



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

**INGENIERÍA ELECTRÓNICA CONTROL Y REDES INDUSTRIALES**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA DE  
PLÁSTICO PARA PELETIZAR POLÍMEROS RECICLADOS MEDIANTE EL  
USO DE MICROCONTROLADORES”**

**TESIS DE GRADO**

**Previa obtención del título de**

**“INGENIERO EN ELECTRONICA CONTROL Y REDES INDUSTRIALES”**

**Presentado por:**

**JANETH ILEANA ARIAS GUADALUPE**

**ADRIANA CARLOTA CHÁVEZ BRITO**

**RIOBAMBA-ECUADOR**

**2011**

*A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto, por haberme dado salud para lograr mis objetivos, además por su infinita bondad y amor.*

*A mis padres por brindarme el apoyo para culminar mi carrera profesional.*

*A todos mis familiares que directamente me impulsaron para llegar a este lugar.*

*A Betto por ser mi compañero inseparable de cada jornada, representó gran esfuerzo y tesón en momentos de declive y cansancio, por haber guiado el desarrollo de este trabajo y llegar a la culminación del mismo.*

*A Jorge Luis Paucar por su tiempo, porque me ha ayudado y llevado donde estoy.*

*A Adry amiga fiel y compañera de tesis, y a todos mis amigos que juntos logramos llegar hasta el final del camino.*

*A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, prestigiosa Universidad la cual abrió sus puertas a jóvenes como nosotros preparándonos para un futuro competitivo.*

*JANETH*

*Mi agradecimiento a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.*

*A mis padres y hermana por brindarme un hogar cálido y enseñarme que la perseverancia y el esfuerzo son el camino para lograr objetivos.*

*A mi Familia que con su entusiasmo y cariño me dieron el valor necesario para continuar.*

*Al Ing. Jorge Luis Paucar, por todas las facilidades prestadas, por su paciencia, apoyo y por los conocimientos compartidos.*

*Al Ing. Alberto Arellano Director de tesis por su valioso apoyo, orientación, confianza y dedicación para la culminación de este trabajo.*

*A mis amigos/as mi cariño y agradecimiento por haber compartido conmigo los buenos y malos momentos.*

*A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por permitirme desarrollarme y crecer como profesional y como persona, a lo largo de mi carrera.*

*Gracias a todos lo que de alguna manera me brindaron su ayuda para alcanzar esta meta.*

*ADRIANA*

*La concepción de esta tesis está dedicada a mis Padres Nelsito y Larita, que me han apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada por su amor.*

*A Lore por su ejemplo de hermana mayor y de quien aprendí aciertos y de momentos difíciles, a mi hermana Mirito por su apoyo y amistad, a mi hermana Gaby por enviarme su bendición a la distancia.*

*A mi Terecita por soportar mis errores, por sus consejos por el amor que siempre me ha brindado.*

*A mis abuelitos que por su tenacidad y lucha insaciable han hecho de ellos el gran ejemplo a seguir.*

*A mis sobrinos Haidercito y Steven por ser la inspiración en mi vida, a mi cuñado William por brindarme su apoyo.*

*A mi Flaquito porque ha estado conmigo en cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, porque depositó su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar de mi capacidad e inteligencia.*

*Es por ellos que soy lo que soy ahora los amo con toda mi vida.*

*JANETH*

*A Dios, por brindarme la dicha de la salud, bienestar físico y espiritual.*

*A mis Padres Wilson y Juanita, por todo su amor, porque creyeron en mi, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, les dedico este trabajo por haberme brindado su comprensión y apoyo incondicional durante toda mi carrera, por sus consejos los que me orientaron a tomar las mejores decisiones, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles.*

*A mi hermana Cristy, por su inmenso cariño, y por siempre darme ánimos para continuar.*

*A mis Ángeles que desde el cielo siempre me han acompañado y bendecido.*

*A mi familia por brindarme su cariño, apoyo sincero e incondicional.*

*Gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida.*

*Es por ustedes, por lo que valen, porque admiro su fortaleza y por lo que han hecho de mí.*

*ADRIANA*

**FIRMAS RESPONSABLES Y NOTA**

<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Iván Ménes <b>DECANO FACULTAD DE INFORMATICA Y ELECTRONICA</b>	_____	_____
Ing. Paúl Romero <b>DIRECTOR DE ESCUELA ING. EN ELECTRONICA CONTROL Y REDES INDUSTRIALES</b>	_____	_____
Ing. Alberto Arellano <b>DIRECTOR DE TESIS</b>	_____	_____
Ing. Paúl Romero <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	_____	_____
Tlgo. Carlos Rodríguez <b>DIRECTOR CENTRO DE DOCUMENTACION</b>	_____	_____
<b>NOTA DE LA TESIS:</b> _____		

“Nosotras, **Janeth Ileana Arias Guadalupe** y **Adriana Carlota Chávez Brito** somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta tesis; y, el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO”

.....  
Janeth Ileana Arias Guadalupe

.....  
Adriana Carlota Chávez Brito

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>ANSI</b>	American National Standards Institute
<b>CPU</b>	Unidad Central de Proceso
<b>CAD</b>	Convertor Analógico/Digital
<b>CDA</b>	Convertor Digital/Analógico
<b>CMOS</b>	Semiconductor complementario de óxido metálico
<b>CI</b>	Circuito Integrado
<b>CMRR</b>	Common Mode Rejection Ratio
<b>EEPROM</b>	Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory
<b>EPROM</b>	Erasable Programmable Read-Only Memory
<b>FEM</b>	Fuerza Electro motriz
<b>IEEE</b>	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
<b>LCD</b>	Liquid Crystal Display
<b>PC</b>	Computadora Personal
<b>PIC</b>	Programmable Interface Controller
<b>PID</b>	Proporcional Integral Derivativo
<b>PVC</b>	Poli Cloruro De Vinilo
<b>PCB</b>	Printed Circuit Board
<b>PROM</b>	Programmable Read-Only Memory
<b>PWM</b>	Pulse-Width Modulation
<b>RAM</b>	Random Access Memory
<b>RISC</b>	Procesador con un Conjunto Reducido de Instrucciones
<b>ROM</b>	Read-Only Memory
<b>RTD</b>	Dispositivo Termo Resistivo
<b>SP</b>	Set Point
<b>UCP</b>	Unidad Central de Proceso
<b>μC</b>	Microcontrolador

## ÍNDICE GENERAL

**PORTADA**

**AGRADECIMIENTO**

**DEDICATORIA**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**INDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ECUACIONES**

**INTRODUCCIÓN**

### **CAPÍTULO I:**

#### **MARCO REFERENCIAL**

Introducción

1.1. Antecedentes.....	19
1.2. Justificación .....	21
1.3. Objetivos.....	22
1.3.1 General.....	22
1.3.2 Específicos.....	22
1.4. Hipótesis.....	22

### **CAPÍTULO II:**

#### **MARCO TEÓRICO**

Introducción

2.1. Introducción a las Máquinas Extrusoras.....	23
2.1.1. Descripción del equipo de extrusión.....	24
2.1.2. Descripción de partes fundamentales.....	24
2.1.3. Proceso de extrusión.....	26

2.2. Polímeros.....	26
2.2.1. Clasificación de los polímeros sintéticos.....	27
2.2.2. Deformación de los polímeros.....	27
2.3. Análisis de la materia prima.....	28
2.3.1. Cloruro de polivinilo (PVC flexible).....	28
2.4. Microcontrolador.....	29
2.4.1. PIC16F877A.....	31
2.5. Sensores de Temperatura.....	32
2.5.1. PT100.....	32
2.5.1.1. Ventajas del PT100.....	34
2.6. TRIACS.....	34
2.7. Opto acopladores.....	36
2.8. Amplificadores de Instrumentación .....	36
2.9. Electroválvulas.....	37
2.9.1. Electroválvula 3 vías – 2 posiciones.....	37
2.10. Motores asincrónicos.....	38

### **CAPITULO III:**

### **DISEÑO MECÁNICO DE LA MÁQUINA EXTRUSORA**

#### Introducción

3.1. Análisis inicial.....	40
3.1.1. Máquinas por extrusión.....	40
3.1.2. Transferencia de calor.....	41
3.1.3. Elementos del prototipo.....	42
3.1.3.1 Poleas.....	42
3.1.3.2 Banda.....	43
3.1.3.3 Chumacera.....	45
3.2 Selección y elaboración de materiales.....	47

3.2.1 Husillo.....	47
3.2.2 Cilindro.....	50
3.2.3 Boquilla o torpedo.....	50
3.2.4 Tolva.....	52

## **CAPITULO IV:**

### **ANÁLISIS DEL CONTROL ELECTRÓNICO DE LA MÁQUINA EXTRUSORA**

#### Introducción

4.1. Análisis y tipo de control.....	53
4.1.1. La Planta.....	55
4.1.2. Los sensores.....	56
4.1.3. Los Actuadores.....	56
4.1.4. Los Algoritmos.....	56
4.1.5. Las perturbaciones.....	56
4.2. Acción de Control de dos posiciones, ON – OFF.....	57
4.3. Control de Temperatura.....	59
4.4. Control de Presión.....	60

## **CAPITULO V:**

### **CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE LA MÁQUINA EXTRUSORA**

#### Introducción

5.1. Montaje mecánico.....	61
5.2. Montaje eléctrico y electrónico.....	63
5.2.1. Acondicionamiento de la señal (PT100).....	64
5.2.1.1. Amplificador Instrumentación (INA 101).....	64
5.2.2. Proceso en el PIC 16F877.....	65
5.3. Diseño de PCB (Printed circuit board).....	67
5.3.1. Circuito amplificador de instrumentación.....	67

5.3.2. Circuito de potencia.....	70
5.3.3. Circuito de control de la electro válvula.....	71
5.3.4. Circuito de control del sistema.....	72
5.4. Actuadores.....	73
5.4.1. Motor.....	73
5.4.1.1. Arranque.....	74
5.4.1.2. Control de velocidad de los motores de inducción.....	74
5.2.4. Encendido a Gas.....	75
5.2.5. Alimentación para el circuito.....	75
5.5. Programación del micro controlador.....	75
5.5.1. Programa del PIC.....	75
5.6 Puesta en marcha.....	76

## **CAPITULO VI:**

### **PRUEBAS Y RESULTADOS**

#### Introducción

6.1 Pruebas y recopilación de la información.....	77
6.2 Análisis y tabulación de los datos.....	77
6.3 Demostración estadística de la hipótesis.....	80

### **CONCLUSIONES**

### **RECOMENDACIONES**

### **RESUMEN**

### **SUMMARY**

### **ANEXOS**

### **BIBLIOGRAFÍA**

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura II.1</b> Elementos principales de una máquina extrusora.....	24
<b>Figura II.2</b> Sensor de temperatura PT100.....	34
<b>Figura II.3</b> Construcción básica y símbolo del TRIAC.....	35
<b>Figura II.4.</b> Electroválvula.....	38
<b>Figura III.5</b> Dimensiones de la polea mayor.....	43
<b>Figura III.6</b> Dimensiones de la polea menor.....	43
<b>Figura III.7</b> Dimensiones de la banda 61a .....	45
<b>Figura III.8</b> Corte transversal de la banda 61a.....	45
<b>Figura III.9</b> Dimensiones de la chumacera.....	46
<b>Figura III.10</b> Corte Transversal del cilindro.....	50
<b>Figura III.11</b> Dimensiones longitudinales del cilindro.....	51
<b>Figura III.12</b> Boquilla o torpedo.....	51
<b>Figura III.13</b> Dimensión de la tolva.....	52
<b>Figura IV.1</b> Acciones Básicas y elementos de Control Realimentado.....	54
<b>Figura IV.14</b> Vista externa de la planta.....	55
<b>Figura IV.15</b> Diagrama de bloques de un controlador si/no.....	58
<b>Figura IV.16</b> Diagrama de bloques de un controlador si/no con brecha diferencial.....	58
<b>Figura IV.17</b> Nivel $h(t)$ en función de $t$ para control on – off con brecha diferencial.....	59
<b>Figura IV.18</b> Diagrama de bloques del proceso.....	59

<b>Figura V.19</b> Procedimiento del montaje mecánico del prototipo.....	62
<b>Figura V.20</b> Diagrama de bloques del diseño electrónico.....	63
<b>Figura V.21</b> Diagrama Interno del CI. INA101.....	64
<b>Figura V.22</b> Diagrama de flujo de la Programación del PIC.....	66
<b>Figura V.23.</b> Diagrama esquemático del Circuito amplificador de instrumentación.....	67
<b>Figura V.24.</b> Circuito amplificador de instrumentación.....	68
<b>Figura V.25.</b> Puente de Wheatstone.....	69
<b>Figura V.26.</b> Diagrama esquemático del Circuito de potencia.....	70
<b>Figura V.27.</b> Diseño del PCB del Circuito de potencia.....	70
<b>Figura V.28.</b> Diagrama esquemático del Circuito de control de la electroválvula.....	71
<b>Figura V.29.</b> Diseño del PCB del Circuito de control para la electroválvula.....	71
<b>Figura V.30.</b> Diagrama esquemático del Circuito principal.....	72
<b>Figura V.31.</b> Diseño del PCB del Circuito de la placa de control del sistema.....	73
<b>Figura IV.32</b> Frecuencia Semanal de Para de la producción.....	78
<b>Figura VI.34</b> Tiempo en Minutos semanales de Para de la producción.....	78
<b>Figura VI.35</b> Número de armadores no producidos.....	79
<b>Figura VI.36</b> Cantidad de dinero no recaudado .....	80

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA II.1</b> Características más relevantes del PIC 16F877A .....	31
<b>TABLA. II.2</b> Características y Especificaciones de válvula electromagnética.....	38
<b>TABLA VI.3</b> Frecuencia Semanal de Para de la Producción.....	77
<b>TABLA VI.4</b> Tiempo en Minutos semanales de Para de la producción.....	78
<b>TABLA VI.5</b> Número de armadores.....	79
<b>TABLA VI.6</b> Cantidad de dinero no recaudado.....	79
<b>TABLA VI.7</b> Cálculo de $X^2$ para la pregunta 1.....	82
<b>TABLA VI.8</b> Cálculo de $X^2$ para la pregunta 2.....	82
<b>TABLA VI.9</b> Cálculo de $X^2$ para la pregunta 3.....	83
<b>TABLA VI.10</b> Cálculo de $X^2$ para la pregunta 4.....	83

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación II.1</b> Ecuación que determina la variación de la resistencia.....	33
<b>Ecuación II.2.</b> Ley de inducción de Faraday.....	39
<b>Ecuación III.3</b> Ecuación de la conducción del calor.....	42
<b>Ecuación III.4</b> Ecuación para calcular la longitud de una banda.....	45
<b>Ecuación IV.5</b> Función de transferencia del control PID.....	61
<b>Ecuación V.6</b> Velocidad del motor de inducción.....	75
<b>Ecuación IV.7</b> Cálculo de los grados de libertad.....	82

## INTRODUCCIÓN

La automatización es el uso de sistemas de control electrónico o de tecnología informática para reducir la necesidad de la intervención humana en un proceso industrial. En el enfoque de la industria, automatización es el paso más allá de la mecanización en donde los procesos industriales son asistidos por maquinas o sistemas mecánicos que reemplazan las funciones que antes se realizaban de forma manual.

Mientras que en la mecanización los operadores son asistidos con maquinaria a través de su propia fuerza y de su intervención directa, en la automatización se reduce de gran manera la necesidad mental y sensorial del operador. De esta forma presenta grandes ventajas en cuanto a producción más eficiente y disminución de riesgos al operador.

Los microcontroladores o PICs, son ampliamente utilizados como el cerebro de una gran variedad de sistemas embebidos que controlan máquinas y componentes de sistemas complejos, como aplicaciones industriales de automatización y robótica.

El presente documento detalla las etapas del diseño y construcción de la máquina extrusora de plástico polietileno; materia prima que es utilizada para la fabricación de armadores en la empresa PARTIPLAST S.A. de la ciudad de Riobamba; y que al contener impurezas provocaba el detenimiento del proceso normal de producción.

El presente documento de la tesis de grado, que a continuación se detalla, está dividido en seis capítulos:

- ✓ El capítulo uno describe la problematización, la justificación, los objetivos, y la hipótesis planteada en la tesis de grado.
  
- ✓ El capítulo dos detalla la revisión bibliográfica y linkográfica de todos los elementos mecánicos y electrónicos que se utilizaron en el diseño y la construcción de la máquina extrusora de plástico.
  
- ✓ El capítulo tres resume las fases del diseño mecánico de la máquina extrusora.
  
- ✓ En el capítulo cuatro se hace especial énfasis en el análisis y diseño de la etapa de control electrónico de la máquina extrusora de plástico.
  
- ✓ El capítulo cinco describe las etapas realizadas para la construcción e instalación de la máquina extrusora.
  
- ✓ Y finalmente el capítulo seis detalla el procedimiento utilizado para la demostración de la hipótesis planteada en la presente tesis de grado.

# **CAPITULO I**

## **MARCO REFERENCIAL**

En este capítulo se presenta a grandes rasgos el problema que existe en la Fábrica PARTIPLAST, los antecedentes, la justificación, los objetivos, la hipótesis y la solución a este problema mediante el diseño y la construcción de una máquina extrusora de plástico.

### **1.1.ANTECEDENTES**

La fábrica PARTIPLAST de la ciudad de Riobamba, se dedica a la producción de piezas plásticas mediante la utilización de una maquina inyector.

Para la elaboración de las piezas plásticas se utiliza como materia prima plástico reciclado, el cual contiene una serie de impurezas que con frecuencia ocasionan un estancamiento en la tolva de la maquina inyectora, lo que provoca ingentes pérdidas económicas en la empresa que dependen en gran medida del tiempo que tome limpiar la tolva de las impurezas acumuladas.

Los microcontroladores son computadores digitales integrados en un chip que cuentan con un microprocesador o unidad de procesamiento central (CPU), una memoria para almacenar el programa, una memoria para almacenar datos y puertos de entrada salida. A diferencia de los microprocesadores de propósito general, como los que se usan en los computadores PC, los microcontroladores son unidades autosuficientes y más económicas.

El funcionamiento de los microcontroladores está determinado por el programa almacenado en su memoria. Este puede escribirse en distintos lenguajes de programación. Además, la mayoría de los microcontroladores actuales pueden reprogramarse repetidas veces.

Por las características mencionadas y su alta flexibilidad, los microcontroladores son ampliamente utilizados como el cerebro de una gran variedad de sistemas embebidos que controlan máquinas, componentes de sistemas complejos, como aplicaciones industriales de automatización y robótica, domótica, equipos médicos, sistema aeroespaciales, e incluso dispositivos de la vida diaria como automóviles, hornos de microondas, teléfonos y televisores.

Gracias a los avances tecnológicos que actualmente tienen los microcontroladores hoy en día es posible implementar proyectos de automatización y control industrial, que antes hubiese sido requerido mucho tiempo y complejidad implementarlos, gracias a estos avances se puede conseguir diseñar e implementar una maquina que permita controlar y resolver el problema que actualmente se presenta en la maquina inyectora de plástico polietileno de la empresa PARTIPLAST.

El proceso de extrusión presenta alta productividad y es el proceso más importante de obtención de formas plásticas en volumen de producción. Su operación es de las más sencillas, ya que una vez establecidas las condiciones de operación, la producción continúa sin problemas. El costo de la maquinaria de extrusión es moderado, en comparación con otros procesos como inyección, soplado o Calandreo, y con una buena flexibilidad para cambios de los productos sin necesidad de hacer inversiones significativas.

Por lo mencionado anteriormente, la incorporación de una maquina extrusora de plástico polietileno en los procesos de producción de PARTIPLAST, proporcionará una solución precisa y ágil en la fabricación de piezas plásticas, con la consiguiente reducción de costes en el proceso de fabricación, además aumentará considerablemente la competitividad del producto en el mercado local.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

Una máquina extrusora de plástico tiene tres funciones: en primer lugar, extrae el material en gránulos del sistema de alimentación y lo conduce al tiempo que lo comprime y; en segundo lugar, mezcla y produce un fundido homogéneo de la materia prima, y, en tercer lugar, desarrolla la presión suficiente para que supere la resistencia al flujo de la hilera abierta, de modo que el perfil emerja de la hilera de forma continua.

Por lo expuesto anteriormente, el diseño y construcción de la maquina extrusora de plástico reciclado para la fábrica PARTIPLAST permitirá que la materia prima utilizada en sus procesos de fabricación esté libre de impurezas lo que evitara el taponamiento de la tolva que es utilizada en la producción de las piezas plásticas.

El objetivo principal del presente proyecto de tesis de grado es diseñar y construir la máquina extrusora de plástico reciclado, que resuelva los problemas de los que actualmente adolece la fábrica PARTIPLAST y al mismo tiempo minimizar los costos de construcción de la máquina por lo que se plantea la utilización del microcontrolador PIC 16F877A, además del precio del PIC características como la velocidad, la facilidad de uso, la información y las herramientas de apoyo hacen que se utilicen este tipo de dispositivos electrónicos en una variedad de proyectos de automatización y control industrial.

### **1.3.OBJETIVOS**

#### **1.3.1 Objetivo general**

- ✓ Diseñar y construir una máquina extrusora de plástico para peletizar polímeros reciclados mediante el uso de microcontroladores en la fábrica PARTIPLAST de la ciudad de Riobamba.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- ✓ Analizar los componentes y las funcionalidades de las máquinas extrusoras de plástico.
- ✓ Diseñar la etapa de control y potencia de la máquina extrusora de plástico mediante el uso de microcontroladores.
- ✓ Construir y realizar un banco de pruebas de la máquina extrusora de plástico.
- ✓ Implantar la máquina extrusora de plástico en la fábrica PARTIPLAST de la ciudad de Riobamba.

### **1.4. HIPOTESIS**

El diseño y construcción de la máquina extrusora para peletizar polímeros reciclados mediante el uso de microcontroladores en la fábrica PARTIPLAST de la ciudad de Riobamba, disminuirá el tiempo de para de los procesos producción provocado por la acumulación de las impurezas de la materia prima empleada.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

En este capítulo se narra una introducción a cerca de las máquinas extrusoras, la definición de las mismas, los elementos principales, el proceso y los parámetros de extrusión, a demás la materia prima que se utiliza para este proceso.

También incluye una breve descripción de los elementos con mayor relevancia en cuanto al diseño y construcción de la máquina extrusora.

#### **2.1. Máquinas Extrusoras**

Durante los últimos años la industria de las materias plásticas tuvo un desarrollo de proporciones gigantes, superando la industria del acero. Después de 1945; poli estireno, polietileno, cloruro de polivinilo, poliamidas, polimetilmetacrilato y polipropileno están en las casas de todos, en las ciudades más remotas como en las grandes ciudades, la industria así como en las economías agrícolas.

Ha sido un fenómeno que no se había verificado nunca en la historia del ser humano en proporciones tan grandes y con una dinámica tan rápida de sustitución progresiva de los materiales tradicionales con las nuevas substancias sintéticas y de reprojcción formal de las estructuras y de las formas ergonómicas de las herramientas y de los objetos de los cuales el ser humano se circunda y emplean. La historia de los tecnopolímeros se desarrolla junto con el perfeccionamiento de las tecnologías de transformación que permiten convertir un puño de gránulos, un poco de polvo o un bote de líquido en un objeto terminado con una forma propia y capaz de absolver una función precisa.

El proceso de extrusión tiene varias operaciones:

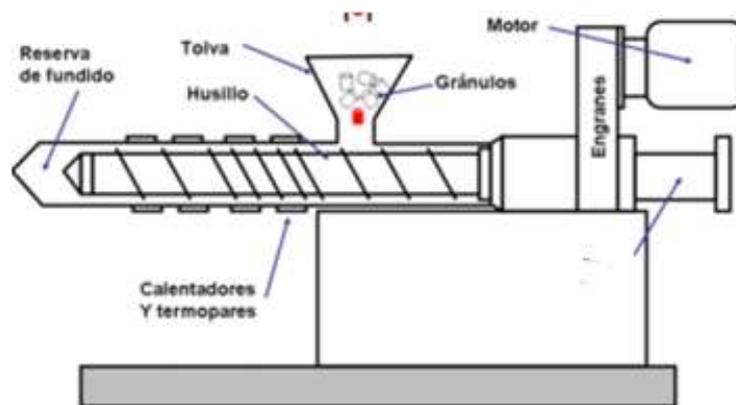
- Dosificación de una cantidad de granulado que ingresa al embolo de extrusión.
- Fusión del material termoplástico hasta alcanzar una consistencia apta para la extrusión.
- Enfriamiento del material, y solidificación.

Las ventajas del proceso de extrusión están enfocadas principalmente en el ahorro del material y la gran exactitud en la forma y dimensión de las piezas, rápida producción de gran cantidad de piezas mediante moldes duraderos.

### 2.1.1. Componentes del equipo de extrusión

Una máquina extrusora está compuesta de las siguientes partes:

- Motor que genera el movimiento
- Sistema de elevación de temperatura (PT100 – calentadores)
- Control electrónico de temperatura.
- Control encendido y apagado mediante el flujo de gas.



**Figura II.1** Elementos principales de una máquina extrusora

### 2.1.2. Descripción de partes fundamentales de la máquina extrusora

La figura II.1. muestra las partes fundamentales de una máquina extrusora, que son:

- **Tolva:** es el depósito de la materia prima en donde se coloca el material plástico para la alimentación continua pudiendo ser esta materia prima virgen o reciclada, si es reciclada debes pasar por un proceso de purificación y molienda.

Debe tener dimensiones adecuadas para ser completamente funcional; los diseños mal planeados, principalmente en los ángulos de bajada de material, pueden

provocar estancamientos de material y paros en la producción. En materiales que se compactan fácilmente, una tolva con sistema vibratorio puede resolver el problema, rompiendo los puentes de material formados y permitiendo la caída a la garganta de alimentación. Las tolvas con secado son usadas para eliminar la humedad del material que está siendo procesado, sustituyen a equipos de secado independientes de la máquina.

- **Barril o cañón:** es un cilindro metálico que aloja al husillo y constituye el cuerpo principal de una máquina. El barril debe tener una compatibilidad y resistencia al material que esté procesando, es decir, ser de un metal con la dureza necesaria para reducir al mínimo cualquier desgaste. La dureza del cañón se consigue utilizando para su construcción aceros de diferentes tipos y cuando sea necesario aplicar métodos para el endurecimiento superficial de las paredes internas del cañón, que son las que están expuestas a los efectos de la abrasión y corrosión durante la operación del equipo. El cañón cuenta con resistencias eléctricas que proporcionan la energía térmica que el material requiere para ser fundido. El sistema de resistencias, en algunos casos va complementado con un sistema de enfriamiento que puede ser flujo de líquido o por ventiladores de aire.

Todo el sistema de calentamiento es controlado desde un tablero, donde las temperaturas de proceso se establecen en función del tipo de material y del producto deseado. Para la mejor conservación de la temperatura a lo largo del cañón y prevenir cambios en la calidad de la producción por variaciones en la temperatura ambiente, se acostumbra aislar el cuerpo del cañón con algún material de baja conductividad térmica como la fibra de vidrio o el fieltro.

- **Husillo:** gracias a los intensos estudios del comportamiento del flujo de los polímeros, el husillo ha evolucionado ampliamente desde el auge de la industria plástica hasta el grado de convertirse en la parte que contiene la mayor tecnología dentro de una máquina de extrusión. (ver sección 3.2.1)

### **2.1.3. Proceso de extrusión**

La extrusión de polímeros es un proceso industrial, en donde se realiza una acción de prensado, moldeado del plástico, que por flujo continuo con presión y empuje, se lo hace pasar por un molde encargado de darle la forma deseada.

El polímero fundido (o en estado ahulado) es forzado a pasar a través de un Dado también llamado boquilla, por medio del empuje generado por la acción giratoria de un husillo que gira concéntricamente en una cámara a temperaturas controladas llamada cañón, con una separación milimétrica entre ambos elementos.

El material polimérico es alimentado por medio de una tolva en un extremo de la máquina y debido a la acción de empuje se funde, fluye y mezcla en el cañón y se obtiene por el otro lado con un perfil geométrico preestablecido.

## **2.2. Polímeros**

Los polímeros, provienen de las palabras griegas Poly y Mers, que significa muchas partes, son grandes macromoléculas formadas por la unión de muchas moléculas pequeñas que son sustancias de mayor masa molecular entre dos de la misma composición química resultante del proceso de la polimerización.

Como los polímeros se forman usualmente por la unión de un gran número de moléculas menores, tiene altos pesos moleculares. Los polímeros pueden ser de tres tipos:

- *Polímeros naturales*: provenientes directamente del reino vegetal o animal. Por ejemplo: celulosa, almidón, proteínas, caucho natural, ácidos nucleicos, etc.
- *Polímeros artificiales*: son el resultado de modificaciones mediante procesos químicos, de ciertos polímeros naturales. Ejemplo: nitrocelulosa.

- *Polímeros sintéticos*: son los que obtienen por procesos de polimerización controlados por el hombre a partir de materias primas de bajo peso molecular. Ejemplo: nylon, polietileno, cloruro de polivinilo, poli metano, etc. Muchos elementos forman también polímeros, llamados polímeros inorgánicos.

### **2.2.1. Clasificación de los polímeros sintéticos**

Desde el punto de vista general se puede hablar de tres tipos de polímeros:

- Elastómeros
- Termoplásticos
- Termoestables

Los elastómeros y termoplásticos están constituidos por moléculas que forman largas cadenas con poco entrecruzamiento entre sí. Cuando se calientan, se ablandan sin descomposición y pueden ser moldeados.

Los termoestables se preparan generalmente a partir de sustancias semifluidas de peso molecular relativamente bajo, las cuales alcanzan cuando se someten a procesos adecuados, un alto grado de entrecruzamiento molecular formando materiales duros que funden con descomposición y son generalmente insolubles en los solventes más usuales.

### **2.2.2. Deformación de los polímeros**

Se llama deformación a la traslación relativa de las partículas de un cuerpo sin que se afecte su continuidad. La deformación de los materiales puede ser elástica, altamente elástica y plástica, los elementos que poseen una deformación elástica deben regirse a que unos pequeños esfuerzos provocan considerables alargamientos.

La deformación altamente elástica es convertible, al quitarse la carga, la muestra se restablece a la longitud inicial, y las cadenas estiradas vuelven a desarrollarse.

Se llama plástica a la deformación inconvertible. Esta deformación se caracteriza porque bajo los esfuerzos exteriores se modifica la disposición recíproca de las partículas del

cuerpo sin modificarse la energía del sistema. Por tal razón, la nueva disposición de las partículas se conserva al quitarse la tensión.

### **2.3. Análisis de la materia prima**

Los materiales sintéticos termoplásticos se ablandan en cada calentamiento a una temperatura de 80°C, sin endurecerse nunca, es decir moldeable en caliente.

Estos deben cumplir características básicas para su procesamiento sin cometer error en la producción, de la siguiente manera:

- El material debe disgregarse, para garantizar una fusión homogénea.
- La masa de extrusión tiene que comportarse de una manera muy estable, respecto a las influencias térmicas, y no presentar síntomas de descomposición química durante el proceso de elaboración.
- Si la materia prima ya procesada permanece dentro del cilindro por largo tiempo, esta presenta síntomas de quemado, los cuales se ven reflejados con el apareamiento de gotas en el producto final o la pérdida de coloración del mismo.
- Cuando se agreguen colorantes, plastificantes o dispersantes estos deben poseer la misma estabilidad térmica.

#### **2.3.1. Cloruro de polivinilo (PVC flexible)**

El PVC es el material plástico más versátil, puede ser fabricado con muy diversas características, añadiéndole aditivos. Es muy estable, duradero y resistente, pudiéndose hacer menos rígido y más elástico si se le añade un aditivo más plastificante. Se ablanda y deforma a baja temperatura, teniendo una gran resistencia a los líquidos corrosivos, por lo que es utilizado para la construcción de depósitos y cañerías de desagüe.

El PVC en su presentación más rígida se emplea para fabricar tuberías de agua, tubos aislantes y de protección, canalones, revestimientos exteriores, ventanas, puertas y escaparates, conducciones, cajas de instalaciones eléctricas, mandos de vehículos,

tapizados, elementos de amortiguación, construcción de radios y televisores, piezas para instalaciones eléctricas, botas, zapatos, sandalias, suelas, mangueras, guantes.

Es uno de los materiales termoplásticos más utilizados en la industria de la extrusión, cuyas principales características son:

**Nombre comercial:** TROSIPLAST, COROPLAST, VESTOLIT

**Color y aspecto del material:** son cubos de tres milímetros, incoloros o coloreados en forma transparente u opaca.

Este material es muy elástico, de carácter semejante al caucho. Debido a los efectos plastificantes no es apropiado para embalaje de productos alimenticios.

#### **Temperaturas para moldeo**

Extrusión: 140 – 160 °C

Moldeo por inyección: 150 - 200 °C

Moldeo por soplado: 170 - 180°C

Calandrado: 150 - 200°C

## **2.4. Microcontroladores**

Un microcontrolador es un dispositivo electrónico capaz de llevar a cabo procesos lógicos. Estos procesos o acciones son programados en lenguaje ensamblador por el usuario, y son introducidos en este a través de un programador.

Un aspecto de especial interés para el desarrollador de circuitos basados en microcontroladores son las interfaces de entrada/salida. A través de los pines del chip asociados a las interfaces de entrada/salida el  $\mu C$  puede interactuar con otros circuitos externos enviándoles señales de comando o recibiendo estímulos correspondientes a variables externas. Por lo general varios pines de datos son bidireccionales, es decir pueden configurarse como entradas o salidas.

Cuando son entradas, pueden adquirir datos interpretando el valor de voltaje como un valor lógico 0 o 1, mientras que cuando son salidas pueden entregar una señal binaria de voltaje cuya magnitud dependerá del valor lógico 0 o 1.

Un microcontrolador dispone normalmente de los siguientes componentes:

- Procesador o UCP (Unidad Central de Proceso).
- Memoria RAM para Contener los datos.
- Memoria para el programa tipo ROM/PROM/EPROM.
- Líneas de E/S para comunicarse con el exterior.
- Diversos módulos para el control de periféricos (temporizadores, Puertas Serie y Paralelo, CAD: Conversores Analógico/Digital, CDA: Conversores Digital/Analógico, etc.).
- Generador de impulsos de reloj que sincronizan el funcionamiento de todo el sistema.

Los productos que para su regulación incorporan un microcontrolador disponen de las siguientes ventajas:

- *Aumento de prestaciones:* un mayor control sobre un determinado elemento representa una mejora considerable en el mismo.
- *Aumento de la fiabilidad:* al reemplazar el microcontrolador por un elevado número de elementos disminuye el riesgo de averías y se precisan menos ajustes.
- *Reducción del tamaño en el producto acabado:* La integración del microcontrolador en un chip disminuye el volumen, la mano de obra y los stocks.
- *Mayor flexibilidad:* las características de control están programadas por lo que su modificación sólo necesita cambios en el programa de instrucciones.

### 2.4.1. El Microcontrolador PIC16F877A

El microcontrolador PIC16F877 de Microchip pertenece a una gran familia de microcontroladores de 8 bits (bus de datos) que tienen las siguientes características generales que los distinguen de otras familias:

- Arquitectura Harvard
- Tecnología RISC
- Tecnología CMOS

Estas características se conjugan para lograr un dispositivo altamente eficiente en el uso de la memoria de datos y programa y por lo tanto en la velocidad de ejecución. Para una mayor especificación (ver anexos 1)

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>16F877</b>
Frecuencia maxima	DX-20MHz
Memoria de programa flash palabra de 14 bits	8KB
Posiciones <u>RAM</u> de datos	368
Posiciones EEPROM de datos	256
Puertos E/S	A,B,C,D,E
Número de pines	40
Interrupciones	14
Timers	3
Módulos CCP	2
Comunicaciones Serie	MSSP, USART
Comunicaciones paralelo	PSP
Líneas de entrada de CAD de 10 bits	8
Juego de instrucciones	35 Instrucciones
Longitud de la instrucción	14 bits
Arquitectura	Harvard
CPU	Risc
Canales Pwm	2
Pila Harware	-
Ejecución En 1 Ciclo Máquina	-

**TABLA II.1** Características más relevantes del PIC 16F877A

## **2.5. Sensores de Temperatura**

La temperatura es una variable importante en la mayoría de los procesos industriales.

Su medición y control son vitales para asegurar uniformidad en la calidad de los productos terminados y para mantener dentro de los límites seguros, operaciones que entrañen riesgos de fuego y/o explosión. Dado que la temperatura es en sí, un índice del estado de energía cinética de un material, no puede medirse directamente como se mediría por ejemplo el nivel de un líquido. La medición debe entonces, basarse en los efectos del calor aplicable a los sólidos, líquidos o gases.

El resultado de un incremento o disminución de este calor provoca cambios en alguna de estas características:

- Dimensiones
- Cambio de presión a volumen constante
- Cambio de la fuerza electromotriz (F.E.M.) desarrollada.
- Cambio de la resistencia eléctrica.
- Cambio de la radiación superficial.
- Cambio de color.

### **2.5.1. PT100**

El sensor PT-100 es un sensor de temperatura que basa su funcionamiento en la variación de resistencia a cambios de temperatura del medio. El elemento consiste en un arrollamiento muy fino de Platino bobinado entre capas de material aislante y protegido por un revestimiento cerámico.

Un Pt100 es un tipo particular de RTD (Dispositivo Termo Resistivo).

Normalmente las Pt100 industriales se consiguen encapsuladas en la misma forma que las termocuplas, es decir dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material

(vaina), en un extremo está el elemento sensible (alambre de platino) y en el otro está el terminal eléctrico de los cables protegido dentro de una caja redonda de aluminio (cabezal).

El material que forma el conductor (platino), posee un coeficiente de temperatura de resistencia, el cual determina la variación de la resistencia del conductor por cada grado que cambia su temperatura según la siguiente ecuación:

$$R_t = R_0(1 + \alpha t)$$

**Ecuación II.1** Ecuación que determina la variación de la resistencia

**Donde:**

**R<sub>0</sub>**= resistencia en (ohms) a 0°C

**R<sub>t</sub>** = resistencia en (ohms) a t°C

**t** = temperatura actual

**α** = coeficiente de temperatura de la resistencia cuyo valor entre 0°C y 100°C es de 0.003850 Ω(1/ Ω(1/°C) en la escala Práctica de Temperaturas Internacionales.

El platino es el elemento más indicado para la fabricación de sensores de temperatura por resistencia, ya que, posee lo siguiente:

1. Alto coeficiente de temperatura.
2. Alta resistividad, lo que permite una mayor variación de resistencia por °C.
3. Relación lineal resistencia-temperatura.
4. Rigidez y ductilidad lo que facilita el proceso de fabricación de la sonda de resistencia
5. Estabilidad de sus características durante su vida útil.



**Figura II.2** Sensor de temperatura PT100

#### **2.5.1.1. Ventajas del PT100**

Aunque los Pt 100 son levemente más costosos y mecánicamente no tan rígidos como las termocuplas, las superan especialmente en aplicaciones de bajas temperaturas (-100 a 200 °C).

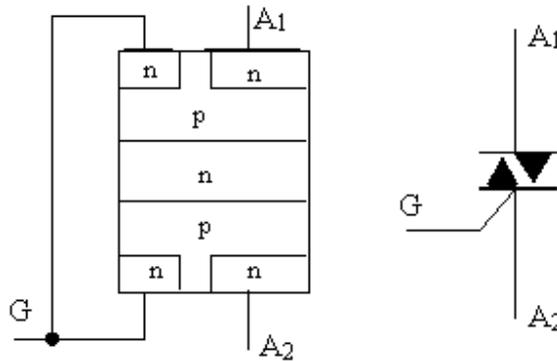
Los Pt100 pueden tener precisiones de una décima de grado con la ventaja que la Pt100 no se descompone gradualmente entregando lecturas erróneas, si no que normalmente se abre, con lo cual el dispositivo medidor detecta inmediatamente la falla del sensor y da aviso. Este comportamiento es una gran ventaja en usos como cámaras frigoríficas donde una desviación no detectada de la temperatura podría producir algún daño grave.

Además la Pt100 puede ser colocada a cierta distancia del medidor sin mayor problema (hasta unos 30 metros) utilizando cable de cobre convencional para hacer la extensión. Más información ver anexo 2.

#### **2.6.TRIACS**

El triac es un dispositivo semiconductor de tres terminales que se usa para controlar el flujo de corriente promedio a una carga, con la particularidad de que conduce en ambos sentidos y puede ser bloqueado por inversión de la tensión o al disminuir la corriente por debajo del valor de mantenimiento.

El triac puede ser disparado independientemente de la polarización de puerta, es decir, mediante una corriente de puerta positiva o negativa.



**Figura II.3** Construcción básica y símbolo del TRIAC

### **Aplicaciones más comunes**

- Su versatilidad lo hace ideal para el control de corrientes alternas.
- Una de ellas es su utilización como interruptor estático ofreciendo muchas ventajas sobre los interruptores mecánicos convencionales y los relés.
- Funciona como interruptor electrónico y también a pila.
- Se utilizan TRIACs de baja potencia en muchas aplicaciones como atenuadores de luz, controles de velocidad para motores eléctricos, y en los sistemas de control computarizado de muchos elementos caseros. No obstante, cuando se utiliza con cargas inductivas como motores eléctricos, se deben tomar las precauciones necesarias para asegurarse que el TRIAC se apaga correctamente al final de cada semiciclo de la onda de Corriente alterna.

Para nuestra aplicación se vio factible la utilización del triac BT139, para más información acerca de los parámetros ver anexo 3.

## **2.7. Opto acopladores**

El manejo de potencia, es decir la manipulación de altas corrientes, de hasta varios centenares de amperios, implica el tener consideraciones de seguridad eléctrica para los operarios y de protección para el sistema digital.

Es deseable que la interconexión entre ambas etapas (la digital y la de potencia) se haga por un medio de acoplamiento que permita aislar eléctricamente los dos sistemas. Esto se puede lograr con los dispositivos llamados OPTOACOPLADORES, mediante los cuales se obtiene un acoplamiento óptico y, al mismo tiempo, un aislamiento eléctrico. Por ello también se les conoce como OPTO AISLADORES.

El acoplamiento se efectúa en el rango del espectro infra-rojo a partir de dispositivos emisores de luz, usualmente IRED (infra-rojo) LEDs (diodos emisores de luz), actuando como emisores y utilizando dispositivos detectores de luz (opto detectores), actuando como receptores.

La gran ventaja de un optoacoplador reside en el aislamiento eléctrico que puede establecerse entre los circuitos de entrada y salida.

En este caso se utilizó el optoacoplador 2N25, del cual las características se pueden ver en anexo 4.

## **2.8. Amplificadores de Instrumentación**

Los acondicionadores de señal, adaptadores o amplificadores, en sentido amplio, son los elementos del sistema de medida que ofrecen, a partir de la señal de salida de un sensor electrónico, una señal apta para ser presentada o registrada o que simplemente permita un procesamiento posterior mediante un equipo o instrumento estándar.

Normalmente, son circuitos electrónicos que ofrecen, entre otras funciones, las siguientes:

- Amplificación.
- Filtrado.
- Adaptación de impedancias.
- Modulación.
- Demodulación.

Para el acondicionamiento de la señal se utilizó el C.I. INA101, el cual presenta diferentes características las cuales podemos ver en anexo 5.

## **2.9. Electroválvulas**

Una electroválvula es una válvula electromecánica, diseñada para controlar el flujo de un fluido a través de un conducto como puede ser una tubería. La válvula está controlada por una corriente eléctrica a través de una bobina selenoidal.

Una electroválvula tiene dos partes fundamentales: el solenoide y la válvula. El solenoide convierte energía eléctrica en energía mecánica para actuar la válvula.

Las especificaciones para electroválvulas son lo que indica lo mínimo que debe de contener para satisfacer todas las condiciones de operación, el tipo de aplicación y los requerimientos del usuario.

### **2.9.1. Electroválvula 3 vías – 2 posiciones**

Esta es la primera de las válvulas que cambia la orientación de la corriente del fluido. En esta válvula como su nombre; lo indica, hay tres bocas de conexión o "puertas".

Este modelo tiene bidireccional y de tres vías con el agujero de la instalación en la parte inferior como se indica en la figura II.4. Se utiliza para controlar todas las clases de gas en baja temperatura.



**Figura II.4.** Electroválvula

Model	Material	Principium	Orifice (mm)	Operating voltage (v)	Operating pressure range (bar)	Fluid	Fluid temp (°C)
Q23-2	Brass	plunger	2	DC: 24  AC: 36,110,220	0-8	AIR/LI QUID	0-180 °C

**Tabla. II.2.** Características y Especificaciones de válvula electromagnética

### 2.10. Motores asincrónicos

Los motores asíncronos o de inducción son un tipo de motores eléctricos de corriente alterna. El primer prototipo de motor eléctrico capaz de funcionar con corriente alterna fue desarrollado y construido por el ingeniero Nikola Tesla y presentado en el *American Institute of Electrical Engineers* (en español, *Instituto Americano de Ingenieros Eléctricos*, actualmente IEEE) en 1888.

El motor asíncrono trifásico está formado por un rotor, que puede ser de dos tipos: a) de jaula de ardilla; b) bobinado, y un estátor, en el que se encuentran las bobinas inductoras. Estas bobinas son trifásicas y están desfasadas entre sí 120°. Según el *Teorema de Ferraris*, cuando por estas bobinas circula un sistema de corrientes trifásicas, se induce un campo

magnético giratorio que envuelve al rotor. Este campo magnético variable va a inducir una tensión en el rotor según la Ley de inducción de Faraday:

$$\mathcal{E} = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

**Ecuación II.2.** Ley de inducción de Faraday

Entonces se da el *efecto Laplace* (ó efecto motor): todo conductor por el que circula una corriente eléctrica, inmerso en un campo magnético experimenta una fuerza que lo tiende a poner en movimiento. Simultáneamente se da el *efecto Faraday* (ó efecto generador): en todo conductor que se mueva en el seno de un campo magnético se induce una tensión.

El campo magnético giratorio, a velocidad de sincronismo, creado por el bobinado del estator, corta los conductores del rotor, por lo que se genera una fuerza electromotriz de inducción.

La acción mutua del campo giratorio y las corrientes existentes en los conductores del rotor, originan una fuerza electrodinámica sobre dichos conductores del rotor, las cuales hacen girar el rotor del motor.

La diferencia entre las velocidades del rotor y el campo magnético se denomina deslizamiento.

## **CAPITULO III**

### **DISEÑO MECÁNICO DE LA MÁQUINA EXTRUSORA**

En este capítulo se indica el cálculo de los parámetros fundamentales para el diseño de los elementos del prototipo mediante el software AUTOCAD 2010.

#### **3.1. Análisis inicial**

##### **3.1.1. Máquinas por extrusión**

El proceso tecnológico propiamente dicho se distingue por su periodicidad y se determina por los siguientes parámetros fundamentales:

- Temperatura
- Cantidad de material que admite el cilindro de extrusión
- Presión y velocidad de extrusión
- Duración del ciclo
- Rendimiento térmico del cilindro de extrusión
- Índice de pérdidas de presión del cilindro de extrusión
- Capacidad plastificadora de la máquina.

Para calcular los parámetros fundamentales de una máquina de extrusión basta conocer el volumen del artículo a extruir, la velocidad y la presión específica de extrusión.

Los materiales con que se elabora el husillo tienen un mayor grado de homogeneidad, superior calidad y resultan con menores daños debido a la temperatura y la presión del cilindro. Estos dispositivos plastifican simultáneamente.

Debido a la rotación del husillo, el material se calienta, se funde a presiones que oscilan entre 100 bares y 1500 bares. Bajo estas características se procede al diseño de los elementos fundamentales del prototipo basándose en conceptos mecánicos básicos, de la siguiente manera:

### 3.1.2. Transferencia de calor

**Calor:** Es la energía que fluye de un cuerpo a otro, debido a la diferencia de temperatura que hay entre ellos, se mide en calorías, kilocalorías o Btu, siendo  $1 \text{ cal} = 3.98 \text{ Btu}$ .

El calor suministrado a un material, puede cambiar su estado físico por ejemplo de sólido a líquido o de líquido a gas. La cantidad necesaria por unidad de masa para un material determinado es su calor específico de transformación.

Como el calor es una forma de energía se puede medir en unidades mecánicas (joules), sabiendo que  $1 \text{ kcal} = 4187 \text{ J}$ .

La energía puede transmitirse entre objetos con diferentes temperaturas: por conducción, convección y radiación. Para el prototipo existe una transferencia de calor por conducción cuya ecuación es:

$$H = -KA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$\Delta T = T_f - T_o$$

$$\Delta x = x_f - x_o$$

**Ecuación III.3** Ecuación de la conducción del calor.

Donde:

**H:** es la rapidez con respecto al tiempo de la transmisión de calor a través del área A, medido en calorías por segundo.

**A:** área de la sección recta, medida en  $m^2$

$\frac{\Delta T}{\Delta x}$  : Gradiente de temperatura (  $\Delta T$  diferencial de temperatura;  $\Delta x$  espesor del cuerpo).

**K:** constante de proporcionalidad, denominada conductividad térmica de acuerdo al material su valor está tabulado, así por ejemplo para el acero  $K = 11 \text{ cal/mcs}$

La dirección del flujo de calor es aquella en la que “x” aumenta; como el calor fluye en la dirección en que T disminuye, se introduce el signo menos.

Una sustancia que tenga una conductividad térmica K grande es un buen conductor del calor, si el valor es pequeño será un mal conductor o un buen aislante térmico.

La transmisión de calor desde la resistencia a la masa fundida será:

$$H = -k\left(\frac{T-T_o}{L}\right)$$

Donde:

**T:** Temperatura de la fuente de mayor calor. (280° C)

**T<sub>o</sub>** : Temperatura a la que se transfiere a través de las paredes al material fluido. (250° C)

**L:** Espesor de la pared del cuerpo. (0.003 m)

**A:** área de la sección recta. (0.075 m<sup>2</sup>)

$$H = - \frac{11 * (280 - 250) * 0.075}{0.003}$$

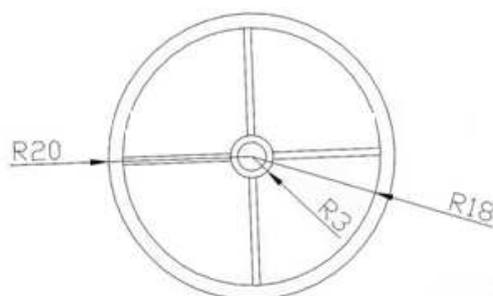
$$H = -8250 \text{ cal/s}$$

### **3.1.3. Elementos del prototipo.**

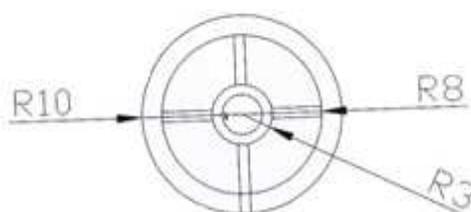
#### **3.1.3.1 Poleas**

Son elementos de transmisión de energía desde el motor hacia el husillo, es una aleación de aluminio con excelentes propiedades mecánicas para evitar rupturas, se utiliza este elemento para obtener un mayor aprovechamiento del par del motor, se instala dos poleas de distintos diámetros para tener una relación de velocidad de 2:1, es decir que si el motor gira a una velocidad de 60 rpm el husillo va a girar a una velocidad angular de 30 rpm.

Como se puede observar en la Figura III.5 y Figura III.6, la polea de menor diámetro es de 0.1 m y está conectada al motor, y la polea de mayor diámetro está conectada al husillo y están conectada entre sí mediante una banda. Estas tienen un solo canal.



**Figura III.5** dimensiones de la polea mayor



**Figura III.6** Dimensiones de la polea menor

### 3.1.3.2 Banda

Las bandas en V, se emplean mucho para la transmisión de energía, son de sección trapezoidal que encajan en ranuras en forma de V de las poleas, se escogió este sistema de transmisión porque son silenciosas, capaces de absorber los choques y con bajas presiones de apoyo, permiten transmitir torques de magnitud considerable antes de que se presente deslizamiento.

Una banda en V debe trabajar con su superficie engrasando aproximadamente con la parte superior del canal de la polea.

Las transmisiones con banda en V se emplean mucho en la transmisión de motores eléctricos o de combustión cuya potencia es una fracción de HP o baja velocidad. También se emplean para poleas de diámetro pequeño.

Para determinar la longitud de las bandas y la distancia entre los ejes de las poleas se utiliza la siguiente ecuación:

$$L = 2C + 1.57 (D + d) + \frac{(D - d)^2}{4C}$$

**Ecuación III.4** Ecuación para calcular la longitud de una banda

Donde:

**D:** Diámetro polea mayor. (0.2 m)

**D:** Diámetro polea menor. (0.1 m)

**C:** Distancia entre los ejes de las poleas. (0.56 m)

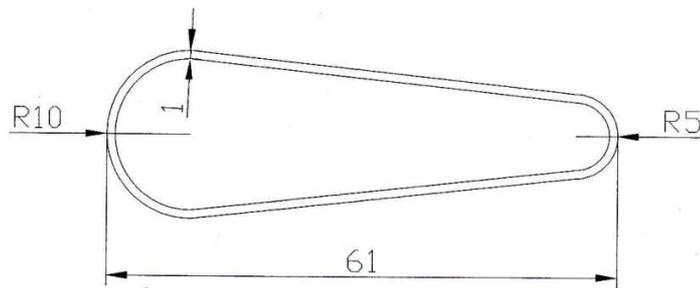
**L:** Longitud de la banda.

$$L = 2 * 22.24 + 1.57 (7.87 + 3.94.) + \frac{(7.87 - 3.94)^2}{4 * 22.24}$$

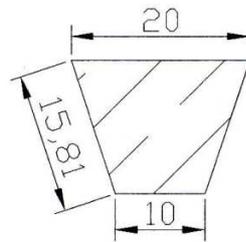
$$L = 61.18 \text{ in}$$

$$L = 1.55 \text{ m}$$

Lo que corresponde según las tablas de la norma ANSI a la banda 61A, cuyas dimensiones principales se pueden observar en la Dimensiones de la banda 61A y Corte Transversal de la banda 61A.



**Figura III.7** Dimensiones de la banda 61A



**Figura III.8** Corte transversal de la banda 61A

### 3.1.3.3 Chumacera

Los cojinetes de contacto rodante (chumaceras) sirven para soportar y ubicar los ejes o partes que giren en las máquinas. Transfieren las cargas entre los miembros rotatorios y estacionarios; permiten la rotación relativamente libre con un mínimo de fricción. Constan de elementos rodantes (bolas) entre un anillo exterior y un anillo interior. Se usan las jaulas para interponer espacio entre los elementos rodantes.

Los anillos interior y exterior de un cojinete de contacto rodante están hechos normalmente de acero endurecido. Los elementos rodantes o bolas, se hacen normalmente del mismo material y tienen el mismo acabado de los anillos, uno de los problemas principales es la corrosión por lo que se deben lubricar.

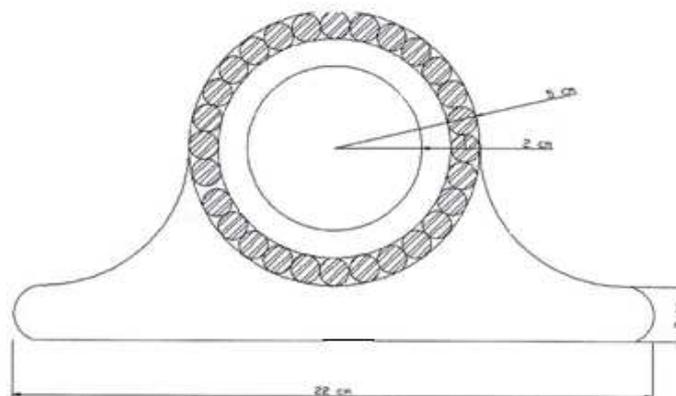
Existe una amplia variedad de cojinetes y su selección depende del tipo de carga a soportar velocidad de operación, temperatura en condiciones de operación, ambiente de trabajo.

De acuerdo al diseño de la máquina, el husillo debe estar en voladizo por lo que son necesarias dos chumaceras para que se alinee y el eje de rotación del husillo es horizontal.

La carga que soporta las chumaceras es radial debido a la tensión de la banda y al peso del husillo por el otro extremo.

Debido a que soporta la chumacera es mínima y su velocidad de rotación de igual manera la selección se lo realiza en función de diámetro de husillo y el ambiente de trabajo y las dimensiones se pueden observar en la Figura III.9

Por lo tanto el diámetro interno que debe tener la chumacera es de 20 mm auto lubricado de bolas en una sola hilera.



**Figura III.9** Dimensiones de la chumacera

## 3.2 Selección y elaboración de materiales

### 3.2.1 Husillo

En la industria de la mayoría de los plásticos se usan máquinas de un tornillo, mientras que las más complicadas máquinas de dos tornillos se emplean especialmente para la obtención del fluido del PVC líquido.

En el prototipo se utiliza un tornillo (husillo) el mismo que está maquinado de un acero DF cuya tensión máxima es de  $1200 \text{ Kg/cm}^2$ , cuyas características permiten que su desgaste sea mínimo por el efecto del rozamiento del material a transportar.

Los datos principales del tornillo son:

- ✓ Diámetro **D**.
- ✓ Largo de la parte roscada **L**.
- ✓ Paso del roscado **b**.
- ✓ Angulo del roscado  $\phi$ .
- ✓ Profundidad del canal **h**.
- ✓ Ancho de la cresta del roscado **e**.

El largo del husillo tiene relación directa con su diámetro, pudiendo ser 20, 24 hasta 30 veces el diámetro del husillo; la profundidad del canal suele ser variable, se relaciona directamente con el tamaño de las partículas de la materia prima, variando también la sección transversal del canal. El canal representa un tubo de sección rectangular, maquinado en espiral. Al girar el tornillo tal tubo se forma por la parte inmóvil del cilindro y la parte móvil del tornillo. En el canal ingresan las partículas sólidas del polímero, que se ponen en movimiento por el tornillo. Antes de llegar a la boquilla, el material es calentado y se convierte en fundición encontrándose bajo presión.

Para obtener el producto homogéneo es necesario que la fundición sea homogénea, de temperatura y viscosidad iguales en todo el largo del chorro en su salida del tornillo.

El movimiento de las partículas sólidas del polímero en el canal encuentra la resistencia en las fuerzas de fricción externa, originadas por el contacto del polímero con la superficie del tornillo y del cilindro. Cuando se mueve el polímero fundido, las partículas que se encuentran en las paredes del cilindro permanecen inmóviles, mientras que los demás, algo distanciados a las paredes, se trasladan con diferentes velocidades relativas, lo que permite la presencia de fuerzas de rozamiento del fluido al trasladarse.

En un husillo se pueden determinar **DOS ZONAS** para la fundición del material, de la siguiente manera:

La primera donde se trasladan las partículas no fundidas se llama **zona de carga** o de alimentación; **zona de plastificación** (compresión) en el sector donde el polímero se funde; donde fluye la fundición del material.

Los límites entre las zonas convencionales pueden variar de acuerdo al flujo de la fundición que sale del canal.

- **Alabes o filetes:** Los alabes o filetes, que recorren el husillo de un extremo al otro, son los verdaderos impulsores del material a través del extrusor. Las dimensiones y formas que estos tengan, determinarán el tipo de material que se pueda procesar y la calidad de mezclado de la masa al salir del equipo.
- **Profundidad del Filete en la Zona de Alimentación (h) :** Es la distancia entre el extremo del filete y la parte central o raíz del husillo. En esta parte, los filetes son muy pronunciados con el objeto de transportar una gran cantidad de material al interior del inyector, aceptado el material sin fundir y aire que está atrapado entre el material sólido.
- **Profundidad del Filete en La Zona de Descarga o Dosificación:** En la mayoría de los casos, es mucho menor a la profundidad de filete en la alimentación. Ellos tienen como consecuencia la reducción del volumen en que el material es transportado, ejerciendo una compresión sobre el material plástico. Esta compresión

es importante para mejorar el mezclado del material y la expulsión del aire que entra junto con la materia prima alimentada.

- **Relación de compresión:** Como la profundidad de los alabes no son constantes, se diseñan dependiendo del tipo de material a procesar, ya que los plásticos tienen comportamiento distinto al fluir. La relación entre la profundidad del filete en la descarga, se denomina relación de compresión.
- **Longitud:** Tiene una importancia especial; influye en el desempeño productivo de la máquina y en el costo de ésta. Funcionalmente, al aumentar la longitud del husillo y consecuentemente la del extrusor, también aumenta la capacidad de plastificación y la productividad de la máquina. Otro aspecto que se mejora al incrementar la longitud es la calidad del mezclado, en un extrusor pequeño la longitud es suficiente para fundir el material al llegar al final del mismo aunque la fundición no es homogénea.

En las mismas condiciones, un husillo mayor fundirá el material antes de llegar al final y en el espacio sobrante seguirá mezclando hasta entregarlo homogéneo. Esto es importante cuando se procesan materiales pigmentados, de cargas o aditivos que requieran incorporarse perfectamente en el producto.

- **Diámetro:** Es la dimensión que influye directamente en la capacidad de producción de la máquina, generalmente crece en proporción con la longitud del equipo. A diámetros mayores, la capacidad en Kg./ h es superior. Al incrementar esta dimensión debe hacerlo también la longitud de husillo, ya que el aumento de la productividad debe ser apoyada por una mejor capacidad de plastificación.

De la importancia que tienen la longitud y el diámetro del husillo, y con base en la estrecha relación que guardan entre sí, se acostumbra especificar las dimensiones principales del husillo como longitud/ diámetro (L/D).

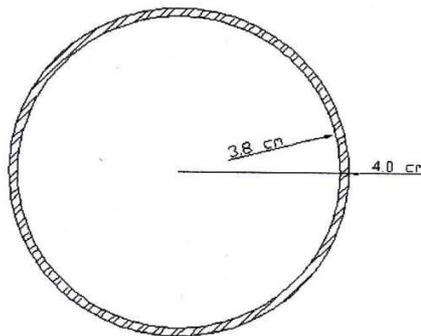
### 3.2.2 Cilindro

Uno de los principales órganos de la máquina es el cilindro (Ver Figura III.10 y Figura III.11) que debe ser de una considerable solidez (presión máxima calculada para determinar el espesor de las paredes  $400 - 500 \text{ Kg./ cm}^2$ ), la rigidez y al inercia térmica. El cilindro se fabrica de un caño de pared gruesa. Para justificar la elección del espesor del cilindro se realizaran los cálculos para paredes delgadas.

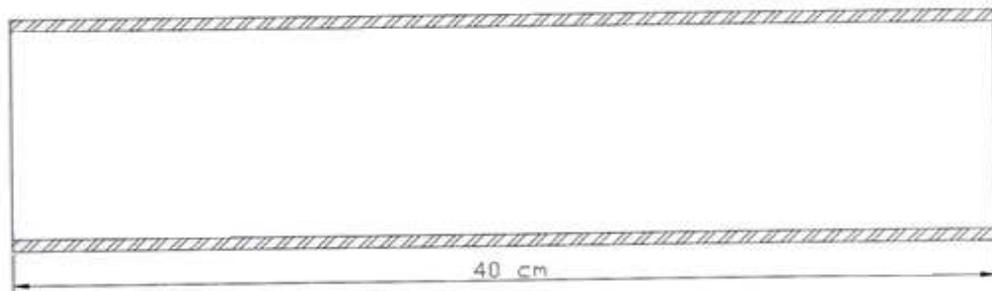
Las paredes del cilindro deben ser suficientemente sólidas como para resistir la presión de extrusión a la temperatura de  $200^\circ \text{ C}$  además debe asegurar la uniformidad del calor en el tiempo mínimo de calentamiento del prototipo.

### 3.2.3 Boquilla o torpedo

En la parte delantera del cilindro se acopla la boquilla, generalmente en forma de cono que está unida al molde. La tarea del torpedo es obligar al material a pasar en capas delgadas que se forman entre el cono y el maquinado cónico del husillo, lo que acelera la temperatura uniforme de fundición. El diámetro exterior del torpedo corresponde al interior del cilindro y el diámetro interior del torpedo mas una holgura (para que fluya la fundición) corresponde al diámetro exterior de la cabeza del cono del husillo (ver Figura III.12)



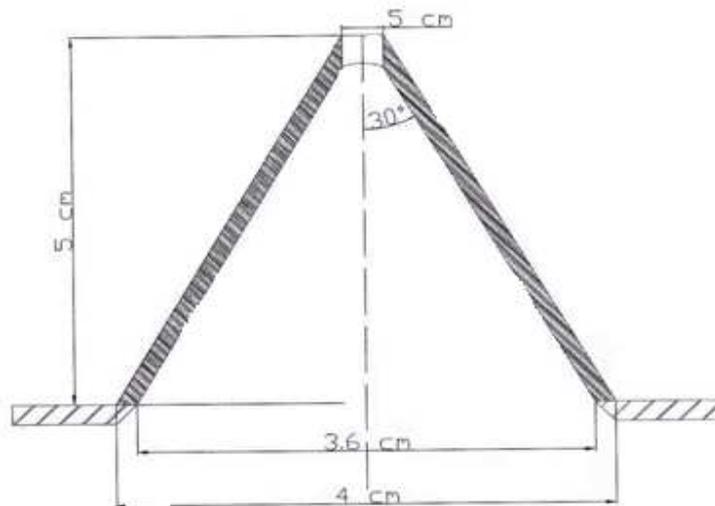
**Figura III.10** Corte Transversal del cilindro.



**Figura III.11** Dimensiones longitudinales del cilindro.

Las funciones principales del torpedo son:

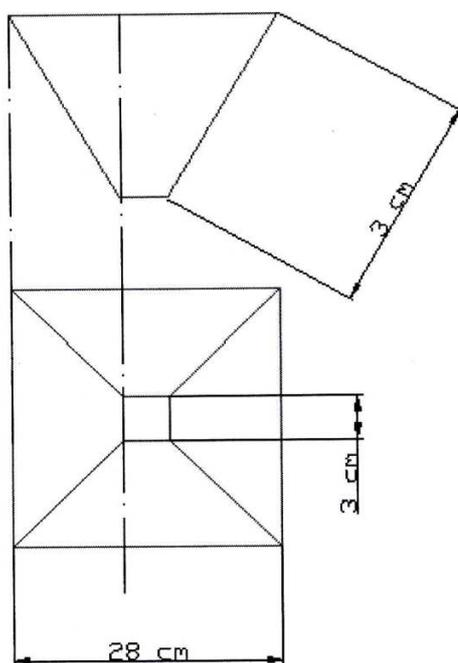
- ✓ Aumento de la capacidad plastificadora del cilindro.
- ✓ Distribución uniforme de la temperatura dentro del material.
- ✓ Menor esfuerzo de inyección.
- ✓ Menores pérdidas de la presión.
- ✓ Aumentar la velocidad de salida del material.



**Figura III.12** Boquilla o torpedo.

### 3.2.4 Tolva

Para la alimentación del material a ser procesado al cilindro se utiliza la tolva, cuyas dimensiones están en función del volumen a procesar en la Figura III.13 la base rectangular facilita la caída del material al interior del cilindro por medio de la gravedad.



**Figura III.13** Dimensión de la tolva

## **CAPITULO IV**

### **ANÁLISIS DEL CONTROL ELECTRÓNICO DE LA MÁQUINA EXTRUSORA**

En el presente capítulo se procederá hacer un análisis del diseño del control del sistema, ya que se debe tener un enfoque global del problema así como de los elementos principales que coadyuvan al éxito del mismo.

#### **4.1. Análisis y tipo de control**

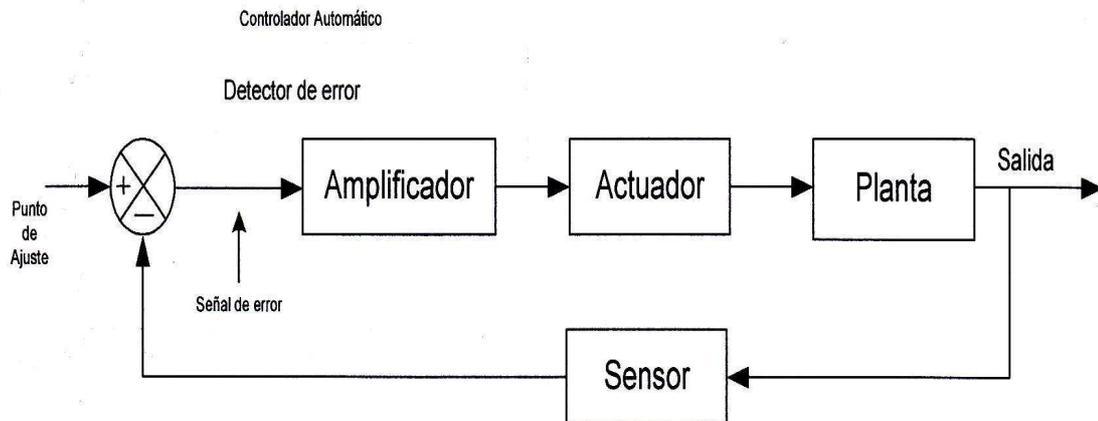
La ingeniería del Control Automático juega un papel fundamental en los sistemas y procesos tecnológicos modernos. Los beneficios que se obtienen con un buen control pueden llegar a ser numerosos. Estos beneficios incluyen productos de mejor calidad, menor consumo de energía, minimización de desechos, mayores niveles de seguridad y reducción de la contaminación.

El control automático es el mantenimiento de un valor deseado dentro de una cantidad o condición, midiendo el valor existente, comparándolo con el valor deseado, y utilizando la diferencia para proceder a corregirla. En consecuencia, el control automático exige un lazo cerrado de acción y reacción que funcione sin intervención humana.

El éxito en los proyectos de control depende de dos ingredientes claves:

- Un conocimiento profundo del proceso, obtenido a través del estudio de los aspectos más relevantes (físicos, químicos, etc....)
- El dominio de los conceptos fundamentales de la teoría de señales, sistemas y de realimentación.

Como se puede observar en la Figura IV.14, el control por realimentación tiene una larga historia que comenzó con el deseo primordial de los seres humanos de dominar los materiales y las fuerzas de la naturaleza en su provecho.



**Figura IV.14** Acciones Básicas y elementos de Control Realimentado.

Los primeros ejemplos de dispositivos de control incluyen los sistemas de regulación de relojes y los mecanismos para mantener los molinos de viento orientados en la dirección del viento.

Para el éxito del diseño de control se debe tener un enfoque global del problema. Los elementos principales que se debe tener en cuenta son:

- La planta, el elemento a ser controlado.
- Los sensores.
- Los actuadores.
- Los algoritmos.
- Las perturbaciones.

#### 4.1.1. La Planta

Es la estructura física en si del prototipo, para el control es el problema intrínseco. Se debe tener en cuenta un conocimiento general de su funcionamiento, sus elementos primarios, consumo de energía, elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos. Por lo tanto se identifica la planta del prototipo con los siguientes elementos:

- Elementos primarios: Husillo, cilindro, boquilla.
- Elementos mecánicos: Chumaceras, poleas, banda.
- Elementos eléctricos: Válvula de gas, motor asincrónico
- Elementos electrónicos: Microcontrolador, sensores, sistemas de transmisión y procesadores de señal.



**Figura IV.15** Vista externa de la planta.

#### **4.1.2. Los sensores**

Permiten observar lo que está sucediendo en el proceso del prototipo, miden la variable básica controlable como es la temperatura en el cilindro. Por lo tanto se necesitan un sensor de temperatura. (Ver capítulo II sección 2.5)

#### **4.1.3. Los Actuadores**

Una vez obtenida la información necesaria mediante los sensores, se debe actuar sobre el sistema para lograr el set point (SP) deseado sobre la temperatura. Por lo tanto se necesitan dos instrumentos que actúen directamente con la temperatura, estos serían:

- Temperatura: Electroválvula de Gas
- Presión: Tiene relación directamente proporcional con el torque del motor.

#### **4.1.4. Los Algoritmos**

Es el corazón del prototipo. Es el modo de ser procesada la información que proporcionan los sensores y modo de operar, sobre la extrusora, de los actuadores.

#### **4.1.5. Las perturbaciones**

El prototipo de un sistema real, por lo tanto, está expuesto a ruido y perturbaciones externas. Estos elementos tienen un impacto significativo en el rendimiento del prototipo.

Un ejemplo claro de estas perturbaciones es el ruido producido por el motor, este hace que la señal de los sensores se sume otra con una frecuencia de 60 hz. Lo que dificulta el procesamiento de ésta y proporciona datos erróneos del estado de la máquina.

Los controlares industriales analógicos, se pueden clasificar de acuerdo con sus acciones de control, de la siguiente forma:

- Controladores de dos posiciones, o intermitentes (encendido - apagado)
- Controladores proporcionales.
- Controladores integrales.

- Controladores tipo proporcional – integral.
- Controladores tipo proporcional – derivativo.
- Controladores tipo proporcional – integral – derivativo.

#### 4.2. Acción de Control de dos posiciones, ON – OFF

En un sistema de control de dos posiciones, el actuador tiene solo dos estados fijos, que en muchos casos son “encendido y apagado”, se puede observar el diagrama de bloques en la Figura IV.16.

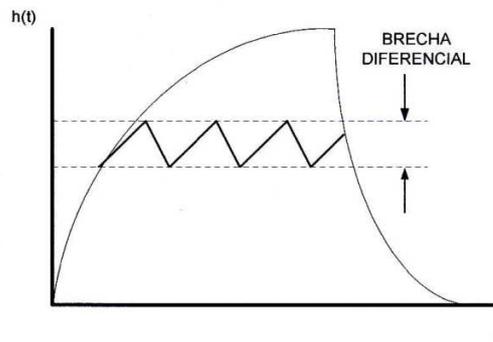
El control On – Off es una repuesta básica al problema de control en la industria, pero con ciertos problemas:

- Se puede tener un periodo de vida útil relativamente corto en los elementos eléctricos especialmente en la válvula de gas, ya que su cambio de condición es brusco (encendido o apagado).
- Partiendo desde el tipo de proceso que se necesita controlar, el PVC tiene la capacidad de fundirse en un rango de temperatura de  $\pm 10$  °C del recomendado (ver zonas de temperatura para la extrusión con cloruro de polivinilo., es por eso que se utiliza este tipo de control ya que no se necesita mucha precisión en el SP de temperatura del proceso.
- El uso de un microcontrolador da más facilidades de utilizar este tipo de control .Ya que solo se necesita una entrada análoga y una salida digital para cada etapa de calentamiento.
- Si el rango de la brecha diferencial crece, la amplitud de las oscilaciones crece afectando la velocidad del cambio en la entrada.
- Sea  $u(t)$  la señal de salida del controlador y  $e(t)$  la señal de erro. En un controlador On – Off  $u(t)$  permanece en un valor máximo o mínimo, según sea la señal de error positiva o negativa de manera que:

$$u(t) = U_1; \text{ para } e(t) > 0$$

$$u(t) = U_2; \text{ para } e(t) < 0$$





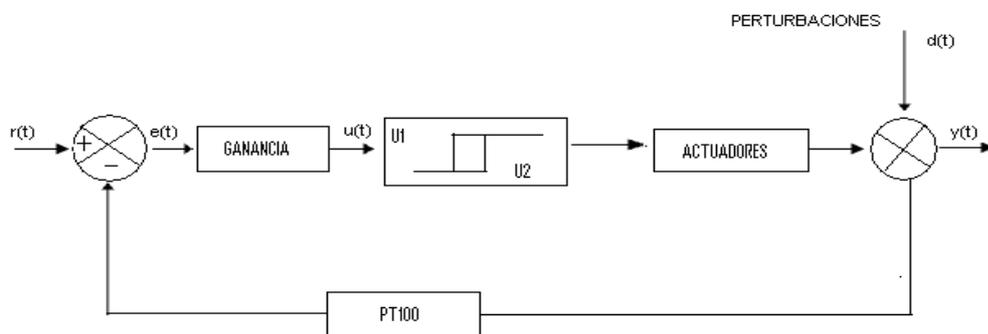
**Figura IV.18** Nivel  $h(t)$  en función de  $t$  para control on – off con brecha diferencial

Como se puede observar en la Figura IV.18 la señal de salida fluctúa continuamente entre los dos límites requeridos para producir la acción de actuador desde una posición fija a otra.

### 4.3. Control de Temperatura

El tipo de control que es usado más comúnmente en la industria es el control on – off, que es una forma simple de controlar un proceso con realimentación con alta ganancia. Se va a obtener una respuesta estable con mayor rapidez que en un sistema de lazo abierto.

En la Figura IV.19 se observa el tipo de control que se va a implementar en el prototipo, en donde, el grado de dificultad no se encuentra en el control en sí, si no, en las perturbaciones  $d(t)$  que provocaría el ruido producido por el motor asíncrono y el entorno las cuales debería ser eliminadas para no tener datos erróneos.



**Figura IV.19** Diagrama de bloques del proceso.

#### 4.4. Control de Presión

Los controladores PID también son utilizados en la industria, este tipo de controlador no ajusta la ganancia proporcional si no que actúa sobre la banda proporcional, además es un compensador en atraso – adelanto, su estabilidad es proporcional a su ganancia proporcional.

Un controlador PID dispone de un componente proporcional ( $K_p$ ), un componente integral ( $T_i$ ) y un componente derivativo ( $T_d$ ), de tal manera que produce una señal de control igual a:

$$G_c(s) = k_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} - T_d s \right)$$

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{k e^{-is}}{Ts+1}$$

**Ecuación IV.5** Función de transferencia del control PID.

Donde la acción integral del controlador tiene su mayor efecto sobre la respuesta estacionaria del sistema y la acción derivativa tiene su mayor efecto sobre la parte transitoria de la respuesta.

El control que realiza el microcontrolador es de tipo on – off, en el cual interviene el tiempo transcurrido entre etapas.

## **CAPITULO V**

### **CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE LA MÁQUINA EXTRUSORA**

En base al análisis y selección de los instrumentos e integrados más idóneos para el sistema, se procederá a realizar la construcción e instalación del mismo.

Tomando los conceptos del capítulo anterior se ha diseñado un sistema de control de temperatura donde vamos a detallar las diferentes etapas del sistema. Además se realizara el diseño en software de la etapa de sensamiento y adquisición de datos, utilizando MICROCODE STUDIO como el software más adecuado para el desarrollo de esta etapa, siendo la más importante de nuestro sistema.

La construcción e instalación de la máquina extrusora contemplo las siguientes fases en su instalación:

- Montaje Mecánico
- Montaje Eléctrico y Electrónico

#### **5.1. Montaje mecánico**

Con las partes mecánicas elaboradas se procedió al montaje de los elementos siguiendo el siguiente procedimiento. (Ver figura V.20)



**Figura V.20** Procedimiento del montaje mecánico del prototipo

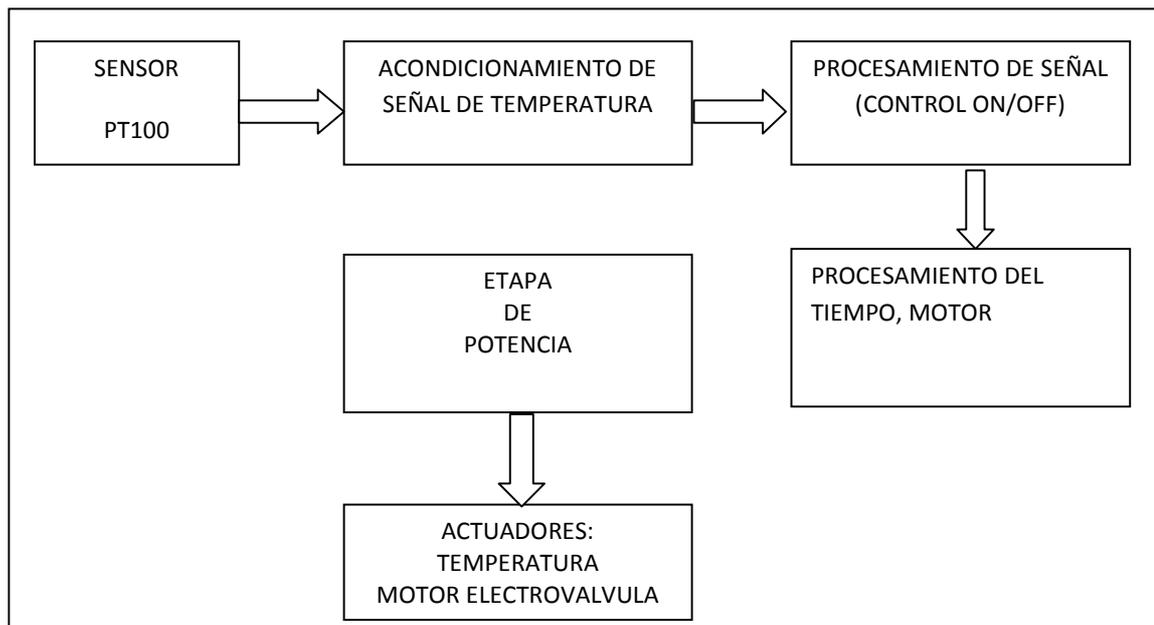
El plano de construcción de la maquina extrusora se especifica en el anexo 6.

## 5.2. Montaje eléctrico y electrónico

A continuación se detalla el diagrama de bloques del diseño electrónico.

Se inicia el montaje eléctrico y electrónico con el diseño e implementación en PCB (**Printed circuit board**) de los circuitos descritos a continuación:

- Circuito amplificador de instrumentación.
- Circuito de potencia
- Circuito de control de la electro válvula
- Circuito de control del sistema



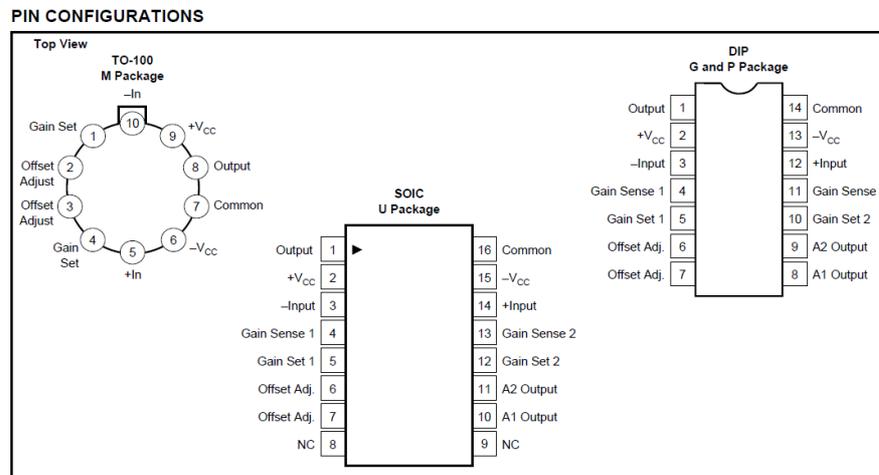
**Figura V.21** Diagrama de bloques del diseño electrónico

## 5.2.1. Acondicionamiento de la señal (PT100)

### 5.2.1.1. Amplificador Instrumentación (INA 101)

Para el diseño del circuito de acondicionamiento de la señal se utilizó un amplificador de instrumentación el cual es un dispositivo creado a partir de amplificadores operacionales; está diseñado para tener una alta impedancia de entrada y un alto rechazo al modo común (CMRR). Se puede construir a base de componentes discretos o se puede encontrar encapsulado como por ejemplo el INA10.

El CI INA101 es un amplificador de instrumentación de alta precisión diseñados para la amplificación de la señal de bajo nivel y los datos de uso general de adquisición, la figura V.23 presentada a continuación es el diagrama del circuito integrado, el pt100 es conectado a los pines 3 y 14 que son entradas a un amplificador de fase. Este usa temperatura ambiente como referencia para compensar la compensación por 0 que necesitan los PT100.



**Figura V.22** Diagrama Interno del CI. INA101

El circuito de la compensación desarrolla un voltaje igual a la deficiencia que se da en la temperatura local del PT100 referenciada. Este voltaje se aplica entonces a un segundo preamplificador cuyo rendimiento se suma con el rendimiento del amplificador de la

entrada. El rendimiento resultante se aplica entonces a la entrada de un amplificador de rendimiento principal con la regeneración para poner la ganancia de los signos combinados.

A través del camino de la regeneración, el amplificador principal mantiene un equilibrio en sus entradas. En caso de que el PT100 este roto o el circuito este abierto a la entrada del dispositivo, estas entradas se desequilibran, la falta se descubre, y el circuito de descubrimiento de carga excesiva maneja un transistor del n-p-n actualmente limitado que puede unirse como una alarma.

### **5.2.2. Proceso en el PIC 16F877A**

Para la programación del PIC se utilizo el lenguaje MICROCODE Studio, que facilita tanto la presentación en el LCD, el control ON/OFF con instrucciones básicas de programación. Además permite la simulación del programa, que es una herramienta muy útil para ahorrar tiempo en la realización.

El diagrama de flujo de la programación del PIC se puede observar en la Figura V.23.

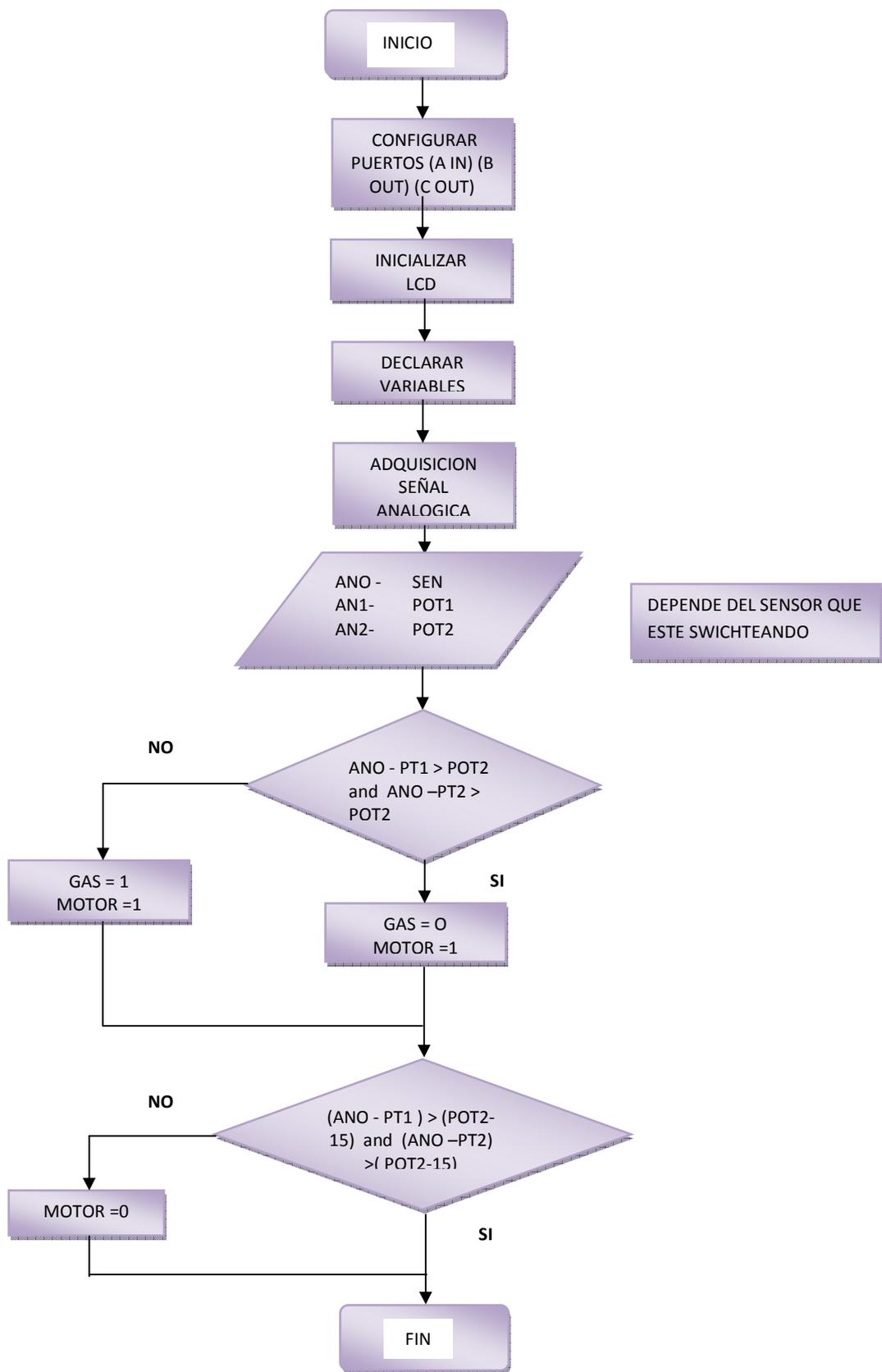


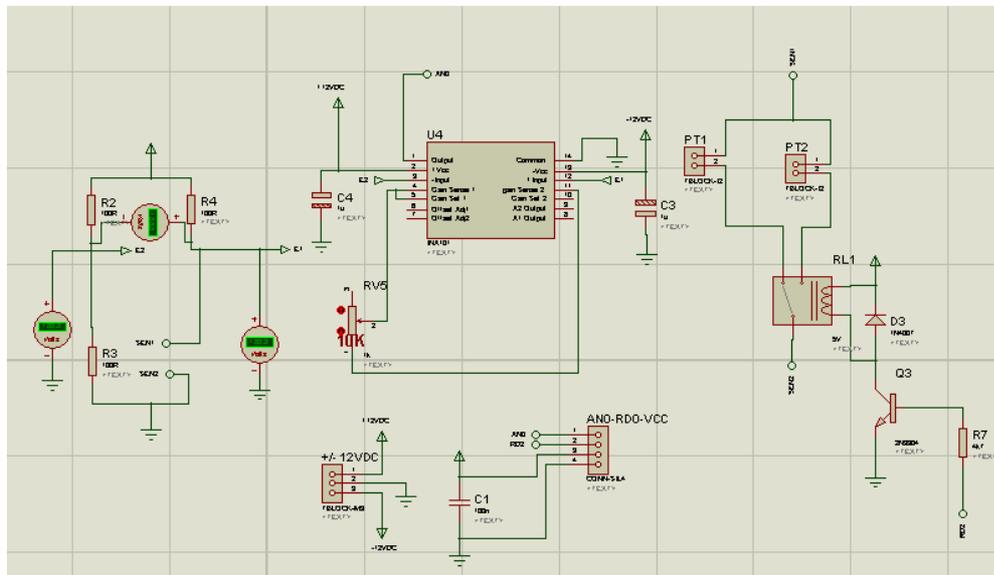
Figura V.23 Diagrama de flujo de la Programación del PIC

### 5.3. Diseño de PCB (Printed circuit board)

El diseño de las placas del circuito se realizó en el programa Proteus 7 Profesional que permite elaborar placas. Se procedió al diseño de los circuitos dando como resultado:

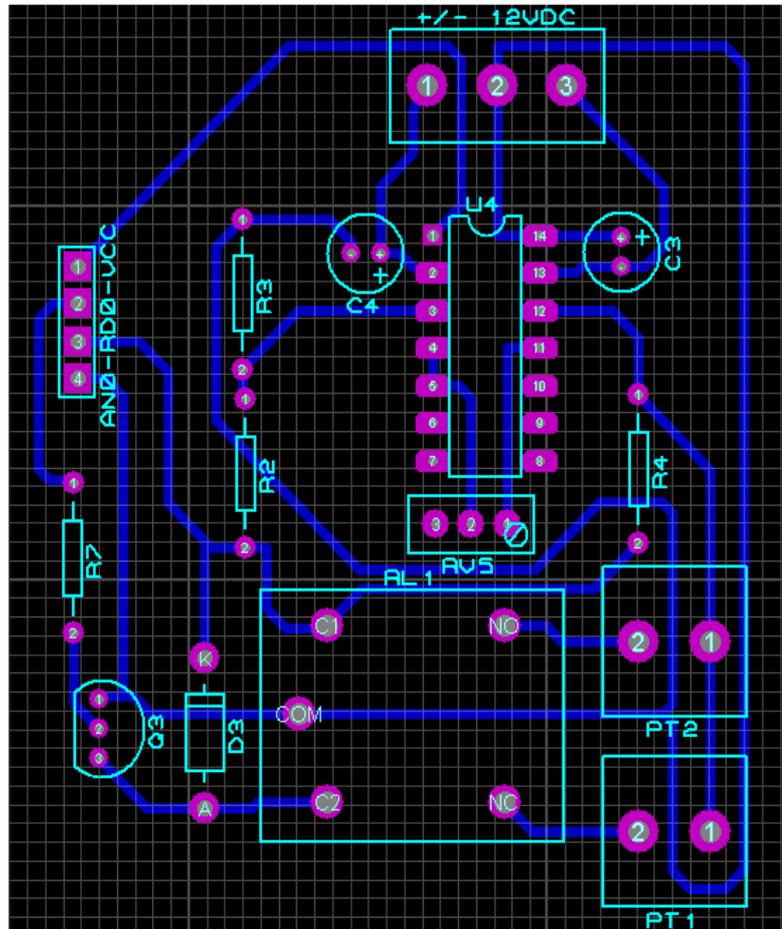
#### 5.3.1. Circuito amplificador de instrumentación

El circuito de acoplamiento de la señal se observa en la figura V.25 que consta esencialmente de un CI INA101 que recibe las señales de los dos PT100, este acondiciona su señal para ingresar al  $\mu\text{C}$  utilizando tan solo una fuente simétrica como aconseja el fabricante de  $\pm 12\text{Vdc}$ .



**Figura V.24.** Diagrama esquemático del Circuito amplificador de instrumentación.

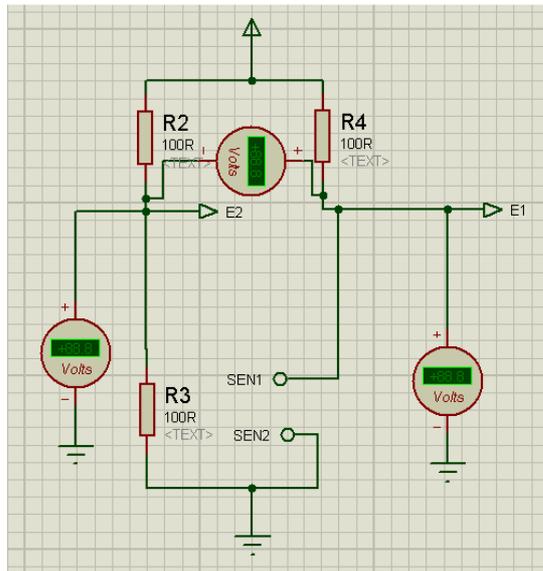
Para que se puedan activar los relés y permitan conmutar entre los dos PT100 se utilizan transistores 2N3904 para que funcionen en estado de corte-saturación con la señal proveniente del PIC, se utilizan las resistencias necesarias para esa configuración y diodos leds para observar su estado; la placa tiene sus respectivas borneras para su conexión.



**Figura V.25.** Circuito amplificador de instrumentación.

Donde el PT100 trabaja a través de un Puente de Wheatstone para lograr una mayor eficiencia, y a su vez una ganancia adecuada a través de un amplificador operacional.

A continuación se detallan los cálculos para el puente de Wheatstone:



**Figura V.26.** Puente de Wheatstone

$$V_{R2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times 10V$$

$$V_{R2} = \frac{100\Omega}{100 + 100} \times 10V$$

$$V_{R2} = 0.5 \times 10V$$

$$V_{R2} = 5V$$

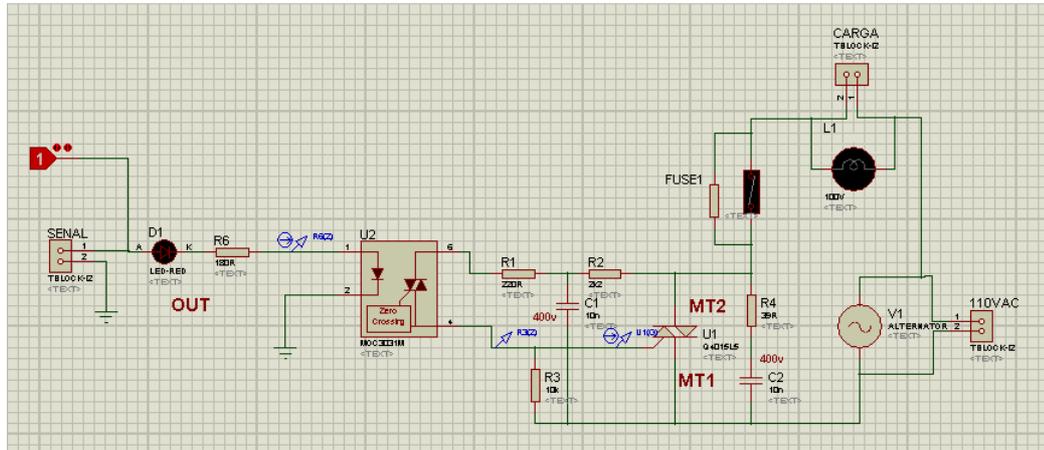
$$V_T = V_1 - V_2$$

$$V_T = 5 - 4.8$$

$$V_T = 0.2V$$

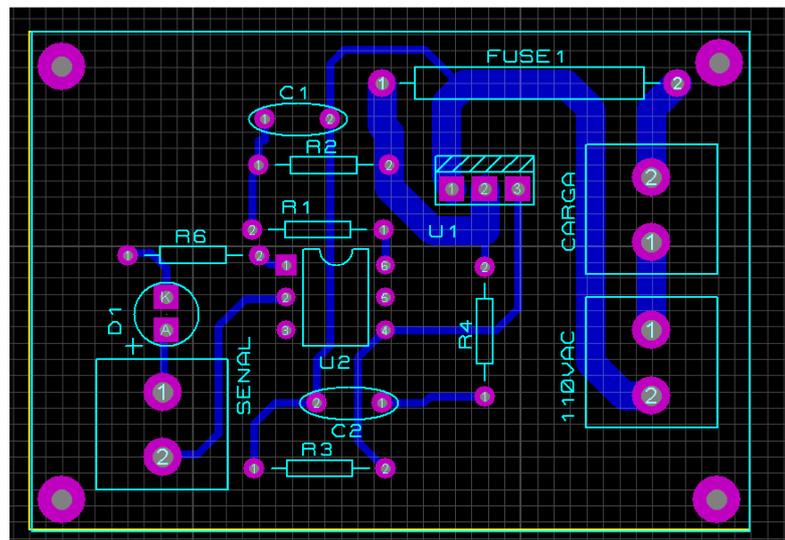
Debido a que el voltaje es demasiado pequeño, se deberá multiplicar por una factor ganancia en este caso de Ganancia = 10.

### 5.3.2. Circuito de potencia



**Figura V.27.** Diagrama esquemático del Circuito de potencia.

La figura V.28 muestra el circuito de potencia que a través de una bornera recibe la señal del PIC, está a su vez se conecta a un optoacoplador ( MOC) el cual se dispara cuando tenga una señal y activa al triac, teniendo en cuenta que se eleva su temperatura al momento de conducir se coloco disipador de calor.



**Figura V.28.** Diseño del PCB del Circuito de la epata de potencia.

### 5.3.5. Circuito de control de la electro válvula

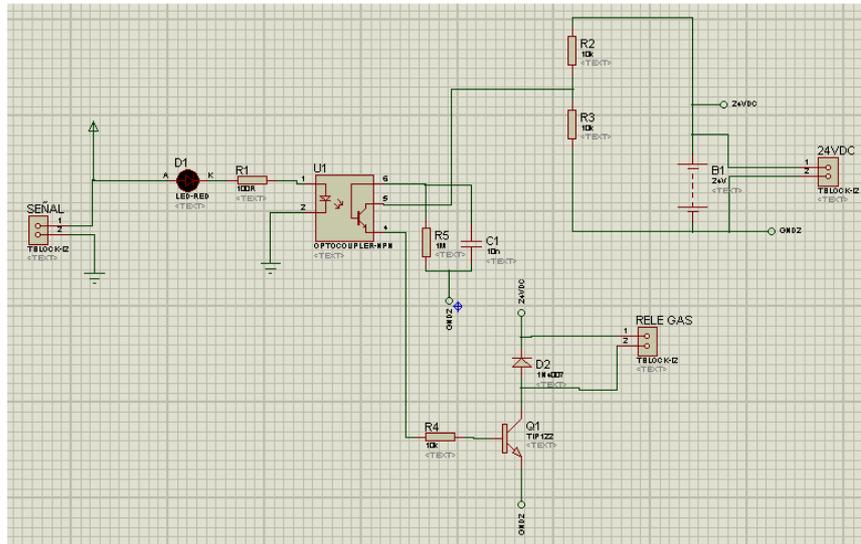


Figura V.29. Diagrama esquemático del Circuito de control de la electroválvula.

El circuito recibe una señal del microcontrolador, el cual activa el optotransistor (4n25), permitiendo que el transistor conmute y permita accionar la electroválvula de gas.

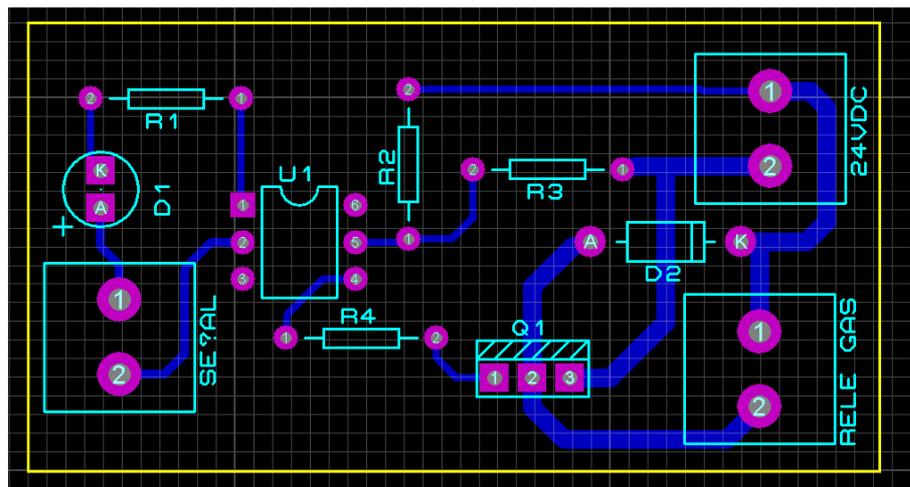


Figura V.30. Diseño del PCB del Circuito de control para la electroválvula.

### 5.3.6. Circuito de control del sistema

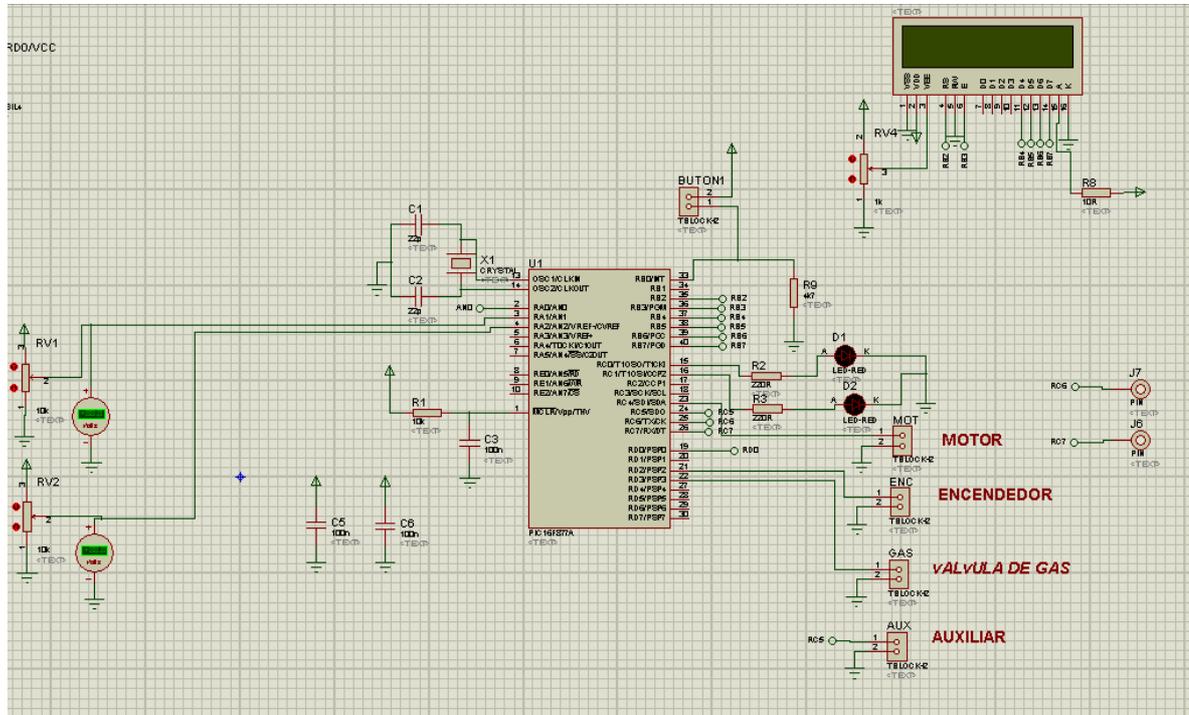
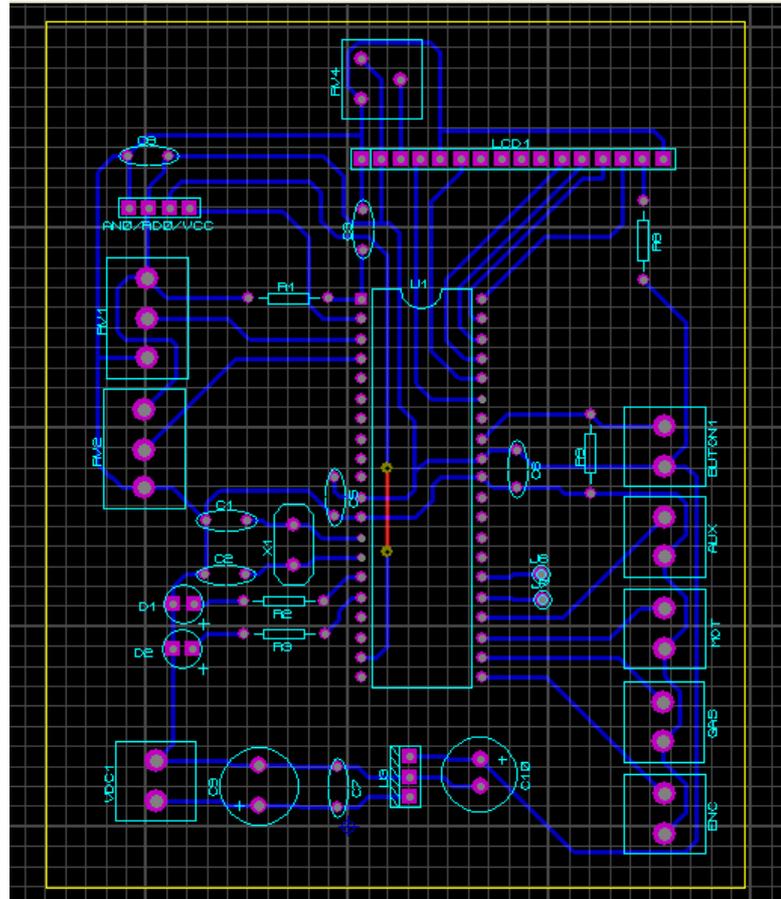


Figura V.31. Diagrama esquemático del Circuito principal

En la figura V.32. se tiene el circuito principal de control, consta del PIC 16F877A trabajando con un cristal de 4MHZ conectado a los pines 13 y 14 del PIC en paralelo con 2 capacitores de 22pF una bornera de entrada de señales discretas conectadas a los pines 21,22,23 del microcontrolador.

Al pin 2 está conectada la entrada de la señal del sensor, a los pines 3 y 4 los potenciómetros de calibración.

Con el diseño de esta placa se obtiene la señal amplificada del voltaje que representa la temperatura para de acuerdo a los valores de calibración establecer el encendido y apagado de control del gas y del motor.



**Figura V.32.** Diseño del PCB del Circuito de la placa de control del sistema.

## 5.4. Actuadores

### 5.4.1. Motor

El motor trifásico de inducción es el tipo de uso más común, hay dos tipos generales de rotor. El de jaula de ardilla y el de rotor devanado.

Los motores trifásicos de jaula de ardilla se utilizan para trabajo que se realice con velocidad constante, su construcción es resistente y los hace adecuados para trabajar en lugares donde existe polvo y gases. Los motores jaula de ardilla por lo general tienen un 1.5 de torque mayor al de plena carga.

El motor jaula de ardilla desarrolla una torsión moderada al arranque aunque la corriente puede ser de tres a siete veces el del valor normal.

#### **5.4.1.1. Arranque**

Lo ideal sería arrancar al motor directamente a través de la línea, ya que los variadores de voltaje son costosos y casi siempre reducen el par de arranque.

#### **5.4.1.2. Control de velocidad de los motores de inducción**

El motor de inducción es de velocidad constante, la velocidad del rotor esta dado por la formula:

$$N_2 = 120 \frac{f(1 - s)}{P}$$
$$s = \frac{(N - N_2)}{N}$$

#### **Ecuación V.6 Velocidad del motor de inducción**

De donde:

N y N<sub>2</sub>: número de espiras en los devanados

P: numero de polos

F: frecuencia de la red de alimentación

S: constante relacionada directamente con el número de espiras.

Po lo tanto la velocidad solo puede ser modificada variando la frecuencia (f), los polos (P), o el deslizamiento, en ocasiones cuando el motor está girando en vacio, se varia la velocidad modificando la frecuencia, lo que ocurre en éste caso, utilizando el variador de frecuencia se logró reducir la velocidad angular a 60rmp.

#### **5.2.4. Encendido a Gas**

Se dispone para el prototipo dos etapas de calentamiento en las cuales están instaladas un quemador para el paso del gas mediante la activación de una electroválvula.

#### **5.2.5. Alimentación para el circuito**

Se establece la necesidad de cuatro tipos de voltajes, tanto para la alimentación de los circuitos integrados y para la alimentación de potencia que incluye el motor. Distribuyéndose de la siguiente manera:

- Voltaje AC  
 $120V_{AC}$  (eléctrica)
- Voltaje DC( etapa electrónica)  
 $+12V_{DC}$ ,  $-12V_{DC}$
- Voltaje DC (electroválvula)  
 $+24V$

Para la polarización de los amplificadores operacionales, para el acondicionamiento de la señal y transmisión.

$$+5V_{DC}$$

Para la polarización del microcontrolador, LCD.

### **5.5. Programación del micro controlador**

#### **5.5.1. Programa del PIC**

El programa se basó en el diagrama de flujo de la Figura V.24, se partió por configurar el tiempo de muestreo de las señales analógicas, se estableció también los pines de control y de datos del LCD, así como su velocidad de transmisión de datos hacia este. Luego se

configuró los pines de entrada y salida como se estableció anteriormente, también se establecieron las variables a utilizar.

Resumiendo el programa realiza las siguientes tareas:

1. Establece los SP
2. Adquiere datos analógicos, los procesa.
3. Realiza el control ON /OFF
4. Imprime los datos en el LCD
5. Envía los datos
6. Retorna al proceso porque es cíclico hasta cuando se termina el tiempo de extrusión.

El código del programa se encuentra en anexo 7

### **5.6 Puesta en marcha**

Una vez instaladas las etapas mecánicas, electrónicas y eléctricas se procede a la puesta en marcha al prototipo, calibrando los potenciómetros para el acondicionamiento de señal, calculando la temperatura necesaria para la materia prima y velocidad óptima del motor.

## CAPITULO VI

### PRUEBAS Y RESULTADOS

En el presente capítulo se detalla las técnicas y métodos utilizados para la realización de las pruebas y la recopilación de la información, así como los cálculos realizados para la demostración estadística planteada en la presente tesis de grado.

#### 6.1 Pruebas y Recopilación de la Información

Una vez que la máquina extrusora de plástico polietileno fue implementada en la fábrica PARTIPLAST S.A, se efectuó un monitoreo de su funcionamiento durante un mes, periodo en el cual se realizaron encuestas semanales al Ingeniero Jorge Luis Paucar, Gerente de la Empresa, con el objetivo de recopilar información que permita determinar el eficiente funcionamiento o no de la máquina extrusora.

La encuesta diseñada para la recolección de la información se encuentra detallada en el anexo número 8.

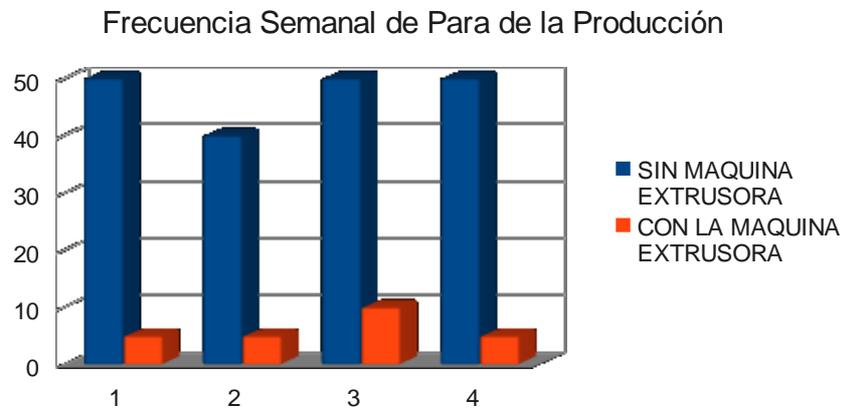
#### 6.2. Análisis y Tabulación de datos

La tabulación de datos se realizó para cada una de las preguntas realizadas, los resultados se muestran a continuación:

**PREGUNTA 1:** *En el periodo de muestreo determinado, cuál fue la frecuencia diaria con la que se produjo el inconveniente?*

Semana	SIN MAQUINA EXTRUSORA	CON LA MAQUINA EXTRUSORA
1	50	2
2	40	1
3	50	4
4	50	3
<b>TOTAL</b>	<b>190</b>	<b>10</b>

**TABLA VI.3** Frecuencia Semanal de Para de la Producción

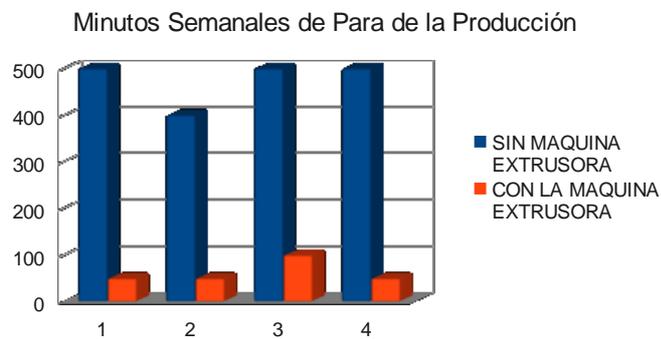


**Figura IV.33** Frecuencia Semanal de Para de la producción

**PREGUNTA 2:** *En promedio cual es el tiempo en minutos que se detiene la producción por la presencia de impurezas en la materia prima.*

Semana	SIN MAQUINA EXTRUSORA	CON LA MAQUINA EXTRUSORA
1	500	20
2	400	10
3	500	40
4	500	30
<b>TOTAL</b>	<b>1900</b>	<b>100</b>

**TABLA VI.4** Tiempo en Minutos semanales de Para de la producción

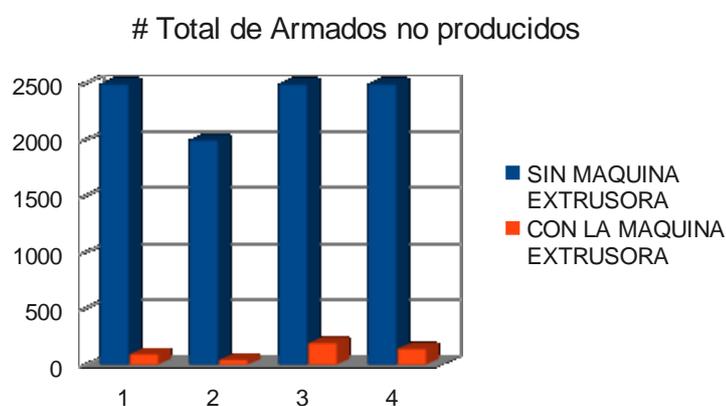


**Figura VI.34** Tiempo en Minutos semanales de Para de la producción

**PREGUNTA 3:** *Cuál es el número de armadores plásticos que dejaron de fabricarse en el periodo de muestreo?*

Semana	SIN MAQUINA EXTRUSORA	CON LA MAQUINA EXTRUSORA
1	2500	100
2	2000	50
3	2500	200
4	2500	150
<b>TOTAL</b>	<b>9500</b>	<b>500</b>

**TABLA VI.5** Número de armadores

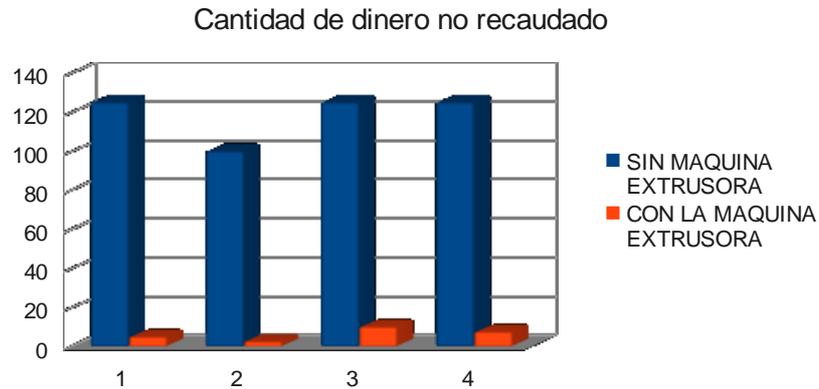


**Figura VI.35** Número de armadores no producidos

**PREGUNTA 4:** *¿Qué cantidad de dinero dejo de recaudarse por el número de armadores que dejaron de producirse en el tiempo que la producción se detuvo por la presencia de impurezas en la materia prima?*

Semana	SIN MAQUINA EXTRUSORA	CON LA MAQUINA EXTRUSORA
1	125	5
2	100	2.5
3	125	10
4	125	7.5
<b>TOTAL</b>	<b>475</b>	<b>25</b>

**TABLA VI.6** Cantidad de dinero no recaudado



**Figura VI.36** Cantidad de dinero no recaudado

### 6.3. Demostración estadística de la Hipótesis

Con la información procesada que se muestra en el apartado anterior se procedió a efectuar los cálculos para la comprobación de la hipótesis planteada, para lo cual se empleó la prueba de inferencia estadística chi-cuadrado o  $X^2$ .

Las hipótesis planteadas para la prueba estadística son las que a continuación se muestra:

- **Hipótesis Nula (Ho):**

El diseño y construcción de la máquina extrusora para peletizar polímeros reciclados mediante el uso de microcontroladores en la fábrica PARTIPLAST de la ciudad de Riobamba, no disminuirá el tiempo de para de los procesos de producción provocado por la acumulación de las impurezas de la materia prima empleada.

- **Hipótesis de la investigación (Hi):**

El diseño y construcción de la máquina extrusora para peletizar polímeros reciclados mediante el uso de microcontroladores en la fábrica PARTIPLAST de la ciudad de Riobamba, disminuirá el tiempo de para de los procesos de producción provocado por la acumulación de las impurezas de la materia prima empleada.

En base a los resultados obtenidos en las Tablas IV.3, 4, 5 ,6 se construyeron las tablas de contingencia para cada una de las preguntas que conformaron la encuesta realizada, donde la frecuencia observada son los valores obtenidos sin la implementación de la máquina extrusora; y la frecuencia esperada son los valores observados después de la implementación de la maquina extrusora.

Posteriormente se procedió a construir la tabla de aplicación de la formula de Chi cuadrado, donde  $f_o$  es la frecuencia observada y  $f_e$  es la frecuencia esperada, variables utilizadas para el cálculo de  $X^2$  que permite determinar si su valor es o no significativo, determinando los grados de libertad (GL), aplicando la fórmula que se muestra a continuación:

$$GL = (f-1) (c-1)$$

#### **Ecuación IV.7** Cálculo de los grados de libertad

Donde  $f$  es el número de filas de la tabla de contingencia y el  $c$  el número de columnas: por lo tanto el grado de libertad para la variable es:

$$GL = (4-1)(2-1)$$

$$GL = 3$$

El nivel de significancia estadística utilizado en la prueba de la hipótesis es de  $\alpha = 0,1$ .

Para la comprobación de la hipótesis se debe comparar el valor de  $X^2$  calculado y el que se encuentra estandarizado en la tabla que se muestra en el Anexo 9. Si el valor de  $X^2$

calculado es menor que el valor de  $\chi^2$  tabulado, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis de investigación.

Con  $\alpha = 0,1$  y 3 grados de libertad el valor de  $\chi^2$  tabulado es de 6,2514.

A continuación se muestran las tablas del cálculo de  $\chi^2$  para cada una de las preguntas de la encuesta realizada.

**PREGUNTA 1:**

semana	fo	fe	(fo - fe)	(fo - fe) <sup>2</sup>	(fo - fe) <sup>2</sup> /fe
1	50	2	48	2304	1152
2	40	1	39	1521	1521
3	50	4	46	2116	529
4	50	3	47	2209	736.33333333
				<b><math>\chi^2</math></b>	<b>3938.3333</b>

**TABLA VI.7** Cálculo de  $\chi^2$  para la pregunta 1

**PREGUNTA 2:**

semana	fo	fe	(fo - fe)	(fo - fe) <sup>2</sup>	(fo - fe) <sup>2</sup> /fe
1	500	20	480	230400	11520
2	400	10	390	152100	15210
3	500	40	460	211600	5290
4	500	30	470	220900	7363.33333333
				<b><math>\chi^2</math></b>	<b>39383.333</b>

**TABLA VI.8** Cálculo de  $\chi^2$  para la pregunta 2

**PREGUNTA 3:**

semana	fo	fe	(fo - fe)	(fo - fe) <sup>2</sup>	(fo - fe) <sup>2</sup> /fe
1	2500	100	2400	5760000	57600
2	2000	50	1950	3802500	76050
3	2500	200	2300	5290000	26450
4	2500	150	2350	5522500	36816.666667
				<b><math>\chi^2</math></b>	<b>196916.67</b>

**TABLA VI.9** Cálculo de  $\chi^2$  para la pregunta 3

**PREGUNTA 4:**

semana	fo	fe	(fo - fe)	(fo - fe) <sup>2</sup>	(fo - fe) <sup>2</sup> /fe
1	125	5	120	14400	2880
2	100	2.5	97.5	9506.25	3802.5
3	125	10	115	13225	1322.5
4	100	7.5	92.5	8556.25	1140.8333333
				<b><math>\chi^2</math></b>	<b>9145.8333</b>

**TABLA VI.10** Cálculo de  $\chi^2$  para la pregunta 4

Como se puede observar en las Tablas IV.7, 8 , 9, 10 de cálculo de  $\chi^2$  , todos los valores obtenidos son mayores que el valor tabulado que es de 6.2514; por lo consiguiente se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de investigación, lo que nos permite concluir que:

**“El diseño y construcción de la máquina extrusora para peletizar polímeros reciclados mediante el uso de microcontroladores en la fábrica PARTIPLAST de la ciudad de Riobamba, disminuirá el tiempo de para de los procesos de producción provocado por la acumulación de las impurezas de la materia prima empleada”**

## CONCLUSIONES

- ✓ La construcción y montaje de la Máquina Extrusora de plástico en la Fábrica PARTIPLAST permitió disminuir la frecuencia mensual en la que el proceso de producción se detenía, el tiempo promedio de paralización de la producción y el número de armadores no producidos en un 94.74% después de la implementación de la misma.
  
- ✓ En el diseño y construcción de la etapa de potencia de la máquina extrusora se utilizó un relé de estado sólido en lugar de un relé mecánico debido a que son más rápidos, silenciosos, livianos y confiables, no se desgastan, son inmunes a los choques y a las vibraciones, pueden conmutar altas corrientes y altos voltajes sin producir arcos ni ionizar el aire circundante.
  
- ✓ El número de revoluciones del husillo debe ser, para este prototipo, de máximo 90rpm, teniendo en cuenta que la relación de transmisión entre motor y husillo es de 2:1.
  
- ✓ Para el tratamiento del polietileno se utilizan máquinas denominadas extrusoras, cuya función principal es alterar las propiedades físicas de la materia prima sin alterar las químicas y dar forma determinada al fluido final, obteniendo así el elemento deseado.

## **RECOMENDACIONES**

- ✓ El prototipo debe ser conectado a una toma principal, donde se recomienda colocar breakers de protección en caso de un corto circuito, que podría ser provocado por la alta temperatura del husillo y la cercanía con los cables de conexión.
- ✓ La ubicación y protección del cableado del prototipo debe ser de tal forma que los cables, aparte de cumplir con las exigencias de corriente, no entren en contacto con el cilindro por que sufriría daños debido a las altas temperaturas producidas.
- ✓ Se deben tener ciertas precauciones de limpieza y protección en la instalación de los Pt100 para prevenir errores por fugas de corriente. Es frecuente que cables en ambientes muy húmedos se deterioren y se produzca un paso de corriente entre ellos a través de humedad condensada.

## RESUMEN

El diseño y construcción de una máquina extrusora de plástico para peletizar polímeros reciclados mediante el uso de microcontroladores fue la solución propuesta para solucionar el problema de la paralización del proceso de producción de armadores plásticos que es provocado por la presencia de impurezas en la materia prima, en la fábrica PARTIPLAST S.A. e la ciudad de Riobamba.

Para la presente investigación se utilizó los métodos Inductivo-Deductivo, Científico, Experimental y Comparativo. El diseño electrónico de la maquina extrusora de plástico está constituido por los circuitos amplificador de instrumentación, el circuito de la etapa de potencia, el circuito de la electroválvula y el del control del sistema. En el desarrollo de la fase de control electrónico de la maquina extrusora, se utilizo el microcontrolador 16F877A, para su programación se utilizo el lenguaje MICROCODE Studio, que facilita tanto la presentación en el LCD como en el control ON/OFF con instrucciones básicas de programación. Además permite la simulación del programa, que es una herramienta muy útil para ahorrar tiempo durante su construcción.

Luego de la implementación de la máquina extrusora en la fábrica y con la información recopilada en las encuestas realizadas al Gerente de la misma se confirma que la implementación de dicha máquina resolvió el problema de la detención del proceso de producción producido por la presencia de impurezas en la materia prima utilizada ya que disminuyo en un 94.74% la frecuencia de detención del proceso de producción, el tiempo

promedio de paralización y el número de elementos plásticos que dejaban de producirse antes del montaje de la máquina extrusora en la fábrica.

La implementación de la máquina extrusora de plástico en la fábrica PARTIPLAST S.A coadyuva a la disminución de los tiempos de paralización del proceso de producción de los armadores plásticos minimizando las pérdidas económicas provocadas por este inconveniente.

La máquina extrusora de plástico debe ser conectado a una toma principal, donde se recomienda colocar breakers de protección en caso de un corto circuito, que podría ser provocado por la alta temperatura del husillo y la cercanía con los cables de conexión.

## **SUMMARY**

The design and construction of a plastic extruder for pelletizing recycled polymers through the use of microcontrollers was the solution proposed to solve the problem of the cessation of the production process of shipping plastic is caused by impurities in the raw material in PARTIPLAST S.A. factory of the city of Riobamba.

In the present study used inductive-deductive methods, Scientific, Experimental and Comparative. The electronic design of the plastic extruder machine is constituted by the instrumentation amplifier circuit, the circuit of power stage, the circuit of the electronic valve and control system. In the development phase of the machine electronic control extruder, use the 16F877A microcontroller for programming language was used Microcode Studio, which facilitates both the LCD display and the control ON / OFF with basic programming instructions. It also allows the simulation program, which is a very useful tool to save time during construction.

After the implementation of the extruder machine in the factory and the information gathered in surveys conducted by the same manager concludes that the implementation of the machine solved the problem of stopping the production process caused by the presence of impurities in the raw material used as a 94.74% decreased the rate of detention of the production process, the average length of stay and the number of plastic elements in place before leaving the assembly of the extruder machine in the factory.

The implementation of the plastic extruder machine factory PARTIPLAST SA helps decrease the time of stoppage of the production process of plastic shipping minimizing economic losses for this inconvenience.

The plastic extrusion machine must be connected to a mains socket, which is recommended to place breakers protection in case of a short circuit that could be caused by the high temperature of the spindle and the proximity to electrical cables.

# ANEXOS

**ANEXO 1**

**PIC 16F877A**

**ANEXO 2**

**PT100**

**ANEXO 3**

**TRIAC BT139**

**ANEXO 4**

**OPTOTRANSISTOR 2N25**

**ANEXO 5**

**CI INA101**

**ANEXO 6**

**PLANO DE CONSTRUCCIÓN MECÁNICA DE LA MÁQUINA EXTRUSORA**

## ANEXO 7

### Programa en Microcode

Set LCD Data port

```
DEFINE LCD_DREG PORTB
```

' Set starting Data bit (0 or 4) if 4-bit bus

```
DEFINE LCD_DBIT 4
```

' Set LCD Register Select port

```
DEFINE LCD_RSREG PORTB
```

' Set LCD Register Select bit

```
DEFINE LCD_RSBIT 2
```

' Set LCD Enable port

```
DEFINE LCD_EREG PORTB
```

' Set LCD Enable bit

```
DEFINE LCD_EBIT 3
```

' Set LCD bus size (4 or 8 bits)

```
DEFINE LCD_BITS 4
```

' Set number of lines on LCD

```
DEFINE LCD_LINES 2
```

' Set command delay time in us

```
DEFINE LCD_COMMANDUS 2000
```

' Set data delay time in us

```
DEFINE LCD_DATAUS 50
```

```
ADCON1=%10000010
```

```
'DEFINE      ADC_BITS      10      ; NUMERO DE BITS (8 BITS)
```

```
'DEFINE      ADC_CLOCK     3        ;EL CLOCK (rc = 3)
```

```
'DEFINE      ADC_SAMPLEUS  50      ; TIEMPO DE MUESTREO EN MICROSEGUNDOS
```

;ADC\_SAMPLEUS es el número demicrosegundos que el programa espera

;entre fijar el canal y comenzar la conversión analógica/digital.

'ADCON1 = 0 ;el puerto A.0 es conversor los demás Digitales

TRISB=0

TRISD=0

TRISC=0

TRISA =%000111 ;el puerto A.0 es de entrada

PORTC=0

PORTD=0

datos VAR WORD ;crear variable datos para guardar el resultado

voltaje VAR WORD

voltajeh VAR WORD

voltajel VAR WORD

v1 VAR WORD

v2 VAR WORD

v3 VAR WORD

voltajeAUX VAR WORD

VOL1 VAR WORD

VOL2 VAR WORD

VOL1AUX VAR WORD

VOL2AUX VAR WORD

CAL1 VAR WORD

CAL2 VAR WORD

AUXVARMOT VAR BYTE

GAS1 VAR PORTD.3

MOTOR VAR PORTC.4

LEDGAS VAR PORTC.0

LEDMOTOR VAR PORTC.1

RELAYPT100 VAR PORTD.0

i VAR BYTE

MOTOR=0

GAS1=0

AUXVARMOT=0

VOL1AUX=0

VOL2AUX=0

Pause 500                   :esperar 0,5 seg.

CLEARWDT

  LCDOUT \$FE,1

inicio:

  CLEARWDT

  'RELAY PT100 1

RELAYPT100=1

PAUSE 100

ADCON0=%1000001

GOSUB MED

GOSUB CALCULO

VOL1=VOLTAJE

PAUSE 500

  'RELAY PT100 2

RELAYPT100=0

PAUSE 100

ADCON0=%1000001

GOSUB MED

GOSUB CALCULO

VOL2=VOLTAJE

\*\*\*\*\*

'CALIBRACION 1

ADCON0=%1001001

GOSUB MED

GOSUB CALIBRACION

CAL1=VOLTAJEAUX

PAUSE 100

'CALIBRACION 2

ADCON0=%1010001

GOSUB MED

GOSUB CALIBRACION

CAL2=VOLTAJEAUX

'ENCENDIDO GAS

IF (VOL1 < CAL1)&&(VOL2 < CAL2) THEN

GAS1=1

LEDGAS=1

ELSE

GAS1=0

LEDGAS=0

AUXVARMOT=1

ENDIF

IF AUXVARMOT==1 THEN

VOL1AUX=VOL1+15

VOL2AUX=VOL2+15

ELSE

```

VOL1AUX=VOL1
VOL2AUX=VOL2
ENDIF
'ENCENDIDO MOTOR
IF (VOL1AUX < CAL1)&&(VOL2AUX < CAL2) THEN
MOTOR=0
LEDMOTOR=0
ENDIF
IF (VOL1AUX >= CAL1)&&(VOL2AUX >= CAL2) THEN

MOTOR=1
LEDMOTOR=1
ENDIF

PAUSE 500
'COMPARACIONES

LCDOUT $FE,$80,"T1=",DEC VOL1," "
LCDOUT $FE,$88,"T2=",DEC VOL2," "
LCDOUT $FE,$C0,"C1=",DEC CAL1," "
LCDOUT $FE,$C8,"C2=",DEC CAL2," "
PAUSE 300
GoTo inicio ;volver a medir el conversor A/D
MED:
CLEARWDT
PAUSEUS 50
ADCON0.2=1

```

PAUSEUS 50

RETURN

CALCULO:

CLEARWDT

VOLTAJE=ADRESL

VOLTAJEH=ADRESH

VOLTAJEH=VOLTAJEH <<8

VOLTAJE=VOLTAJE | VOLTAJEH

voltajeAUX= voltaje/2

VOLTAJE =voltajeAUX-14

RETURN

CALIBRACION:

CLEARWDT

VOLTAJE=ADRESL

VOLTAJEH=ADRESH

VOLTAJEH=VOLTAJEH <<8

VOLTAJE=VOLTAJE | VOLTAJEH

voltajeAUX= voltaje/2

RETURN

End.

## ANEXO 8

### ENCUESTA

Objetivo: La siguiente encuesta se aplica para comprobar la hipótesis de la tesis titulada, “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MAQUINA EXTRUSORA DE PLASTICO PARA PELETIZAR POLIMEROS RECICLADOS MEDIANTE EL USO DE MICROCONTROLADORES**”, implementado en la empresa PARTIPLAST S.A de la ciudad de Riobamba.

#### Periodo de Muestreo : 1 Semana (5 días laborables)

1. ¿En el periodo de muestreo determinado, cual fue la frecuencia diaria con la que se produjo el inconveniente?

**Sin la máquina extrusora**

**Con la máquina extrusora**

veces

veces

2. ¿En promedio cual es el tiempo en que se detiene la producción por la presencia de impurezas en la materia prima.?

**Sin la máquina extrusora**

**Con la máquina extrusora**

minutos

minutos

3. ¿Cual es el número de armadores plásticos que dejaron de fabricarse en el periodo de muestreo?

**Sin la máquina extrusora**

**Con la máquina extrusora**

4. ¿Qué cantidad de dinero dejó de recaudarse por el número de armadores que dejaron de producirse en el tiempo que la producción se detuvo por la presencia de impurezas en la materia prima?

**Sin la máquina extrusora**

dólares

**Con la máquina extrusora**

dólares

**GRACIAS POR SU COLABORACIÓN**

# MÁQUINA EXTRUSORA DE PLÁSTICO

## MANUAL DE USUARIO



Prefacio

Objetivo de este manual

Funciones básicas

Información reglamentaria

Capítulo I

Mandos e indicadores

Disposición de los mandos e indicadores

En qué consiste cada mando

Capítulo II

Operación básica

Encendido y apagado

Ciclo de extrusión

Velocidad de rotación del husillo

Capítulo III

¿Ha fallado la máquina extrusora?

Servicio y apoyo

## **Prefacio**

### **Objetivo de este manual**

Este manual proporciona una detallada introducción a las características y funciones de la máquina extrusora de plástico y sirve tanto como una guía para comenzar a usarla como manual de referencia.

Temas cubiertos:

- Características de una máquina extrusora de plástico.
- Como usar la máquina extrusora de plástico, para realizar el proceso de extrusión.
- Como realizar el monitoreo de temperatura.
- Problemas y soluciones.

### **Funciones básicas**

Este manual responderá a las necesidades de la mayoría de usuarios. Sin embargo, el prototipo de una máquina extrusora de plástico su funcionamiento interno tiene grado de dificultad moderado.

## CAPÍTULO I

### MANDOS E INDICADORES

#### **Disposición de los mandos e indicadores.**

A continuación se presenta una ilustración de la disposición los mandos e indicadores del prototipo de una máquina extrusora de plástico. La descripción de cada uno de los potenciómetros de regulación, botones y luces indicadoras se explican en “En qué consiste cada mando”.



**Figura I.** Disposición de los mandos y control en el tablero principal.

#### **En qué consiste cada mando**

Esta sección describe la función de cada mando, así como su interacción con el prototipo.

A continuación se explica cada uno de ellos:

**LCD:** Pantalla de cristal líquido de dimensiones (16 x 2). Muestra el estado del prototipo como la temperatura en cada una de las fases, los set points iniciales.

**AJUSTE SP:** Potenciómetro que permite la regulación de los set points (sp) con  $\pm 10^{\circ}\text{C}$ .

Su regulación se podrá hacer durante el periodo de precalentamiento del prototipo.

**FUSIBLE:** Un porta fusible que contiene un fusible de 10A, que protege la placa de potencia contra corrientes excesivas.

**BOTÓN DE ENCENDIDO GENERAL:** Inicio general del sistema de control

## CAPÍTULO II

### Operación básica

### Encendido y Apagado

El prototipo tiene un switch de encendido empotrado junto al panel de control, este switch es general y energiza tanto el sistema electrónico y eléctrico.



**Figura II.** Ubicación de los elementos principales en el prototipo.

El proceso inicia después de 3 segundos del encendido general.

Si el prototipo ya fue encendido anteriormente, cerciorarse de que no existan elementos extraños introducidos en el husillo, (como pernos u objetos de rigidez alta) antes de empezar el proceso, ya que produciría daño al interior del cilindro

### **Ciclo de extrusión**

Luego de los 3 segundos de espera, se inicia un periodo de precalentamiento, donde el controlador verifica el estado del husillo en el interior, es decir si se encuentra libre de residuos de extrusión previas que han solidificado el husillo contra el cilindro, esta revisión lo va a realizar hasta que exista un grado de libertad mínimo. Este es el momento preciso para el ajuste de los set points ( .)

Luego procede al calentamiento, hasta llegar a la temperatura optima para el PVC. Aquí el LCD indicara el momento preciso para colocar el PVC en la tolva para que inicie el ciclo de extrusión.



**Figura III.** Ubicación de la tolva en el prototipo

Esta etapa tendrá un tiempo determinado y programado en el controlador (1seg).Enseguida el numero de revoluciones de giro del husillo se reducirá durante otros (1seg.)

Luego de esto se terminara el ciclo de extrusión.

- **Tiempo aproximado del proceso 1 minuto y 1 segundo.**

### **Velocidad de rotación del husillo**

El panel de control actúa con el motor, este determina el ciclo de extrusión, es por eso que el motor gira a determinadas revoluciones.

### CAPÍTULO III

#### ¿HA FALLADO LA MÁQUINA EXTRUSORA?

El prototipo ha sido probado a su máxima capacidad de temperatura, el valor máximo soportado es:

- **Variable:**  
Temperatura
- **Valor máximo:**  
500°C

Este capítulo contiene los posibles errores que provocarían el mal funcionamiento del prototipo, los siguientes son:

ERROR	CAUSA	SOLUCIÓN
El husillo no gira	<ul style="list-style-type: none"><li>• La materia prima se ha solidificado en grandes cantidades en el interior del husillo.</li><li>• Al interior del husillo existe algún elemento de tamaño grande y se encuentran entre el husillo y el cilindro.</li><li>• La potencia del motor no es la suficiente</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Esperar a que la temperatura al interior del husillo se eleve.</li><li>• Desramar el prototipo y tratar de liberar el husillo manualmente.</li><li>• Cambiar a un motor de mayor potencia.</li></ul>
La temperatura no se eleva	<ul style="list-style-type: none"><li>• El fusible necesita cambiarse.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Cambio de fusible de 10 A a 25 A</li></ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La etapa de potencia a sufrido daño.</li> <li>• El programa del PIC no está correcto.</li> <li>• El control no funciona.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Restituir la placa PCB, revisar el estado de los TRIACS.</li> <li>• Cargar el programa nuevamente.</li> <li>• Revisar el bus, la placa de control y la polarización de la misma.</li> </ul>
El polivinilo líquido tiene un color café oscuro.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La temperatura está muy elevada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El control del PIC no es el óptimo.</li> <li>• La materia prima es muy sensible y no es polivinilo.</li> <li>• Reducir el set point con el ajuste manual.</li> </ul>
El LCD no presenta datos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se ha desconectado el bus de datos.</li> <li>• La polarización negativa de la fuente ha fallado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisar la conexión del bus de datos.</li> <li>• Revisar la fuente de voltaje debido a que el LCD funciona con voltaje negativo.</li> </ul>
No enciende el prototipo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisar el interruptor principal.</li> <li>• Revisar los brakes de la línea eléctrica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿el alambre de conexión se encuentra en óptimas condiciones?</li> <li>• Revisar la acometida eléctrica del lugar de trabajo.</li> </ul>

## **BIBLIOGRAFÍA**

### **LIBROS**

**HUMPHRIES, J.** Electrónica Industrial Primera. ed España: Paraninfo, 1996. pp. 46-57

**OGATA, K.** Ingeniería de Control Moderna 2da.ed México: Prentice Hall, 1993. pp. 423-445

**REYES, C.** Microcontroladores PIC: programación en basic 2da.ed Quito-Ecuador: Rispergraf, 2006. pp. 101-114

### ▪ **CONCEPTOS RELACIONADOS CON LA EXTRUSIÓN DE POLIMEROS**

- ✓ [http://es.wikipedia.org/wiki/Extrusión\\_de\\_polímero](http://es.wikipedia.org/wiki/Extrusión_de_polímero)
- ✓ [http://www.quiminet.com/ar8/ar\\_aasdAAssbcBu-el-proceso-de-extrusion-del-plastico.htm](http://www.quiminet.com/ar8/ar_aasdAAssbcBu-el-proceso-de-extrusion-del-plastico.htm)
- ✓ <http://www.univalle.edu/publicaciones/brujula/brujula3/pag8.htm>
- ✓ <http://www.arqhys.com/arquitectura/plastico-tipos.html>

2011-03-21

## CONCEPTOS DE ELEMENTOS UTILIZADOS

- ✓ <http://www.ingecoza.com/pt100.pdf>
- ✓ <http://www.scribd.com/doc/101172/pic16f877-en-espanol1>
- ✓ <http://www.monografias.com/trabajos14/triac/triac.shtml>
- ✓ <http://www.monografias.com/trabajos18/descripcion-pic/descripcion-pic.shtml>
- ✓ <http://html.rincondelvago.com/control-de-potencia-con-triac.html>
- ✓ <http://es.wikipedia.org/wiki/Electrov%C3%A1lvula>
- ✓ [http://web.ing.puc.cl/~mtorrest/downloads/pic/tutorial\\_pic.pdf](http://web.ing.puc.cl/~mtorrest/downloads/pic/tutorial_pic.pdf)
- ✓ [http://biblioteca.unet.edu.ve/db/alexandr/db/bcunet/edocs/TEUNET/2007/pregrado/Electronica/LatorreG\\_SandraJ/Capitulo2.pdf](http://biblioteca.unet.edu.ve/db/alexandr/db/bcunet/edocs/TEUNET/2007/pregrado/Electronica/LatorreG_SandraJ/Capitulo2.pdf)
- ✓ <http://www.scribd.com/doc/5516426/Optoacopladores>
- ✓ [http://www.inele.ufro.cl/bmonteci/semic/applets/pag\\_triac/triac.htm](http://www.inele.ufro.cl/bmonteci/semic/applets/pag_triac/triac.htm)

2011-04-13

## DATASHEET DE ELEMENTOS

- ✓ <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/BurrBrown/mXryuyt.pdf>
- ✓ <http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=2N25>
- ✓ <http://www.bairesrobotics.com.ar/data/pic16f877-guia%20detallada%20parte2.pdf>
- ✓ [http://www.datasheetcatalog.net/es/datasheets\\_pdf/I/N/A/1/INA101.shtml](http://www.datasheetcatalog.net/es/datasheets_pdf/I/N/A/1/INA101.shtml)
- ✓ <http://search.datasheetcatalog.net/key/BT139>
- ✓ [http://www.datasheetcatalog.com/datasheets\\_pdf/T/I/P/1/TIP122.shtml](http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/T/I/P/1/TIP122.shtml)
- ✓ <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet2/7/0tz6xxzzi7w2oz6qz7a0uhkg817y.pdf>

2011-04-14