb/in³)

Propiedades químicas:

0.15 – 0.20% C

0.60 – 0.90% Mn

0.04% P máx.

0.05% S máx.

ANEXO 4.2 CADENA SIMPLE DE RODILLOS

TABLA 7-5 Capacidades en caballos de fuerza - Cadena simple de rodillos número 40

Núm. de dientes	0.500 pulgadas de paso				Velocidad mínima de giro de la catarina, rev/min																				
	10	25	50	100	180	200	300	500	700	900	1000	1200	1400	1600	1800	2100	2500	3000	3500	4000	5000	6000	7000	8000	9000
11	0.06	0.14	0.27	0.52	0.91	1.00	1.48	2.42	3.34	4.25	4.70	5.60	6.49	5.57	4.66	3.70	2.85	2.17	1.72	1.41	1.01	0.77	0.61	0.50	0.00
12	0.06	0.15	0.29	0.56	0.99	1.09	1.61	2.64	3.64	4.64	5.13	6.11	7.09	6.34	5.31	4.22	3.25	2.47	1.96	1.60	1.15	0.87	0.69	0.57	0.00
13	0.07	0.16	0.31	0.61	1.07	1.19	1.75	2.86	3.95	5.02	5.56	6.62	7.68	7.15	5.99	4.76	3.66	2.79	2.21	1.81	1.29	0.98	0.78	0.00	
14	0.07	0.17	0.34	0.66	1.15	1.28	1.88	3.08	4.25	5.41	5.98	7.13	8.27	7.99	6.70	5.31	4.09	3.11	2.47	2.02	1.45	1.10	0.87	0.00	
15	0.08	0.19	0.36	0.70	1.24	1.37	2.02	3.30	4.55	5.80	6.41	7.64	8.86	8.86	7.43	5.89	4.54	3.45	2.74	2.24	1.60	1.22	0.97	0.00	
16	0.08	0.20	0.39	0.75	1.32	1.46	2.15	3.52	4.86	6.18	6.84	8.15	9.45	9.76	8.18	6.49	5.00	3.80	3.02	2.47	1.77	1.34	0.00		
17	0.09	0.21	0.41	0.80	1.40	1.55	2.29	3.74	5.16	6.57	7.27	8.66	10.04	10.69	8.96	7.11	5.48	4.17	3.31	2.71	1.94	1.47	0.00		
18	0.09	0.22	0.43	0.84	1.48	1.64	2.42	3.96	5.46	6.95	7.69	9.17	10.63	11.65	9.76	7.75	5.97	4.54	3.60	2.95	2.11	1.60	0.00		
19	0.10	0.24	0.46	0.89	1.57	1.73	2.56	4.18	5.77	7.34	8.12	9.66	11.22	12.64	10.59	8.40	6.47	4.92	3.91	3.20	2.29	0.09	0.00		
20	0.10	0.25	0.48	0.94	1.65	1.82	2.69	4.39	6.07	7.73	8.55	10.18	11.81	13.42	11.44	9.07	6.99	5.31	4.22	3.45	2.47	0.00			
21	0.11	0.26	0.51	0.98	1.73	1.91	2.83	4.61	6.37	8.11	8.98	10.69	12.40	14.10	12.30	9.76	7.52	5.72	4.54	3.71	2.65	0.00			
22	0.11	0.27	0.53	1.03	1.81	2.01	2.96	4.83	6.68	8.50	9.40	11.20	12.99	14.77	13.19	10.47	8.06	6.13	4.87	3.98	2.85	0.00			
23	0.12	0.28	0.56	1.08	1.90	2.10	3.10	5.05	6.98	8.89	9.83	11.71	13.58	15.44	14.10	11.19	8.62	6.55	5.20	4.26	3.05	0.00			
24	0.12	0.30	0.58	1.12	1.98	2.19	3.23	5.27	7.28	9.27	10.26	12.22	14.17	16.11	15.03	11.93	9.18	6.99	5.54	4.54	0.87	0.00			
25	0.13	0.31	0.60	1.17	2.06	2.28	3.36	5.49	7.59	9.66	10.69	12.73	14.76	16.78	15.98	12.68	9.76	7.43	5.89	4.82	0.00				
26	0.13	0.32	0.63	1.22	2.14	2.37	3.50	5.71	7.89	10.04	11.11	13.24	15.35	17.45	16.95	13.45	10.36	7.88	6.25	5.12	0.00				
28	0.14	0.35	0.67	1.31	2.31	2.55	3.77	6.15	8.50	10.82	11.97	14.26	16.53	18.79	18.94	15.03	11.57	8.80	6.99	5.72	0.00				
30	0.15	0.37	0.72	1.41	2.47	2.74	4.04	6.59	9.11	11.59	12.82	15.28	17.71	20.14	21.01	16.67	12.84	9.76	7.75	6.34	0.00				
32	0.16	0.40	0.77	1.50	2.64	2.92	4.31	7.03	9.71	12.38	13.68	16.30	18.89	21.48	23.14	18.37	14.14	10.76	8.54	1.41					
35	0.18	0.43	0.84	1.64	2.88	3.19	4.71	7.69	10.62	13.52	14.96	17.82	20.67	23.49	26.30	21.01	16.17	12.30	9.76	0.00					
40	0.21	0.50	0.96	1.87	3.30	3.65	5.38	8.79	12.14	15.45	17.10	20.37	23.62	26.85	30.06	25.67	19.76	15.03	0.00						
45	0.23	0.56	1.08	2.11	3.71	4.10	6.08	9.89	13.66	17.39	19.24	22.92	26.57	30.20	33.82	30.63	23.58	5.53	0.00						

Tipo A

Tipo B

Tipo C

Tipo A: Lubricación manual o por goteo
 Tipo B: Lubricación en baño o con disco
 Tipo C: Lubricación con chorro de aceite

Fuente: American Chain Association, Naples, FL

ANEXO 5. CÁLCULOS DE LA MÁQUINA EXTRUSORA

CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DEL HUSILLO Y CONSTANTES DE CAUDAL

Para el cálculo de los parámetros del tornillo y constantes de caudal se ha tomado las ecuaciones empíricas y criterios que establece V.K. Savgorodny en su libro Transformación de Plástico (1978, p.3).

- **Parámetros del tornillo**

A continuación se muestran los datos que se obtuvieron de la extrusora:

Diámetro del tornillo D=80 mm

Velocidad de tornillo n=30 RPM

Relación L/D= 20

- **Relación longitud diámetro**

Con el uso de esta relación se determina la longitud del tornillo, empleándose comúnmente husillos con una longitud de 20 veces su diámetro en la transformación del PVC.

$$\frac{L}{D} = 20$$

$$L = 20 * D = 20 * (80mm) = 1600 mm = 160 cm = 1.6 m$$

- **Angulo de filete**

El ángulo de filete se determina por medio de la ecuación A5.1, tomando en cuenta que en la mayoría de los casos se suelen diseñar husillos con un paso de rosca igual a su diámetro.

$$t = D$$

$$\emptyset = \tan^{-1} \left(\frac{t}{\pi * D} \right) \quad (A5.1)$$

$$\emptyset = \tan^{-1} \left(\frac{D}{\pi * D} \right) = 17.7^\circ$$

- **Ancho de cresta de filete**

Con la ecuación A5.2 se establece el ancho de cresta del filete

$$e = [0.06 \text{ a } 0.1] * D \quad (\text{A5.2})$$

$$e = 0.08 * D = 6.4 \text{ mm}$$

○ **Profundidad de canal de la zona de alimentación**

Con la ayuda de la ecuación A5.3 se encuentra la profundidad.

$$h1 = [0.12 \text{ a } 0.16] * D \quad (\text{5.3})$$

$$h1 = 0.14 * 80\text{mm} = 11.2\text{mm}$$

○ **Profundidad de canal en la zona de dosificación**

$$h3 = 0.5 \left[D - \sqrt{D^2 - \frac{4h1}{i} * (D - h1)} \right] \quad (\text{A5.4})$$

Dónde: *i* es el grado de compresión

El grado de compresión es la relación entre la profundidad de canal en la zona de alimentación y profundidad de canal de la zona de dosificación y esta relación se encuentra en un rango de [1.5:1 a 5:1].

Para el proceso de transformación del PVC se usa un grado de compresión bajo, ya que la ausencia de cambios bruscos entre las zonas permite eliminar la destrucción térmica del material.

$$h3 = 0.5 * \left[80 - \sqrt{(80)^2 - \frac{4 * 11.2}{1.5} * (80 - 11.2)} \right]$$

$$h3 = 7.04\text{mm}$$

○ **Tolerancia del tornillo/ cilindro**

Es la distancia de separación entre el tornillo y el cilindro de la extrusora. Esta separación suele ser de $\delta=0.002 \cdot D$ en husillos de diámetro grande y de $\delta=0.005 \cdot D$ para husillos de diámetro pequeño.

El diámetro del tornillo que posee la extrusora es de 80 mm y se lo cataloga como grande.

$$\delta = 0.002 * 80\text{mm} = 0.16 \text{ mm}$$

- **Contantes de caudal**

- **Flujo directo**

$$A = \frac{\pi * 1 * 80 * 7.04 \left(\frac{80}{1} - 6.4\right) * \cos^2(17.7)}{2} \text{ mm}^3$$

$$A = 59.1279 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

- **Flujo de presión**

$$B = \frac{1 * (7.04)^3 \left(\frac{80}{1} - 6.4\right) * \sin(17.7) * \cos(17.7)}{12 * (1600)} \text{ mm}^3$$

$$B = 387.3949 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$$

- **Flujo inverso**

$$y = \frac{\pi^2 * (80)^2 * (0.16)^3 * \tan(17.7)}{10 * (6.4) * (1600)} \text{ mm}^3$$

$$y = 8.063 \times 10^{-4} \text{ mm}^3$$

Cálculo de la constante total de la forma geométrica de la cabeza perfiladora

La constante de forma geométrica de la boquilla (k) representa la restricción que sufre caudal a la salida de la extrusora, es decir que el caudal de la extrusora varía según la forma y tamaño del orificio perfilador de la boquilla.

A continuación se enlista cada uno de los valores de k para determinar la geometría de cada una de las boquillas que posee la extrusora.

- **Boquilla tipo circular:** Usada para la fabricación de perfiles cilíndricos, la constante de su forma geométrica se la determina por la ecuación A5.5.

$$k1 = \frac{\pi * d^4}{128 * L} \quad (\text{A5.5})$$

Dónde: d y L son respectivamente el diámetro y longitud de la boquilla.

- **Boquilla tipo anular:** Usada para la fabricación de perfiles tubulares (mangueras y tubos) y la constante geométrica de su forma la describe la ecuación A5.6.

$$k_2 = \frac{\pi}{8 * L} \left[Re^4 - Ri^4 - \frac{(Re^2 - Ri^2)^2}{2.3 \log\left(\frac{Re}{Ri}\right)} \right] mm^3 \quad (A5.6)$$

Dónde: L, Re y Ri son la longitud, el radio externo e interno de la boquilla.

- **Boquilla tipo malla usada para el peletizado de PVC:** La ecuación A5.7 describe la forma de su constante geométrica

$$k_3 = \frac{\pi * n * d^4}{128 * L} \quad (A5.7)$$

Dónde: L es la longitud de la boquilla, n y d son la cantidad y diámetro de orificios de la boquilla.

- **Boquilla tipo rectangular:** Usada para fabricar perfiles rectangulares y la forma de su constante geométrica se la determina por la ecuación A5.8.

$$k_4 = \frac{b * h^3}{12 * L} \quad (A5.8)$$

Dónde: L es la longitud de la boquilla, b y h es el ancho y largo del orificio rectangular.

La constante común de la cabeza perfiladora o constante k total, se determina como la suma inversa de las resistencias experimentadas de cada boquilla como se muestra en la ecuación A5.9.

$$k = \frac{1}{\sum \frac{1}{k_1} + \sum \frac{1}{k_2} + \dots + \sum \frac{1}{k_i}} \quad (A5.9)$$

Para determinar la constante k total de la cabeza perfiladora de la extrusora que posee la fábrica se ha tomado las dimensiones de dos boquillas del tipo malla y dos boquillas de tipo anular para el cálculo y mostrando sus valores en la Tabla A5.1.

Tabla A5.1: Dimensiones de las boquillas que posee la extrusora.

DIMENSIONES DE LAS BOQUILLAS A USAR					
Descripción	Tipo boquilla	Diámetro interno (mm)	Diámetro externo (mm)	Longitud (mm)	Constante geométrica de forma (k)
Boquilla para tubo de 2 pulgadas	Anular	43	53	100	14,50350275
Boquilla para tubo de 1 pulgadas	Anular	32	37	60	1,975998092
Boquilla para piola 1	Malla n=2	-	4	20,87	0,602126048
Boquilla para piola 2	Malla n=2	-	5,6	20,23	2,386305949
Constante geométrica total de cabezal (K total)					0,37666744

Boquilla 1

Su contante de forma geométrica se determina con la ecuación A5.6.

Datos

Re=26.5 mm

Ri=21.5 mm

L= 10cm

$$k1 = \frac{\pi}{8 * 100} \left[(26.5)^4 - (21.5)^4 - \frac{((26.5)^2 - (21.5)^2)^2}{2.3 \log \left(\frac{26.5}{21.5} \right)} \right] mm^3$$

$$k1 = 14.50 mm^3$$

Boquilla 2

Su contante de forma geométrica se determina con la ecuación A5.6

Datos

Re=18.5 mm

Ri=16 mm

L=60 mm

$$k_2 = \frac{\pi}{8 * 60} \left[(18.5)^4 - (16)^4 - \frac{((18.5)^2 - (16)^2)^2}{2.3 \log\left(\frac{18.5}{16}\right)} \right] mm^3$$

$$k_2 = 1.9759 \text{ mm}^3$$

Boquilla 3

Su contante de forma geométrica se determina con la ecuación A5.7.

Datos

Número de orificios 2, diámetro de 4 mm, y longitud de 20.87 mm

$$k_3 = \frac{\pi * 2 * (4)^4}{128 * (20.87)}$$

$$k_3 = 0.6021 \text{ mm}^3$$

Boquilla 4

Su contante de forma geométrica se determina con la ecuación A5.7.

Datos

Número de orificios 2, diámetro de 5.6 y Longitud de 20.23

$$k_4 = \frac{\pi * 2 * (5.6)^4}{128 * (20.23)}$$

$$k_4 = 2.3863 \text{ mm}^3$$

○ Constante k neta

Para determinar la constante de forma geométrica neta o tal de la cabeza perfiladora se emplea la ecuación A5.9.

$$k = \frac{1}{\sum \frac{1}{k_1} + \sum \frac{1}{k_2} + \dots + \sum \frac{1}{k_i}}$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} + \frac{1}{k_4}}$$

$$k = 0.3766 \text{ mm}^3$$

ANEXO 6 COSTOS DEL PROYECTO

COSTOS DIRECTOS

Costos de materia prima directa

Se considera materia prima directa aquella que interviene directamente en el producto final, es decir en la extrusora.

Costos de elementos mecánicos de la máquina tensora

Ord.	Descripción	Cant.	Valor Unit.	Valor total
1	Rodamiento de bolas	6	15.00	90.00
2	Eje rodamientos	3	10.00	30.00
3	Motor 1 HP	1	650.00	650.00
4	Chumacera	6	10.00	60.00
5	Estructura Base	1	300.00	300.00
6	Sueldas-ensamblaje	1	75.00	75.00
7	Piñón	2	15.00	30.00
8	Polea	2	20.00	40.00
9	Cadenas y candados	1	15.00	15.00
11	Banda en V	1	20.00	20.00
12	Pintura	1	25.00	25.00
SUBTOTAL				1335.00
IVA 12%				160.20
TOTAL				1495.20

Costos de los elementos mecánicos del sistema de refrigeración

Ord.	Descripción	Cant.	Valor Unit.	Valor total
1	Bomba ½ Hp	1	50.00	50.00
2	Estructura base	1	350.00	350.00
3	Sueldas-ensamblaje	1	125.00	125.00
4	Adaptador para tanque 1"	1	4.33	4.33
5	Codo ½"	11	0.38	4.18
6	Codo 1"	8	1.24	9.92
7	Válvula de Bola 1"	1	3.71	3.71
8	Bishing 1" a ½"	1	0.90	0.90
9	Tee 1"	2	1.53	3.06
10	Universal ½"	3	0.86	2.58
11	Universal 1"	3	3.82	11.46
12	Aspersor Base Plástica	1	4.59	4.59
13	Tobo ½ X 6m Plastigama	2	6.95	13.90
14	Tubo 1"X 6m Plastigama	2	18.21	36.42
15	Teflón	5	0.18	0.90
16	Unión 1"	1	2.20	2.20
17	Pintura	1	50.00	50.00
SUBTOTAL				673.15
IVA 12%				80.78
TOTAL				753.92

Costos de los elementos eléctricos

Ord.	Descripción	Cant.	Valor Unit.	Valor total
1	Variador de frecuencia 1 Hp	1	200.00	200.00
2	Gabinete 40x40x20	1	40.09	40.09
3	Breack LS 16 A	1	10.80	10.80
4	Contactador GMC9	2	14.80	29.60
5	Relé Térmico GTK 22	1	27.80	27.80
6	BreackDamoe 6A	1	10.67	10.67
7	BreackTelemecaniq C6	1	19.90	19.90
8	Selectores 2 posiciones Camsco	2	4.90	10.80
9	Pulsador Hongo retenido EBC	1	4.95	4.95
10	Luz piloto 220V verde 22mm	2	2.80	5.60
11	Selectores 3 posiciones Camsco	1	5.90	5.90
12	Luz piloto 220V rojo 22 mm	1	2.80	2.80
13	Bloque de contacto (NO-NC)	2	2.25	4.50
14	Riel Din	1	4.40	4.40
15	Canaleta DexsonRanurada 25x40 Gris	2	4.90	9.80
16	Cable #12X3 flexible	10	1.40	14.00
17	Cable #12X3 flexible	15	1.90	28.50
18	Cable #12 flexible	10	0.62	6.20
19	Terminal U Amarillo	40	0.13	5.20
20	Terminal U Azul	40	0.09	3.60
21	Terminal U Rojo	20	0.09	1.80
22	Termina Tipo Ojo	6	0.09	0.54
23	Prensa Estopa PG 12	3	0.60	1.80
24	Marcador Libretin Mixto	1	8.84	8.84
25	Base Adhesiva Camsco mediana	2	0.18	0.36
SUBTOTAL				458.45
IVA 12 %				55.01
TOTAL				513.46

Costos de mano de obra directa

La mano de obra directa es aquella que interviene en la fabricación la maquinaria, es decir, el trabajo realizado en taller para fabricar la máquina tensora, la tina y torre de enfriamiento.

Costos de mano de obra directa

Ord.	Descripción	Valor Unit.
1	Trabajo de sueldas	50.00
2	Trabajo Torno	100.00
3	Trabajo Eléctrico y Cables	25.00
TOTAL		175.00

COSTOS INDIRECTOS

Son los costos de insumos y suministros que no son palpables en la máquina tensora y tina de enfriamiento una vez finalizadas.

Costos indirectos

Ord.	Descripción	Valor Unit.
1	Bibliografía	50.00
2	Útiles de oficina	25.00
3	Movilización, fletes y peajes	50.00
4	Otros	50.00
TOTAL		175.00

COSTO TOTAL

La máquina extrusora tiene el siguiente valor:

Costo total del proyecto

Ord.	Descripción	Valor
1	Costos Materia Prima Directa	2762.59
2	Costos Mano de Obra Directa	175.00
3	Costos Indirectos	175.00
TOTAL		3012.59

RELACIÓN COSTO-BENEFICIO

Es la relación entre los ingresos actualizados sobre los costos de inversión actualizados. A través de este indicador, se determina cuáles son los beneficios por cada dólar invertido en el proyecto.

$$\text{Costo/Beneficio} = \frac{\sum \text{Ingresos}/(1+i)^n}{\sum \text{Costos}/(1+i)^n}$$

Donde:

- i : tasa de descuento.
- n : año de operación.

En la tabla 4.10 se visualiza cómo varía los indicadores de rentabilidad financiada por cada año de operación.

Indicadores de rentabilidad financiera

Año de Operación	Costos Totales (USD)	Beneficios Totales (USD)	Factor de actualización	Costos actualizados (USD)	Beneficios Actualizados (USD)	Flujo neto de efectivo actualizados (USD)
0	0	-7557.41	10.7%	0.00	-7557.41	-7557.41
1	53437.87	72000.00	9.66%	48274.64	65043.28	16768.63
2	59376.25	75895.20	8.73%	54191.99	69268.63	15076.64
3	62588.51	80001.13	7.88%	57652.84	73692.32	16039.47
4	65974.54	84329.19	7.12%	61273.06	78319.72	17046.66
5	69543.77	88891.40	6.44%	65064.17	83165.54	18101.37
6	73306.08	93700.42	5.81%	69046.92	88256.33	19209.40
7	77271.94	98769.61	5.25%	73212.30	93580.55	20368.24
8	81452.36	104113.05	4.74%	77591.43	99177.98	21586.55
9	85858.93	109745.57	4.29%	82174.98	105036.71	22861.73
10	90503.9	115682.80	3.87%	86998.32	111201.94	24203.62
11	95400.16	121941.24	3.49%	92062.20	117674.63	25612.43
12	100561.3	128538.26	3.15%	97387.08	124480.95	27093.86
13	106001.7	135492.18	2.85%	102973,33	131621.30	28647.96
14	111736.4	142822.31	2.57%	108855.05	139139.35	3028.,29
15	117781.3	150549.00	2.33%	115033.93	147037.29	32003.36
Total	1250795.01	1594913.95		1191792.30	1519139.18	327346.87

Los indicadores financieros indican:

- $VAN = 327\ 346,87$
- $TIR = 217\%$
- $Beneficio\ Costo = 1,27\%$

Tomando en cuenta los valores anuales del proyecto se concluye que la inversión inicial se recupera en los primeros 6 meses de trabajo.

ANEXO 7. PLANOS DE LA MAQUINARIA

LISTADO DE PLANOS

1.0 Máquina tensora

1.01 Estructura base

1.01.01 Estructura base (piezas)

1.02 Mecanismo de ajuste de rodillos

1.02.01 Mecanismo de ajuste de rodillos (piezas)

1.03 Mecanismo de rodillos superiores

1.03.01 Mecanismo de rodillos superiores (piezas)

1.04 Mecanismo de rodillos inferiores

1.04.01 Mecanismo de rodillos inferiores (piezas)

1.05 Mecanismo de rodillos laterales

1.05.01 Mecanismo de rodillos laterales (piezas)

1.06 Mecanismo de conexión al motor

1.06.01 Mecanismo de conexión al motor

2.00 Tina de enfriamiento

2.01 Estructura tina

3.00 Torre de enfriamiento

3.01 Estructura

3.02 Recipiente perforado

3.03 Depósito