



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES**  
**INDUSTRIALES**

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA  
DECORACIÓN DE PASTELES EN PRODUCCIONES A GRAN ESCALA”

**TESIS DE GRADO**

**Previo a la obtención del título de:**

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES INDUSTRIALES**

**PRESENTADO POR:**

**SALAZAR ARELLANO DIEGO ALBERTO**

**ESCOBAR TAPIA MARÍA ANGÉLICA**

Riobamba – Ecuador

2015

**FIRMAS RESPONSABLES Y NOTAS**

<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Gonzalo Samaniego	.....	.....
<b>DECANO DE LA FIE</b>		
Ing. Alberto Arellano	.....	.....
<b>DIRECTOR EIECR</b>		
Ing. Paul Romero	.....	.....
<b>DIRECTOR DE TESIS</b>		
Ing. Henry Vallejo	.....	.....
<b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		
<b>NOTA DE LA TESIS:</b>	.....	

## **RESPONSABILIDAD DEL AUTOR**

“Nosotros: **MARÍA ANGÉLICA ESCOBAR TAPIA** y **DIEGO ALBERTO SALAZAR ARELLANO**, somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis y el patrimonio intelectual de la misma pertenecen a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”.

.....

Diego Alberto Salazar Arellano

.....

María Angélica Escobar Tapia

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

$N_1$ : Numero de vueltas de rueda dentada 1

$N_2$  : Número de vueltas de rueda dentada 2

Su: Resistencia a la tensión.

E: Modelo de elasticidad.

$\epsilon$ : Deformación unitaria.

E: Módulo de elasticidad

En tensión.

V: Relación de Poisson.

Módulo de elasticidad. Cortante G-

HB o BHN: Numero de dureza Brinell

HRB o HRC: Numero de dureza rockwell

$T_m$  Temperatura de fusión expresada como temperatura absoluta.

A: Coeficiente de expansión térmica.

$L_0$ : Longitud original.

$\Delta T$ : Cambio de Temperatura.

UNS: United Numbered System.

ASTM: Society for Testing and Material.

AA: Aluminum Association.

AISI: American Iron and Steel Institute.

CDS: Copper Development Association.

SAE: Society of Automotive Engineers.

Ni: Niquel.

Cr: cromo.

Mo: Molibdeno.

$^{\circ}F$ : Grados Fahrenheit

$^{\circ}C$ : Grados Centígrados.

W: Watts.

Ohm: Ohmios.

C: Carbono.

H: Hidrógeno.

PTFE: Politetrafluoroetileno.

P: Presión.

I: Fuerza.

S: Superficie.

DF: diferencial de fuerza.

DS: Diferencial de superficie.

Q: Caudal.

V: Volumen.

Fem: Fuerza electromotriz.

B: Campo magnético.

RPM: Revoluciones por minuto.

F: Frecuencia de la red.

N: Número de Polos

Femi: Fuerza electromotriz inducida

Hz: Herzios.

Ac: Corriente alterna

Dc: Corriente directa

RAM: Random access memory

E/S: Entradas y Salidas.

AVR: Regulador automático de voltaje.

NC: Normalmente cerrado

NA: Normalmente abierto

IDE: Ambiente de Desarrollo Integrado.

USB: Universal Serial Bus.

D+ : Datos USB +.

D- : Datos USB -.

GND: Tierra.

PVC: Policloruro de vinilo.

P: Presión en bares

KGF: Kilogramos fuerza

AWG: American Wire Gauge

NEMA: National Electrical Manufacturers Association

PAP: Paso a paso

## ÍNDICE GENERAL

1.	MARCO REFERENCIAL .....	- 19 -
1.1.	ANTECEDENTES .....	19 -
1.2.	JUSTIFICACIÓN.....	20 -
1.3.	OBJETIVOS .....	21 -
1.1.1	Objetivo General .....	21 -
1.1.2	Objetivos Específicos.....	21 -
1.4.	HIPÓTESIS .....	22 -
2.	MARCO TEÓRICO .....	- 23 -
2.1.	CONCEPTOS GENERALES .....	23 -
2.2.	SISTEMA MECÁNICO .....	24 -
2.2.1	INTRODUCCIÓN .....	24 -
2.2.2	DEFINICIÓN .....	24 -
2.2.3	CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS MECÁNICOS .....	25 -
2.2.4	MECANISMOS .....	25 -
2.2.5	SISTEMAS DE TRANSMISIÓN .....	28 -
2.2.6	DISEÑOS MECÁNICOS .....	36 -
2.2.7	PROCESO DEL DISEÑO MECANICO.....	36 -
2.2.7.1	CONOCIMIENTOS NECESARIOS EN EL DISEÑO MECANICO	- 38
-		
2.2.7.2	PASOS PARA EL DISEÑO MECÁNICO.....	39 -
2.2.7.3	MATERIALES EN EL DISEÑO MECÁNICO .....	39 -
2.2.7.4	PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.....	40 -
2.2.8	CLASIFICACIÓN DE METALES Y ALEACIONES .....	54 -
2.2.9	GRUPO DE ALEACIONES .....	59 -
2.2.10	ACEROS INOXIDABLES .....	62 -

2.2.11	ACERO ESTRUCTURAL .....	- 64 -
2.2.12	ACEROS PARA HERRAMIENTAS .....	- 64 -
2.2.13	HIERRO COLADO .....	- 65 -
2.2.14	METALES PULVERIZADOS .....	- 65 -
2.2.15	ALUMINIO.....	- 66 -
2.2.16	ALEACIONES DE ZINC .....	- 68 -
2.2.17	PLÁSTICOS.....	- 68 -
2.2.18	TERMOPLÁSTICOS.....	- 69 -
2.2.18.1	TERMOFIJOS.....	- 75 -
2.2.18.2	SELECCIÓN DE MATERIALES.....	- 75 -
2.3.	SISTEMA NEUMÁTICO .....	- 76 -
2.3.1	INTRODUCCIÓN .....	- 76 -
2.3.2	DEFINICIÓN NEUMÁTICA INDUSTRIAL .....	- 78 -
2.3.3	CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE MECÁNICA DE FLUIDOS .....	- 78 -
2.3.3.1	PRESION .....	- 78 -
2.3.3.2	CAUDAL.....	- 79 -
2.3.4	PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO.....	- 79 -
2.3.4.1	COMPRESORES .....	- 79 -
2.3.5	ACTUADORES NEUMÁTICOS.....	- 80 -
2.3.5.1	CILINDROS NEUMÁTICOS DE MOVIMIENTO LINEAL .....	- 80 -
2.3.5.2	CILINDRO DE SIMPLE EFECTO .....	- 81 -
2.3.5.3	CILINDRO DE DOBLE EFECTO .....	- 81 -
2.3.5.4	VÁLVULAS DE CONTROL DIRECCIONAL DISTRIBUIDORES .....	- 82 -
2.3.5.5	SIMBOLOGÍA .....	- 83 -
2.3.5.6	VÁLVULAS MONOESTABLES.....	- 83 -
2.3.5.7	VÁLVULAS BIESTABLES.....	- 84 -
2.3.5.8	VÁLVULAS DE BLOQUEO.....	- 85 -



2.3.6	ACCIONAMIENTO DE VÁLVULAS.....	- 85 -
2.4.	SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO -----	- 86 -
2.4.1	DEFINICIÓN. ....	- 87 -
2.4.2	ACTUADORES ELÉCTRICOS.....	- 87 -
2.4.2.1	MOTORES ELÉCTRICOS.....	- 88 -
2.4.2.2	MOTORES AC.....	- 90 -
2.4.2.3	MOTOR ASÍNCRONO.....	- 91 -
2.4.2.4	MOTORES SÍNCRONOS.....	- 94 -
2.4.2.5	MOTORES DC.....	- 96 -
2.4.2.6	MOTORES PASO A PASO.....	- 99 -
2.4.3	SOLENOIDES.....	- 102 -
2.4.4	PLACAS COMPUTADORAS.....	- 104 -
2.4.5	ARDUINO.....	- 105 -
2.4.6	RELEVADORES.....	- 106 -
2.4.6.1	RELEVADORES ELECTROMECAÑICOS.....	- 108 -
2.4.6.2	RELEVADOR DE ESTADO SÓLIDO.....	- 108 -
2.4.6.3	RELEVADOR DE CORRIENTE ALTERNA.....	- 109 -
2.4.7	SENSORES.....	- 109 -
2.4.7.1	SENSORES DE CONTACTO.....	- 110 -
2.4.7.2	SENSORES INFRAROJOS.....	- 111 -
2.4.7.3	SENSORES MAGNÉTICOS.....	- 112 -
2.5.	SISTEMAS DE CONTROL-----	- 113 -
2.5.1	INTRODUCCIÓN.....	- 113 -
2.5.2	CONTROL EN LAZO CERRADO Y LAZO ABIERTO.....	- 113 -
2.5.3	DISEÑO DE SISTEMAS DE CONTROL Y COMPENSACIÓN.....	- 114 -
2.5.4	AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL.....	- 117 -
2.5.5	ENTORNO DE DESARROLLO INTEGRADO.....	- 117 -

2.6	BUS UNIVERSAL SERIAL.....	- 119 -
2.6.1	Tipos de conectores.....	- 119 -
2.6.2	Funcionamiento del USB.....	- 120 -
3.	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE DECORACIÓN DE PASTELES AUTOMÁTICO.....	- 123 -
3.1.	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO. ....	- 124 -
3.1.1	DETERMINACIÓN Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS Y COMPONENTES DEL SISTEMA MECÁNICO. ....	- 124 -
3.1.2	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO.....	- 127 -
3.2.	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA NEUMÁTICO.....	- 136 -
3.2.1	DETERMINACIÓN Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS Y COMPONENTES DEL SISTEMA NEUMÁTICO. ....	- 136 -
3.2.2	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA NEUMÁTICO .....	- 141 -
3.3.	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO.....	- 145 -
3.3.1	DETERMINACIÓN Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS Y COMPONENTES DEL SISTEMA. ....	- 145 -
3.3.2	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO...-	152 -
3.3.3	DESARROLLO DE SOFTWARE Y PROGRAMACIÓN .....	- 157 -
4.	ANÁLISIS DE PRUEBAS Y RESULTADOS .....	- 159 -
4.1.	PRIMERA PRUEBA DE COBERTURA .....	- 159 -
4.2.	SEGUNDA PRUEBA DE COBERTURA .....	- 161 -
4.3.	TERCERA PRUEBA DE COBERTURA.....	- 162 -
4.4.	RESULTADOS FINALES.....	- 162 -
5.	CONCLUSIONES.....	- 164 -
6.	RECOMENDACIONES.....	- 165 -
7.	RESUMEN .....	166

8.	SUMARY .....	167
9.	GLOSARIO.....	168
10.	ANEXOS .....	170
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	227

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura II. 1: Bicicleta, ejemplo de un sistema mecánico. ....	- 25 -
Figura II. 2: Polea Simple .....	- 26 -
Figura II. 3: Elementos de una palanca .....	- 27 -
Figura II. 4: Polea Compuesta o Polipasto .....	- 28 -
Figura II. 5 Torno.....	- 28 -
Figura II. 6: Dirección del movimiento de un tornillo sin fin .....	- 29 -
Figura II. 7: Engranaje cónico.....	- 30 -
Figura II. 8: Partes de un engranaje .....	- 31 -
Figura II. 9 Juntas de cardan.....	- 32 -
Figura II. 10: Ruedas de fricción según la velocidad que se desea lograr .....	- 32 -
Figura II. 11: Partes del sistema de transmisión por cadena .....	- 33 -
Figura II. 12: Transmisión por correas.....	- 35 -
Figura II. 13: Etapas del diseño mecánico.....	- 39 -
Figura II. 14: Diagrama típico de esfuerzo- deformación unitaria para el acero .....	- 40 -
Figura II. 15: Metales que no tienen punto de fluencia .....	- 41 -
Figura II. 16: Medición del porcentaje de elongación.....	- 43 -
Figura II. 17: Relación de Poisson para un elemento en tensión .....	- 45 -
Figura II. 18: Prueba de impacto con diferentes métodos.....	- 49 -
Figura II. 19 Gráfico de un arrastramiento típico.....	- 51 -
Figura II. 20: Comparativo entre arrastramiento y relajación .....	- 52 -
Figura II. 21: Sistema de designación de los aceros.....	- 57 -
Figura II. 22: Estructura química del caucho nitrilo .....	- 69 -
Figura II. 23: Variación de propiedades del Caucho nitrilo según su contenido de Acrilonitrilo. ....	- 71 -
Figura II. 24: Presentación del teflón en tubo .....	- 73 -

Figura II. 25: Representación de una estación de generación y preparación de aire	- 77
-	
Figura II. 26 Compresor ideal sin pérdidas	- 80 -
Figura II. 27 Cilindro Neumático de Movimiento Lineal	- 81 -
Figura II. 28: Cilindro de simple efecto	- 81 -
Figura II. 29: Cilindro doble efecto	- 82 -
Figura II. 30: Posiciones y Vías de una válvula	- 83 -
Figura II. 31: Simbología de válvulas neumáticas	- 83 -
Figura II. 32 Válvula biestable de 3 vías	- 85 -
Figura II. 33: Válvula biestable de 3 vías	- 85 -
Figura II. 34: Accionamientos de válvulas	- 86 -
Figura II. 35: Motores Eléctricos	- 88 -
Figura II. 36: Movimiento interno de un motor	- 89 -
Figura II. 37: Ley de Inducción de Faraday	- 90 -
Figura II. 38: Principio de fuerza electromotriz de Ampere	- 90 -
Figura II. 39: Motor asíncrono trifásico de rotor bobinado	- 94 -
Figura II. 40: Motor reductor síncrono Ac	- 96 -
Figura II. 41: Rotor de un motor DC	- 98 -
Figura II. 42: Estator de un motor DC	- 99 -
Figura II. 43: Estructura interna de un motor PAP	- 102 -
Figura II. 44: Solenoide AC	- 104 -
Figura II. 45: Funcionamiento De Un Relé	- 107 -
Figura II. 46: Relé	- 108 -
Figura II. 47: Optoacoplador basado en un diodo emisor y un transistor de receptor.	- 109 -
Figura II. 48: Final de carrera	- 110 -
Figura II. 49: Estructura del optoacoplador	- 111 -

Figura II. 50 Sensores Magnéticos .....	- 112 -
Figura II. 51: IDE DE ARDUINO .....	- 119 -
Figura II. 52: Conectores Tipo Hembra de USb.....	- 120 -
Figura II. 53: Pines del bus de comunicación universal .....	- 121 -
Figura III. 1 : Ángulos .....	- 125 -
Figura III. 2: Tubo cuadrado usado en la estructura de la mesa. ....	- 125 -
Figura III. 3: Correas Dentadas .....	- 126 -
Figura III. 4: Tornillo sin fin de la mesa de posicionamiento.....	- 126 -
Figura III. 5: Plancha de acero negro 2mm antideslizante .....	- 127 -
Figura III. 6 : Tolva de almacenamiento en construcción .....	- 128 -
Figura III. 7: Tolvas de almacenamiento finalizadas .....	- 128 -
Figura III. 8: Bomba de vacío acoplada al cilindro neumático .....	- 129 -
Figura III. 9: Acople de la varilla metálica de la bomba al vástago del cilindro neumático .....	- 129 -
Figura III. 10: Parte fija de la válvula general de paso en proceso de torneado. ....	- 130 -
Figura III. 11: Válvula general de paso terminada .....	- 130 -
Figura III. 12: Brazo para cobertura.....	- 131 -
Figura III. 13: Válvula de paso del brazo de cobertura.....	- 132 -
Figura III. 14: Boquilla de cobertura.....	- 132 -
Figura III. 15: Vista superior de la válvula expulsora de crema para decorado .....	- 133 -
Figura III. 16: Manguera de transporte de crema.....	- 134 -
Figura III. 17: Soporte de Boquillas decoradoras.....	- 134 -
Figura III. 18: Mesa de posicionamiento .....	- 136 -
Figura III. 19: Fuerza de cilindros .....	- 138 -
Figura III. 20: Unidad de Mantenimiento usada en este proyecto. ....	- 140 -
Figura III. 21: Silenciador de válvula neumática .....	- 141 -

Figura III. 22: Variables usadas en el circuito neumático del sistema .....	- 142 -
Figura III. 23: Tablero Neumático .....	- 144 -
Figura III. 24: Ubicación de los sensores magnéticos.....	- 145 -
Figura III. 25: Canaletas de la máquina .....	- 145 -
Figura III. 26: Características de Solenoides AC marca CAMSCO.....	- 146 -
Figura III. 27: Planos del sensor CS1-M de Arduino .....	- 147 -
Figura III. 28: Sensor Magnético.....	- 148 -
Figura III. 29: Módulos de relé de 8 canales.....	- 149 -
Figura III. 30: Tablero de Control y visualización .....	- 149 -
Figura III. 31: Conectores DB9 para comunicación de tableros electrónicos .....	- 151 -
Figura III. 32: Conectores DB25 para comunicación de tableros electrónicos .....	- 151 -
Figura III. 33: Circuito impreso para montaje y conexión de Teclado y LCD .....	- 155 -
Figura III. 34: Circuito impreso para alimentación y comunicación de los elementos de la mesa giratoria.....	- 155 -
Figura III. 35: Circuito impreso 1 para conexión de sensores .....	- 156 -
Figura III. 36: Circuito impreso 2 para conexión de sensores .....	- 156 -
Figura III. 37: Esquema general conexión de Arduino .....	- 156 -
Figura III. 38: Declaración de Funciones usadas en el programa .....	- 157 -
Figura IV. 1: Resultado de la prueba N° 1 de cobertura.....	- 159 -
Figura IV. 2: Deformaciones causadas por ingreso de aire en la bomba recíproca de la prueba N°1 de cobertura. ....	- 160 -
Figura IV. 3: Plano de las divisiones de la boquilla de cobertura para un mejor terminado .....	- 160 -
Figura IV. 4: Resultado de la prueba N° 2 de cobertura.....	- 161 -
Figura IV. 5: Resultado, cuando la velocidad del cilindro está muy baja.....	- 162 -

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla II. I:</b> Dureza y Resistencia a la tensión en diferentes escalas.....	- 47 -
<b>Tabla II.2:</b> Tabla de Materiales no Ferrosos y sus estructura.....	- 54 -
<b>Tabla II.3:</b> Composición de aceros según sistema de numeración AISI.....	- 58 -
<b>Tabla II.4:</b> Tabla de uso de los aceros más comunes .....	- 60 -
<b>Tabla II.5:</b> Propiedades del Acero Inoxidable 304.....	- 63 -
<b>Tabla II.6:</b> Designaciones de la aleación por el principal elemento de aleación .....	- 66 -
<b>Tabla II.7:</b> Aleaciones comunes de aluminio y sus aplicaciones .....	- 67 -
<b>Tabla III. 2:</b> Lista de Entradas del Arduino .....	- 152 -
<b>Tabla III. 3:</b> Lista de Entradas del Arduino .....	- 152 -, - 153 -
<b>Tabla III.1:</b> Variables usadas en el circuito neumático del sistema.....	- 142 -
<b>Tabla IV.1:</b> Tabla de resultados finales. Variable tiempo .....	- 163 -



## **INTRODUCCIÓN**

La industria de la repostería y pastelería es un mercado bastante dinámico que está en un continuo crecimiento. La innovación y el desarrollo de productos son fundamentales para sostener el incremento de esta industria. Es así como es necesario incorporar sistemas automáticos que simplifiquen los procesos de producción.

El presente proyecto de tesis brinda una solución al proceso de decoración de pasteles, que en su mayoría se lo realiza manualmente. El tiempo y la calidad del mismo son las variables en las que se influenciará directamente, provocando una disminución en el tiempo de producción y un producto de mayor calidad.

El sistema automático consta de partes mecánicas, electrónicas y neumáticas que mediante una unidad de control y una interfaz son manipuladas por el operario previamente capacitado.

En los análisis de comparación se demostró ampliamente que la introducción de un sistema automático al proceso de decoración de pasteles, aumenta el número de productos terminados en una unidad de tiempo con un terminado de mejor calidad.

## **CAPÍTULO I**

### **1. MARCO REFERENCIAL**

#### **1.1. ANTECEDENTES**

La demanda de productos de pastelería y repostería dentro de la industria alimenticia ha tenido un incremento acelerado en los últimos años en nuestro país. Sin embargo los negocios que ofertan estos productos no cuentan con los instrumentos ni la maquinaria que les permitiría una elaboración en gran volumen de sus productos.

Cabe indicar que el origen de muchos dulces y pasteles surgió de la necesidad de encontrar métodos para la conservación de alimentos. Así, por ejemplo, se observó que si se calentaba la leche con azúcar, dándole vueltas y dejándola que se concentrase, se obtenía un producto: la leche condensada que se podía conservar sin problemas durante largos períodos de tiempo. Igual se puede decir de las mermeladas hechas a partir de frutas y azúcar sometidas a cocción. En otros casos, surgieron los dulces ante la necesidad de aprovechar determinados productos que existían en abundancia, por ejemplo, el turrón surgió como consecuencia de la gran cantidad existente de almendras y miel en determinadas regiones.

En el siglo XIX la confitería y la pastelería en Europa disfrutaban de un gran auge, con la aparición de las pastelerías y confiterías modernas, muy parecidas a las que existen en la actualidad. En el siglo XX, con el incremento del nivel de vida, continúa ese auge

hasta llegar a nuestros días en que se ha alcanzado un alto grado de perfección en la profesión con unos productos muy variados, de alta calidad, atractiva apariencia y sabor muy agradable.

En el país existen ciudades que se han distinguido por el gran aporte de producto a la industria alimenticia de la panadería y pastelería, un ejemplo de ello es la provincia de Tungurahua y su capital Ambato. Ecuador se encuentra atravesando una etapa de cambios de gestión enmarcados en un proyecto denominado Plan Nacional Del Buen Vivir 2013-2017, el cual dispone varios objetivos dispuestos a generar bienestar social, entre ellos destacan por su importancia en el desarrollo empresarial y tecnológico del país dos objetivos: impulsar la transformación de la matriz productiva y asegurar la soberanía y eficiencia de los sectores estratégicos para la transformación industrial y tecnológica, dichos objetivos están encaminados a que el país sea el generador de sus propios productos y desarrollo tecnológico, terminando de esta manera la dependencia desmedida de importaciones y adquisición de innovación en tecnología de otros países.

Es fundamental para el sector que se dedica a esta actividad lograr un terminado perfecto en el menor tiempo posible. Es aquí donde radica la importancia de esta investigación, para diseñar una máquina que garantice la decoración uniforme y un tiempo de acabado mínimo.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

La industria pastelera requiere contar con un proceso automático de baño y decoración de pasteles, que permita tener un acabado completamente uniforme en un tiempo mínimo; lo que permitirá al empresario producir a gran escala los productos de repostería y no depender de la eficiencia y experiencia del operario decorador. El tiempo dedicado y la calidad del acabado son variables importantes en una

decoración de un pastel. Es así que surge la necesidad de disminuir el tiempo que toma al operario realizar el baño de la torta y el decorado en sí.

Estos requerimientos han llevado a la búsqueda de instrumentos y maquinarias que permitan reducir tiempos de producción y mejorar el acabo del producto. Y es así donde el presente proyecto dará solución en estos aspectos a la industria pastelera de la ciudad y el país. Una microindustria de la pastelería en la ciudad distribuye un promedio de 30 tortas diarias en temporada normal y 200 diarias en feriados festivos.

En el país no existen los sistemas automatizados necesarios para proveer a estas microempresas una producción en gran volumen en un periodo corto de tiempo que les permitiría eliminar muchos gastos de mano de obra y mayor calidad en el acabado. En base a esta necesidad surge la idea de éste proyecto que realizará el mismo trabajo que hace un operario en un periodo de tiempo significativamente menor y con un acabado uniforme imposible de lograr. El ahorro en tiempo es lo más significativo, sumado al mayor aprovechamiento de materias primas que desencadena en una disminución de pérdidas.

La medición y control de variables sumado a un algoritmo de programación forman parte del diseño propuesto en este proyecto, necesaria para alcanzar los requerimientos de la industria.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.1.1 Objetivo General**

Diseñar y construir un sistema automático para decoración de pasteles en producciones a gran escala.

#### **1.1.2 Objetivos Específicos**

✓ Estudiar las etapas que se realizan previo a la obtención del producto decorado.

- ✓ Elaborar y evaluar varios modelos y estilos de máquinas que se puede diseñar para no descartar ninguna posibilidad.
- ✓ Implementar la máquina para decoración de pasteles integrando los sistemas: neumático, eléctrico, mecánico y electrónico.
- ✓ Desarrollar un método de ingreso de datos y visualización de estados para la máquina.
- ✓ Evaluar y analizar resultados del trabajo de investigación.

#### **1.4. HIPÓTESIS**

El sistema automático planteado mejorará significativamente el proceso de decoración y acabado de pasteles en producciones a gran escala, gracias al ahorro de tiempo en un estimado del 200% y a la uniformidad en el acabado.

## **CAPITULO II**

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. CONCEPTOS GENERALES**

Decorar es el proceso de distribuir los elementos funcionales y ornamentales en un espacio de determinada manera para embellecerlo o crear cierto efecto.

En el proceso de decorado de un pastel con crema batida se pueden diferenciar dos procesos bien marcados:

El primero es el glaseado del pastel que consiste en proveer de una capa de crema que cubre todo el pastel, esta capa es lisa y uniforme con ella se logra cubrir imperfecciones del pastel y añadirle un sabor adicional al mismo.

En este proceso se requiere de habilidad por parte de la persona que desempeña esta actividad para lograr un acabado uniforme utilizando la cantidad correcta de material y minimizando el desperdicio de la crema de cobertura, en un tiempo adecuado.

El segundo proceso es el decorado propiamente dicho en el que se utilizan elementos como mangas pasteleras para añadir formas y texturas con pequeñas cantidades de crema por medio de las boquillas adaptadas en estas, lo que da un acabado atractivo a la vista del consumidor.

El dominio de la manga pastelera requiere de mucha practica y fortaleza en la mano, la habilidad de la persona que realiza esta actividad es determinante en el acabado del pastel se debe tener en consideración que repetir el mismo terminado en dos o más pasteles es muy difícil de alcanzar.

## **2.2. SISTEMA MECÁNICO**

### **2.2.1 INTRODUCCIÓN**

Los mecanismos están compuestos por un conjunto de elementos que cumplen una función para lograr un fin específico. Las máquinas se las observan de forma cotidiana. La mayoría de ellas incorporan mecanismos que transmiten y/o transforman movimientos. El diseño de máquinas exige escoger el mecanismo adecuado, no sólo por los elementos que lo componen, sino también por los materiales y medidas de cada uno.

### **2.2.2 DEFINICIÓN**

Los sistemas mecánicos son aquellos sistemas constituidos fundamentalmente por componentes, dispositivos o elementos que tienen como función específica transformar o transmitir el movimiento desde las fuentes que lo generan hasta el lugar donde se requiere dicho movimiento, al transformar distintos tipos de energía. Formado por un conjunto de solidos resistentes, móviles unos respetos de otros, unidos entre sí mediante diferentes tipos de uniones, llamadas pares cinemáticos tales como: pernos, uniones de contacto, pasadores, etc., cuyo propósito es la transmisión del movimiento

Los sistemas mecánicos son aquellos sistemas constituidos fundamentalmente por componentes, dispositivos o elementos que tienen como función específica

transformar o transmitir el movimiento desde las fuentes que lo generan, al transformar distintos tipos de energía.

### 2.2.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS MECÁNICOS

Se caracterizan por presentar elementos o piezas sólidos, con el objeto de realizar movimientos por acción o efecto de una fuerza. En ocasiones, pueden asociarse con sistemas eléctricos y producir movimiento a partir de un motor accionado por la corriente eléctrica.

En los sistemas mecánicos se utilizan distintos elementos relacionados para transmitir un movimiento. Como el movimiento tiene una intensidad y una dirección, en ocasiones es necesario cambiar esa dirección y/o aumentar la intensidad, y para ello se utilizan los llamados mecanismos. En general el sentido de movimiento puede ser circular (movimiento de rotación) o lineal.



**Figura II. 1:** Bicicleta, ejemplo de un sistema mecánico.

**Fuente:** <http://hernandopana.weebly.com/sistemas-mecaacutenicos-simples.html>

### 2.2.4 MECANISMOS

Las máquinas simples se usan, normalmente, para compensar una fuerza resistente o levantar un peso en condiciones más favorables. Es decir, realizar un mismo trabajo con una fuerza aplicada menor.

La máquina se diseña para conseguir que las fuerzas aplicadas sean las deseadas, en consonancia con la fuerza resistente a compensar o el peso de la carga.



**Polea simple:** Esta máquina simple se emplea para levantar cargas a una cierta altura. La polea simple está formada por una polea fija al techo, sobre la cual puede deslizarse una cuerda. Se usa, por ejemplo, para subir objetos a los edificios o sacar agua de los pozos. Al tirar desde un extremo de la cuerda, la polea simple se encarga solamente de invertir el sentido de la fuerza aplicada. Por lo tanto no existe ventaja mecánica, sólo pueden haber pérdidas debidas al rozamiento.



**Figura II. 2:** Polea Simple  
**Fuente:** <http://tecnoyanes.blogspot.com/>

**Palanca:** La palanca es una máquina simple que se emplea en una gran variedad de aplicaciones. Generalmente está formada por una barra rígida que puede oscilar en torno a una pieza fija, que sirve de punto de apoyo.

***Palanca de primer grado***

Palanca de primer grado, como la de la figura, el punto de apoyo está situado entre la fuerza aplicada y la resistencia. La balanza romana es una palanca de primera especie.

***Palanca de segundo grado***

Palancas de segundo grado, el punto de apoyo se sitúa en un extremo de la barra, la fuerza se aplica en el otro extremo, y la fuerza resistente o carga en una posición intermedia. Un cascanueces es un ejemplo de este tipo de palanca.

### ***Palanca de tercer grado***

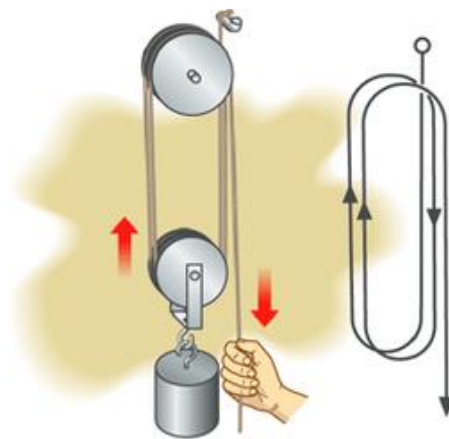
El punto de apoyo se sitúa en un extremo de la barra, la fuerza resistente en el otro extremo, y la fuerza se aplica en una posición intermedia



**Figura II. 3:** Elementos de una palanca

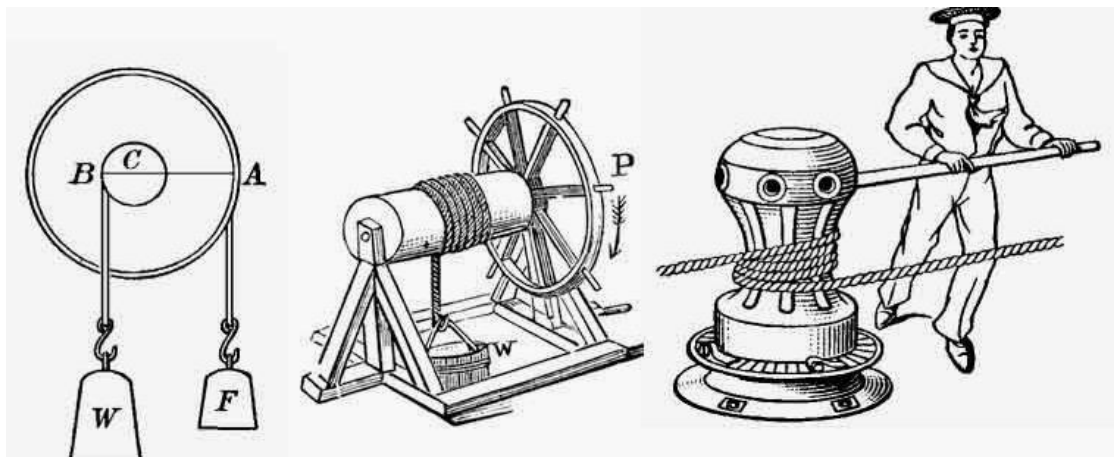
**Fuente:** <http://es.slideshare.net/sgonza/palanca-2098988>

**El polipasto:** El polipasto es una máquina simple que se usa para levantar cargas muy pesadas a una cierta altura. Está formado por un bloque de poleas fijo al techo, y otro bloque de poleas móvil, acoplado al primer bloque mediante una cuerda. Se usa de forma similar a la polea simple, pero en el caso del polipasto la fuerza que hay que aplicar es menor, de manera que se consigue una ventaja mecánica.



**Figura II. 4:** Polea Compuesta o Polipasto  
**Fuente:** <http://tecnoyanes.blogspot.com/>

**El torno o cabestrante:** El torno o cabestrante es una maquina simple formada por un tambor con una cuerda y una manivela, que se usa para levantar cargas hasta la altura del tambor. Cuando el brazo de la manivela es más largo que el diámetro del tambor, existe ventaja mecánica.



**Figura II. 5** Torno

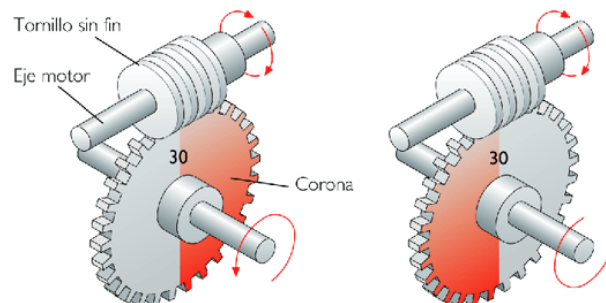
**Fuente:** <http://todotecnologia-eso.blogspot.com/2014/03/maquinas-simples-ii-la-rueda-la-polea-y.html>

### 2.2.5 SISTEMAS DE TRANSMISIÓN

Los mecanismos de transmisión se encargan de transmitir movimientos de giro entre ejes alejados. Están formados por un árbol motor (conductor), un árbol resistente

(conducido) y otros elementos intermedios, que dependen del mecanismo particular. Una manivela o un motor realizan el movimiento necesario para provocar la rotación del mecanismo. Las diferentes piezas del mecanismo transmiten este movimiento al árbol resistente, solidario a los elementos que realizan el trabajo útil. El mecanismo se diseña para que las velocidades de giro y los momentos de torsión implicados sean los deseados, de acuerdo con una relación de transmisión determinada.

**Tornillo sin fin – corona:** Este mecanismo permite transmitir el movimiento entre árboles que se cruzan. El eje propulsor coincide siempre con el tornillo sin fin, que comunica el movimiento de giro a la rueda dentada que engrana con él, llamada corona. Una vuelta completa del tornillo provoca el avance de un diente de la corona. En ningún caso puede usarse la corona como rueda motriz. Puede observarse un tornillo sin fin en el interior de muchos contadores mecánicos.



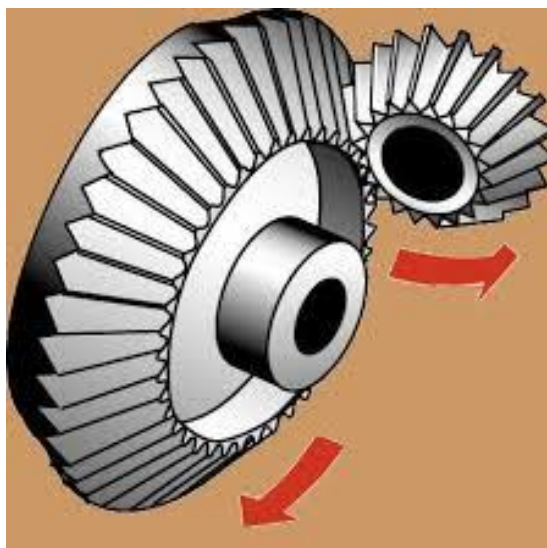
**Figura II. 6:** Dirección del movimiento de un tornillo sin fin

**Fuente:** <http://blogoader.blogspot.com/2014/03/el-tornillo-sin-fin-o-corona.htm>

**Engranaje cónico:** Es un mecanismo formado por dos ruedas dentadas troncocónicas. El paso de estas ruedas depende de la sección considerada, por lo que deben engranar con ruedas de características semejantes. El mecanismo permite transmitir movimiento entre árboles con ejes que se cortan. En los taladros se usa este mecanismo para cambiar de broca. Aunque normalmente los ejes de los árboles son

perpendiculares, el sistema funciona también para ángulos arbitrarios entre  $0^\circ$  y  $180^\circ$ .

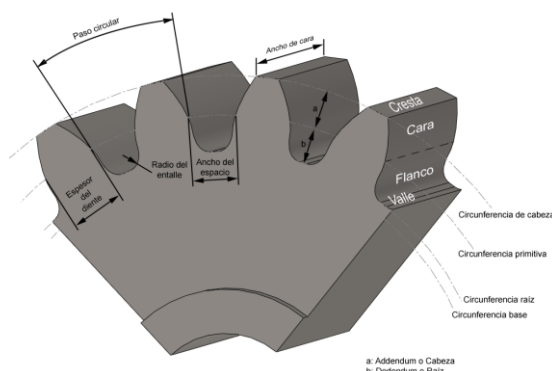
Las prestaciones del mecanismo son parecidas a las del engranaje recto.



**Figura II. 7:** Engranaje cónico

**Fuente:** <http://www.universosniperairsoft.com/revisiones/engranajesgearbox.htm>

**Engranaje recto:** Está formado por dos ruedas dentadas cilíndricas rectas. Es un mecanismo de transmisión robusto, pero que sólo transmite movimiento entre ejes próximos y, en general, paralelos. En algunos casos puede ser un sistema ruidoso, pero que es útil para transmitir potencias elevadas. Requiere lubricación para minimizar el rozamiento. Cada rueda dentada se caracteriza por el número de dientes y por el diámetro de la circunferencia primitiva. Estos dos valores determinan el paso, que debe ser el mismo en ambas ruedas.

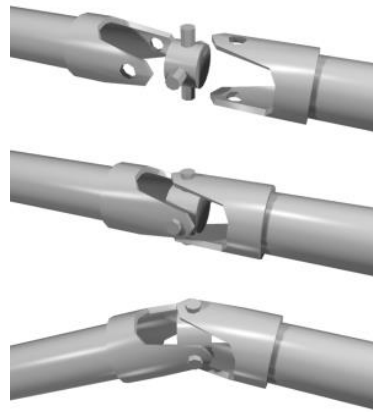


**Figura II. 8: Partes de un engranaje**

**Fuente:** <http://www.universosniperairsoft.com/revisiones/engranajesgearbox.htm>

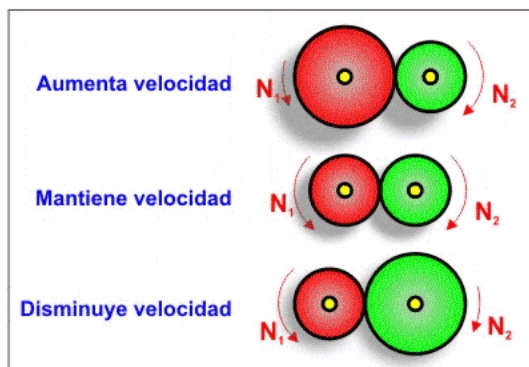
**Poleas:** El mecanismo está formado por dos ruedas simples acanaladas, de manera que se pueden conectar mediante una cinta o correa tensionada. El dispositivo permite transmitir el movimiento entre ejes alejados, de manera poco ruidosa. La correa, sin embargo, sufre un desgaste importante con el uso y puede llegar a romperse. Hay que tensar bien, mediante un carril o un rodillo tensor, para evitar deslizamientos y variaciones de la relación de transmisión. No es un mecanismo que se use demasiado cuando se trata de transmitir potencias elevadas.

**Articulación universal:** La articulación universal o Junta de Cardan resulta útil para transmitir potencias elevadas entre ejes que se cortan formando un ángulo cualquiera, próximo a  $180^\circ$ . Este mecanismo se puede encontrar en el sistema de transmisión de muchos vehículos. Una pieza de cuatro brazos, con forma de cruz, mantiene unidas las horquillas que hay en el extremo de cada eje, permitiendo la movilidad del conjunto. El sistema es bastante robusto y, si se usan dos juntas mediante un árbol intermedio, el giro puede transmitirse a árboles alejados de ejes no paralelos. En este caso, el árbol intermedio sufre esfuerzos de torsión considerables.



**Figura II. 9** Juntas de cardan  
**Fuente:** <https://es.wikipedia.org/wiki/Card%C3%A1n>

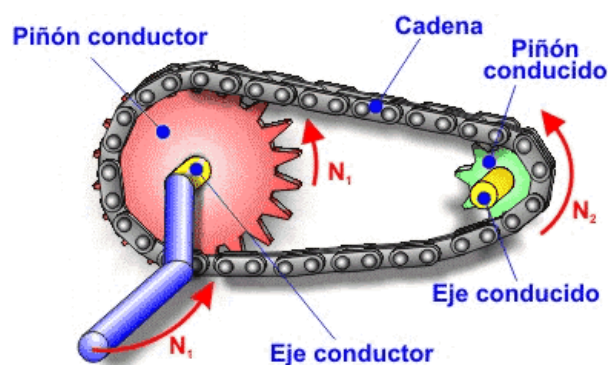
**Ruedas de fricción:** El movimiento de giro se transmite entre ejes paralelos o que se cortan formando un ángulo arbitrario, entre  $0^\circ$  i  $180^\circ$ . Como en el caso de los engranajes, hay ruedas de fricción rectas y tronco cónicos. El mecanismo está formado por dos ruedas en contacto directo, a una cierta presión. El contorno de las ruedas está revestido de un material especial, de forma que la transmisión de movimiento se produce por rozamiento entre las dos ruedas. Si las ruedas son exteriores, giran en sentidos opuestos.



**Figura II. 10:** Ruedas de fricción según la velocidad que se desea lograr  
**Fuente:** [http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec\\_rueda\\_friccion.htm](http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_rueda_friccion.htm)

**Sistema compuesto de poleas:** El mecanismo está formado por más de dos poleas compuestas unidas mediante cintas o correas tensas. Las poleas compuestas constan de dos o más ruedas acanaladas simples unidas a un mismo eje. En el caso más sencillo, se usan tres poleas dobles idénticas, de forma que la rueda pequeña de una polea doble conecta con la rueda grande de la polea siguiente. Así se consiguen relaciones de transmisión, multiplicadoras o reductoras, mayores que en el sistema simple.

**Transmisión por cadena:** Las dos ruedas dentadas se comunican mediante una cadena o una correa dentada tensa. Cuando se usa una cadena el mecanismo es bastante robusto, pero más ruidoso y lento que uno de poleas. Todas las bicicletas incorporan una transmisión por cadena. Los rodillos de la cadena están unidos mediante eslabones y, dependiendo del número de huecos, engranan con uno o varios dientes de las ruedas. En algunas máquinas, la rueda menor suele llamarse piñón, y la rueda mayor plato. Utilizando este mecanismo se consigue que las dos ruedas giren en el mismo sentido.



**Figura II. 11:** Partes del sistema de transmisión por cadena

**Fuente:**

[http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/operadores/ope\\_ruedentada.htm](http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/operadores/ope_ruedentada.htm)



**Tren de engranajes compuesto:** El mecanismo está formado por más de dos ruedas dentadas compuestas, que engranan. Las ruedas compuestas constan de dos o más ruedas dentadas simples solidarias a un mismo eje. En el caso más sencillo, se usan tres ruedas dentadas dobles idénticas, de forma que la rueda pequeña de una rueda doble engrana con la rueda grande de la rueda doble siguiente. Así se consiguen relaciones de transmisión, multiplicadoras o reductoras, muy grandes. Efectivamente, su valor viene dado por el producto de los dos engranajes simples que tiene el mecanismo.

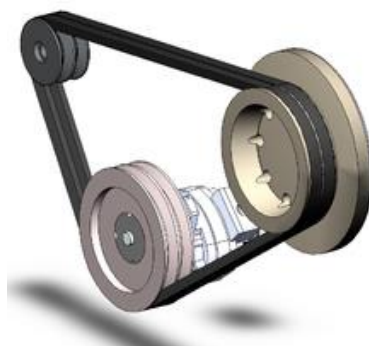
**Tren de engranajes simple:** El mecanismo está formado por más de dos ruedas dentadas simples, que engranan. La rueda motriz transmite el giro a una rueda intermedia, que suele llamarse rueda loca o engranaje loco. Finalmente, el giro se transmite a la rueda solidaria al eje resistente. Esta disposición permite que el eje motor y el resistente giren en el mismo sentido. También permite transmitir el movimiento a ejes algo más alejados.

#### **Correas de transmisión:**

Se conoce como correa de transmisión a un tipo de transmisión mecánica basado en la unión de dos o más ruedas, sujetas a un movimiento de rotación, por medio de una cinta o correa continua, la cual abraza a las ruedas ejerciendo fuerza de fricción suministrándoles energía desde la rueda motriz.

Es importante destacar que las correas de transmisión basan su funcionamiento fundamentalmente en las fuerzas de fricción, esto las diferencia de otros medios de flexibles de transmisión mecánica, como lo son las cadenas de transmisión y las correas dentadas las cuales se basan en la interferencia mecánica entre los distintos elementos de la transmisión.

Las correas de transmisión son generalmente hechas de goma, y se pueden clasificar en dos tipos: planas y trapezoidales.



**Figura II. 12:** Transmisión por correas  
**Fuente:** <http://tecnoyanes.blogspot.com/>

### **Correas Planas**

Las correas planas se caracterizan por tener por sección transversal un rectángulo. Fueron el primer tipo de correas de transmisión utilizadas, pero actualmente han sido sustituidas por las correas trapezoidales. Son todavía estudiadas porque su funcionamiento representa la física básica de todas las correas de transmisión.

### **Correa Multipista o Estriada**

Actualmente están sustituyendo a las trapezoidales, ya que permiten el paso por las poleas tanto de la cara estriada (de trabajo) como de la cara plana inversa, permite recorridos mucho más largos y por lo tanto arrastrar muchos más sistemas. Además permiten el montaje de un tensor automático. En las aplicaciones más conocidas, la de los automóviles o vehículos industriales, pueden arrastrar por ejemplo a la vez: alternador, servodirección, bomba de agua, compresor de aire acondicionado o ventilador (este último sólo en tracción trasera e industriales).

### **Correas Trapezoidales**

A diferencia de las planas, su sección transversal es un trapecio. Esta forma es un artificio para aumentar las fuerzas de fricción entre la correa y las poleas con que interactúan. Otra versión es la trapezoidal dentada que posibilita un mejor ajuste a radios de polea menores.

### **2.2.6 DISEÑOS MECÁNICOS**

El diseño de elementos de máquinas es parte integral del más extenso campo del diseño mecánico. Los encargados del diseño crean aparatos o sistemas que satisfagan necesidades específicas. El caso típico de aparatos mecánicos comprende piezas móviles que transmiten potencia y ejecutan pautas determinadas de movimiento. Los sistemas mecánicos están formados por un conjunto de aparatos mecánicos.

Para lo cual el diseñador debe ser competente en el diseño de los elementos individuales que componen al sistema, pero al mismo tiempo debe poder integrar dichos componentes y equipos dentro de un sistema coordinado que satisfaga las necesidades del cliente

### **2.2.7 PROCESO DEL DISEÑO MECANICO**

Es esencial conocer los deseos y expectativas de todos los clientes, antes de comenzar el diseño del producto. Para determinar qué es lo que desea el cliente con frecuencia se utiliza el método de *Despliegue de la función de la calidad* (QFD, Quality Function Deployment) que se basa en identificar todas las propiedades y los factores de funcionamiento que desean los clientes y además evalúa la importancia relativa de estos factores. El resultado de este análisis es un conjunto detallado de funciones y requisitos de diseño para el producto.

También es importante considerar como se ajusta el proceso de diseño a todas las funciones que deben cumplirse para que se entregue un producto satisfactorio, y para dar servicio al producto durante su ciclo de vida. De hecho es importante considerar como se desechará el producto después de haber cumplido con su ciclo de vida útil. El total de esas funciones que afectan al producto se llama *Proceso de Realización del Producto* o PRP.

Algunos de los factores comprendidos en el PRP son:

Funciones de mercadotecnia para evaluar los requerimientos del cliente

Investigación para determinar la tecnología disponible que puede usarse en forma razonable en el producto.

Disponibilidad de materiales y componentes que pueden incorporarse al producto.

Diseño y desarrollo del producto.

Prueba de funcionamiento

Documentación del diseño

Relaciones de Vendedores y funciones de compradores

Consideración de suministro global de materiales y de ventas globales.

Conocimientos de la fuerza de trabajo.

Planta e instalaciones físicas disponibles.

Capacidad DE LOS sistemas de manufactura

Sistemas de planeación de la producción y control de la misma.

Sistemas de apoyo a la producción y personal.

Requisitos de los sistemas de calidad.

Operación y mantenimiento de la planta física

Sistemas de distribución para que los productos lleguen al cliente.

Operaciones y programas de venta

Objetivos de costo y demás asuntos de competencia

Requisitos del servicio al cliente

Problemas ambientales durante la fabricación, funcionamiento y disposición del producto

Requisitos legales.

Disponibilidad de capital financiero.

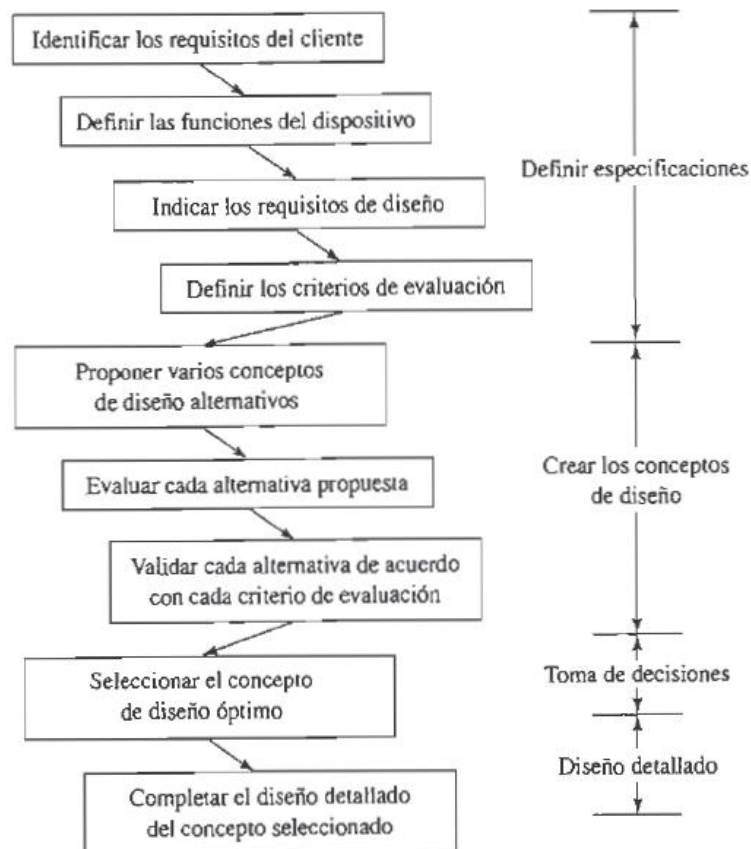
### **2.2.7.1 CONOCIMIENTOS NECESARIOS EN EL DISEÑO MECANICO**

Los ingenieros de producto y los diseñadores mecánicos usan una amplia variedad de capacidad y conocimientos en sus tareas diarias, como las siguientes:

- Trazado, dibujo técnico, y diseño asistido por computadora
- Propiedades de los materiales, procesamiento de materiales y procesos de manufactura.
- Aplicaciones de la química, como protección contra la corrosión, galvanoplastia y pintura.
- Estática, dinámica, resistencia de materiales, cinemática y mecanismos.
- Comunicación oral, atención, redacción técnica y trabajo en equipo
- Mecánica de Fluidos, termodinámica y transferencia de calor.
- Máquinas hidráulicas, los fundamentos de los fenómenos eléctricos y controles industriales.
- Diseño de experimentos y pruebas de funcionamiento de materiales y sistemas mecánicos
- Creatividad, solución de problemas y gerencia de proyectos
- Análisis de esfuerzos
- Conocimientos especializados del comportamiento de elementos de máquinas como engranes, transmisiones de bandas, transmisiones de cadenas, ejes, cojinetes. Cuñas, acanaladuras, acoplamientos, sellos, resortes, uniones como:

atornilladas, remachadas, soldaduras, adhesivas, motores eléctricos, dispositivos de movimiento lineal, embragues y frenos.

### 2.2.7.2 PASOS PARA EL DISEÑO MECÁNICO



**Figura II. 13:** Etapas del diseño mecánico.  
**Fuente:** Diseño de elementos de máquinas R. Mott

### 2.2.7.3 MATERIALES EN EL DISEÑO MECÁNICO

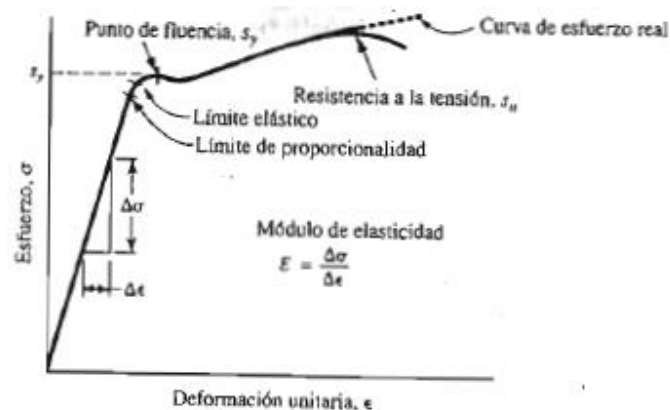
Los elementos de máquinas se fabrican a menudo con uno de los metales o aleaciones metálicas como el acero, aluminio, hierro colado, zinc, titanio o bronce. Las propiedades más importantes de los materiales que afectan al diseño mecánico son la resistencia, la elasticidad y la ductilidad. Estas propiedades se suelen determinar con una *prueba de tensión*, en donde se toma una muestra del material casi siempre de

forma de una barra redonda o plana y se la tensa de ambos extremos lentamente hasta que se rompa, pudiendo así monitorear la magnitud de la fuerza y la deformación.

#### 2.2.7.4 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

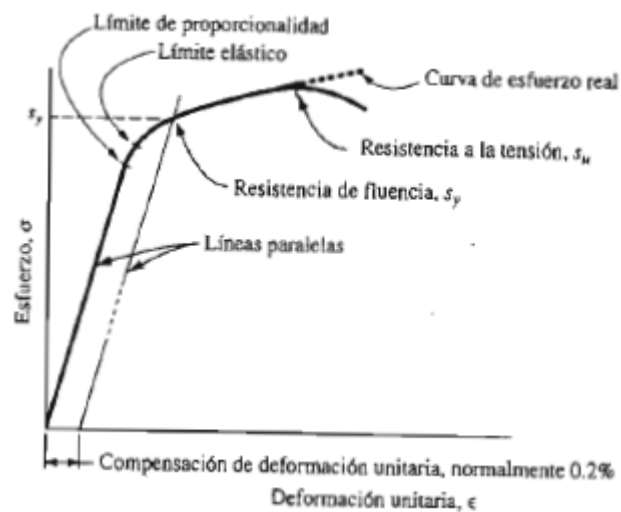
##### Resistencia a la tensión, $s_u$

Se considera que el punto máximo de la curva esfuerzo-deformación unitaria es la resistencia última a la tensión, a veces se le llama resistencia última o simplemente resistencia a la tensión. En ese punto de la prueba se mide el máximo esfuerzo aparente en una barra de prueba del material. Sin embargo, observe que la instrumentación utilizada para trazar los diagramas, en realidad, obtiene la gráfica de carga contra deflexión en lugar del esfuerzo real contra deformación unitaria. El esfuerzo aparente se calcula al dividir la carga entre el área de la sección Transversal original de la barra de prueba. Después de que se alcanza el máximo de la curva de crecimiento notable del diámetro de la barra que recibe el nombre de formación de cuello. Así, la carga actúa sobre un área menor, y el esfuerzo real continúa aumentando hasta la ruptura. Es muy difícil seguir la reducción en el diámetro durante el proceso de formación de cuello, por lo que se acostumbra usar el punto máximo de la curva como resistencia a la tensión, Aunque es un valor conservador.



**Figura II. 14:** Diagrama típico de esfuerzo- deformación unitaria para el acero

**Fuente:** Diseño de elementos de máquinas R. Mott



**Figura II. 15:** Metales que no tienen punto de fluencia

**Fuente:** Diseño de elementos de máquinas R. Mott

### Resistencia de fluencia, $s_y$

La parte del diagrama esfuerzo-deformación unitaria donde hay un gran incremento de la deformación con poco o ningún aumento del esfuerzo se llama resistencia de fluencia o resistencia de cedencia. Esta propiedad indica que, en realidad, el material ha cedido o se ha alargado en gran medida y en forma plástica y permanente. Si el punto de fluencia es muy notable, como en la figura, la propiedad se le llama punto de influencia y no resistencia de influencia. Es típico en un acero al carbono simple, laminado en caliente.

La figura anterior muestra la forma del diagrama esfuerzo-deformación unitario, típico de un metal no ferroso, como el aluminio o titanio, o de ciertos aceros de alta resistencia. Se observa que no hay un punto de influencia marcada, pero el material ha cedido, en realidad, en o cerca del valor del esfuerzo indicado como  $s_y$ . Ese punto



se determina por el método de compensación, donde se traza una recta paralela a la porción rectilínea de la curva, y es compensada hacia la derecha en una cantidad establecida, en el caso normal es 0,20% de deformación unitaria. La intersección de esta línea y la curva de esfuerzo deformación unitaria definen la resistencia del material a la fluencia.

### **Límite de proporcionalidad**

El punto de la curva del esfuerzo-deformación unitaria donde se desvía de una línea recta se llama límite de proporcionalidad. Esto es, por debajo de este valor de esfuerzo, u otros mayores, el esfuerzo ya no es proporcional a la deformación unitaria. Por abajo del límite de proporcionalidad, se aplica la ley de Hooke: el esfuerzo es proporcional a la deformación unitaria. En el diseño mecánico, es poco común usar los materiales arriba del límite de proporcionalidad.

### **Límite elástico**

En algún punto, llamado límite elástico, el material tiene cierta cantidad de deformación plástica, por lo que no regresa a su forma original después de liberar la carga. Por debajo de este nivel, el material se comporta en forma totalmente elástica. El límite de proporcionalidad y el límite elástico están bastante cerca de la resistencia de fluencia. Como son difíciles de determinar, rara vez se les cita.

### **Módulo de elasticidad en tensión, E**

Para la parte rectilínea del diagrama esfuerzo-deformación unitaria, el esfuerzo es proporcional a la deformación unitaria y el valor de E, el módulo de elasticidad, es la constante de proporcionalidad. Esto es.

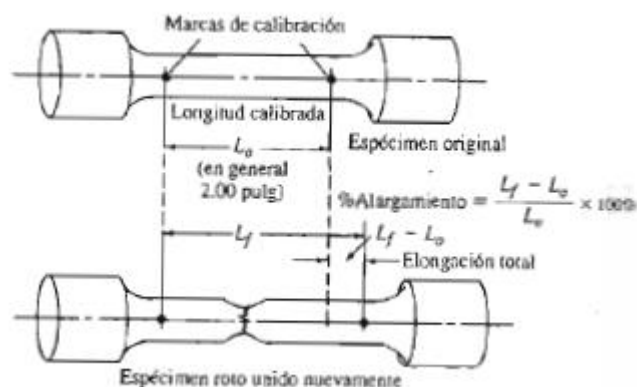
$$E = \text{esfuerzo} / \text{deformación unitaria}$$

Esta es la pendiente de la parte rectilínea del diagrama. El módulo de elasticidad indica la rigidez o resistencia a la deformación del material.

### Ductilidad y porcentaje de elongación

La ductilidad es el grado en el cual un material se deformará antes de su fractura final. Lo contrario de ductilidad es fragilidad. Cuando se usan materiales dúctiles en elementos de máquinas, se detecta con facilidad la inminente falla, y es rara una falla repentina. También, los materiales dúctiles resisten, bajo condiciones normales, las cargas repetidas sobre los elementos de máquinas mejor que los materiales frágiles.

La medida usual de la ductilidad es el porcentaje de elongación o de alargamiento del material cuando se fractura en una prueba normalizada de tensión. Antes de la prueba, se trazan marcas de calibración en la barra, por lo general a dos pulgadas entre sí. Después, cuando está rota la barra, se acomoda las dos partes y se mide la longitud final entre las marcas de calibración. El porcentaje de elongación es la diferencia entre la longitud final y la longitud original, dividida entre la longitud original y convertida a porcentaje.



**Figura II. 16:** Medición del porcentaje de elongación  
**Fuente:** Diseño de elementos de máquinas R. Mott

Porcentaje de elongación=  $(\text{Longitud final} - \text{Longitud original}) \cdot 100 / \text{Longitud original}$

Se supone que el porcentaje de elongación se basa en una longitud calibrada de dos pulgadas, a menos que otra longitud se indique en forma específica. En los aceros estructurales se usa con frecuencia una longitud calibrada de ocho pulgadas.

Desde el punto de vista teórico, se considera que un material es dúctil si su porcentaje de alargamiento es mayor al 5%. Por razones prácticas, se aconseja usar un material con 12% o mayores de elongación, para miembros de máquinas sujetas a cargas repetitivas del choque o impacto.

El porcentaje de reducción del área es otro ciclo de la ductilidad para calcularlo se compara el área de la sección transversal original con el área final en la ruptura para el espécimen de prueba de tensión.

#### **Resistencia al corte, $s_{ys}$ y $s_{us}$**

Tanto la resistencia de fluencia como la resistencia última al corte ( $s_{ys}$  y  $s_{us}$  respectivamente) son importantes propiedades de los materiales. Desafortunadamente rara vez se menciona estos valores se usarán las siguientes estimaciones:

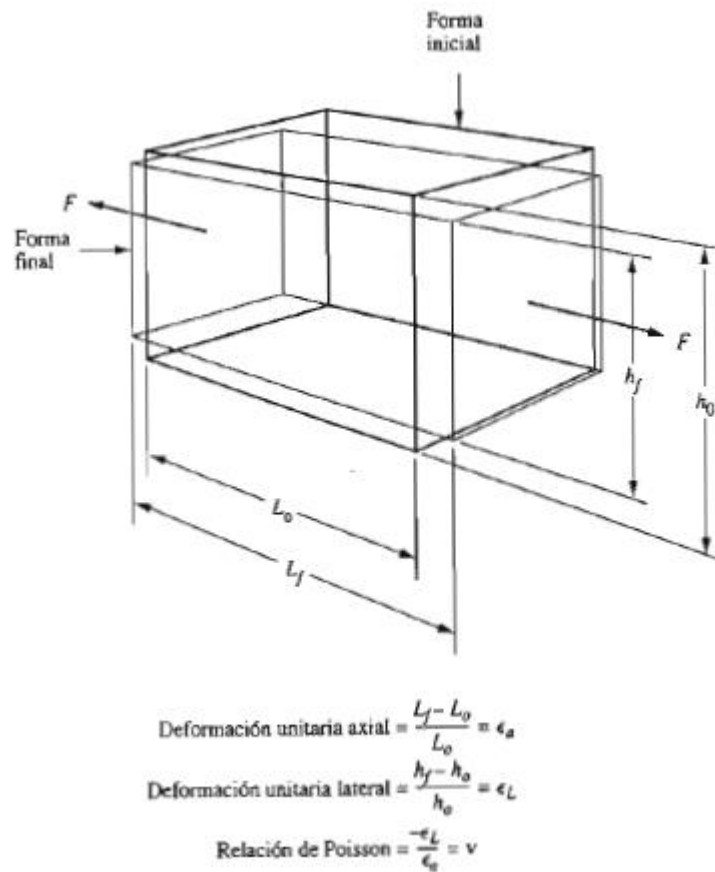
Resistencia de Fluencia al corte =0.5

Resistencia última de corte =0.75

#### **Relación de Poisson, $\nu$**

Cuando un material se sujeta a una deformación en tensión, existe una contracción simultánea de las dimensiones de la sección transversal a la dirección de la deformación unitaria de tensión. A la relación de deformación unitaria de Contracción entre la deformación unitaria de tensión se le llama relación de Poisson. En la figura se ilustra el concepto de la relación de Poisson. Los típicos intervalos de sus valores son

de 0.25 a 0.27 Para el hierro colado, De 0.27 a 0.30 para el acero y de 0.30 a 0.33 para el aluminio y el titanio.



**Figura II. 17:** Relación de Poisson para un elemento en tensión  
**Fuente:** Diseño de elementos de máquinas R. Mott

### Módulo de elasticidad en cortante, G

El módulo de elasticidad en cortante G, es la relación del esfuerzo cortante entre la deformación unitaria por cortante. Esta propiedad indica la rigidez de un material bajo cargas de esfuerzo de corte, es decir, es la resistencia a la deformación por cortante.

Existe una sencilla relación entre E, G y la relación de Poisson

$$G = E / 2 (1 + \nu)$$

Esta adecuación es válida dentro del intervalo elástico del material.

### **Módulo de Flexión**

Con frecuencia se menciona otra medida de la rigidez, en especial con los plásticos: Se le llama módulo de flexión o módulo de elasticidad en flexión. A partir de estos datos, y conociendo la geometría de la muestra, se pueden calcular el esfuerzo y la deformación unitaria. Como indica el nombre, se carga un espécimen del material como una viga a flexión, y se toman y grafican datos de carga en función de deflexión. A partir de estos datos y conociendo la geometría de la muestra, se pueden calcular el esfuerzo y la deformación unitaria. La relación de esfuerzo entre deformación unitaria es igual al módulo de flexión. Los datos sirven para comparar la rigidez de distintos materiales cuando una pieza que soporta cargas se somete a flexión en el servicio.

### **Dureza**

La resistencia de un material a ser penetrado por un dispositivo es indicativa de su dureza. La dureza se mide con varios aparatos, procedimientos y penetradores: El probador de dureza – Brinell y el de Rockwell Son los que se utilizan con más frecuencia para elementos de máquina.

Para aceros, en el medidor de dureza de Brinell se usa una bola de acero endurecido de 10 mm de diámetro como penetrador, bajo una carga de 3000 kg fuerza. La carga causa una indentación permanente en el material de prueba, y el diámetro de la indentación se relaciona con el número de dureza Brinell BHN O HB. La cantidad real que se mide es la carga dividida entre el área de contacto de la indentación. Para los aceros, el valor va desde 100 para un acero recocido de bajo carbono, hasta más de 700 para aceros de alta resistencia y de alta aleación, en la condición de recién

templado. En los números altos, mayores que 500, el penetrador se fabrica a veces con carburo de tungsteno o de acero. Para los metales más suaves, se emplea una carga de 500 kg

El durómetro de Rockwell Utiliza una bola de acero endurecido de 1/16 Pulgadas de diámetro bajo una carga de 100 kg fuerza para metales blandos, y el resultado tenido se indica como Rockwell o HRB. Para metales más duros, tales como las aleaciones de acero con tratamiento térmico, se utiliza la escala Rockwell. Se ejerce una carga de 150 kg fuerza sobre un penetrador de diamante de forma cónica esférica. A veces la dureza Rockwell se indica como HRC Ambos métodos miden la dureza y aunque se basan en distintos parámetros tienen una correlación entre ellos. También es importante notar que, en especial con los aceros de aleación muy endurecibles, existe una relación casi lineal entre el número Brinell y la resistencia del acero a la tensión. Definida por la ecuación.

**0.50 HB= Resistencia aproximada a la Tensión (ksi)**

Para comparar las escalas de dureza con la resistencia de tensión se considera la siguiente tabla.

**Tabla II. I:** Dureza y Resistencia a la tensión en diferentes escalas  
**Fuente:** Diseño de elementos de máquinas R. Mott

Material y condición	Dureza			Resistencia a la tensión	
	HB	HRB	HRC	ksi	MPa
1020 recocido	121	70		60	414
1040 laminado en caliente	144	79		72	496
4140 recocido	197	93	13	95	655
4140 OQT 1000	341	109	37	168	1160
4140 OQT 700	461		49	231	1590

**Fuente:** Diseño de elementos de máquinas R. Mott

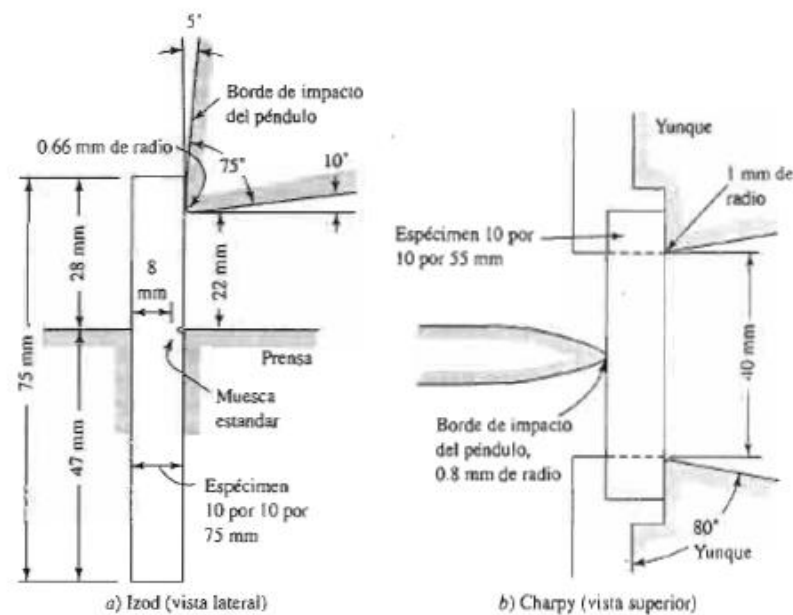
En un acero, la dureza indica la resistencia al desgaste, así como los esfuerzos.

### **Maquinabilidad**

La maquinabilidad se relaciona con la facilidad con que se puede maquinar un material para obtener un buen acabado superficial con una duración razonable de la herramienta. Las tasas de producción se ven directamente afectadas por la facilidad de maquinado. Es difícil definir propiedades mensurables que se relacionen con maquinabilidad, por lo que esta propiedad se suele mencionar en términos comparativos, que relacionan el desempeño de determinado material en relación con un patrón.

### **Tenacidad, energía de impacto**

La tenacidad es la capacidad de un material para absorber la energía que se le aplica sin fractura. Las piezas sometidas a cargas aplicadas repentinamente, a choques o a impacto, necesitan tener un alto nivel de tenacidad. Para medir la cantidad de energía necesaria para romper determinado espécimen hecho con el material que interesa, se emplean varios métodos. Al valor de absorción de energía en esas pruebas se le llama con frecuencia energía de impacto, o resistencia al impacto. Sin embargo, es importante observar que el valor real depende mucho de la naturaleza de la muestra, en particular de su geometría. No es posible usar los resultados de la prueba en forma cuantitativa cuando se hacen cálculos del diseño. Más bien, la energía de impacto para varios candidatos materiales a emplearse en determinada aplicación se puede comparar entre sí como signo cualitativo de su tenacidad. El diseño final debe aprobarse bajo condiciones reales de servicio, para comprobar su capacidad de seguridad de sobrevivencia durante el uso esperado.



**Figura II. 18:** Prueba de impacto con diferentes métodos  
**Fuente:** Diseño de elementos de máquinas R. Mott

Son populares dos métodos de determinación de energía de impacto para los metales y los plásticos: El Izod y el Charpy. En cada método, desde una altura conocida se deja caer un péndulo como una gran masa que lleva un golpeador de diseño especial. El golpeador; por consiguiente, el péndulo posee una conocida cantidad de energía cinética. Por lo común, la muestra se rompe durante la prueba y tomar algo de la energía del péndulo, pero le permite atravesar el área de prueba. La máquina de pruebas se configura de tal modo que mide la altura final hasta donde llegar en péndulo, para indicar la cantidad de energía consumida. Ese valor se menciona en unidades de energía, Joules o pies- libra. Algunos metales muy dúctiles, y muchos plásticos, no se rompen durante la prueba y se dice que el resultado es la expresión No se rompe.

### **Resistencia a la fatiga o bajo cargas repetidas**

Las piezas sometidas a aplicaciones repetidas de carga, o a condiciones de esfuerzo que varía en función del tiempo durante varios miles o millones de ciclos, fallan debido



al fenómeno de Fatiga. Los materiales se prueban bajo condiciones controladas de carga cíclica para determinar su capacidad de resistir esas cargas repetidas. Los datos obtenidos se mencionan como resistencia a la fatiga del material, también llamada resistencia bajo cargas repetidas.

### **Arrastramiento**

Cuando los materiales se someten a grandes cargas de forma continua, pueden experimentar elongación progresiva con el paso del tiempo. A este fenómeno se le llama arrastramiento y debe considerarse para metales que operan a altas temperaturas. Se debe observar el arrastramiento cuando la temperatura de funcionamiento de un elemento metálico bajo carga es  $>0.3 T_m$  aproximadamente. Donde  $T_m$  es la temperatura de fusión expresada como temperatura absoluta.

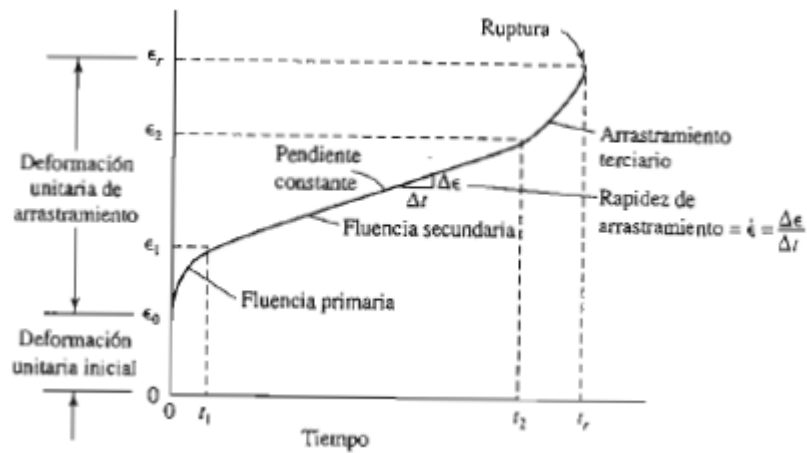
El arrastramiento puede ser importante en los miembros complicados de los motores de combustión interna, hornos con turbinas de vapor, turbinas de gas, reactores nucleares con motores de cohete. El esfuerzo puede ser tensión, compresión, flexión o cortante.

La siguiente figura muestra el comportamiento típico de los metales en el arrastramiento. El eje vertical corresponde a la deformación de arrastramiento en unidades como pulgadas/pulgadas o mm/mm además de la que hay inicialmente cuando se aplica la carga. El eje horizontal corresponde al tiempo, y suelen medirse en horas, porque el arrastramiento se desarrolla lentamente, a largo plazo.

El arrastramiento se mide al someter un espécimen a una carga continua conocida quizá por aplicación de un peso muerto, mientras que el espécimen se calienta y mantiene a una temperatura uniforme. Los datos de formación de arrastramiento se toman cuando menos en la etapa secundaria del arrastramiento y quizá durante todo el trayecto hasta la fractura, para determinar la deformación de ruptura por

arrastramiento. Al efectuar pruebas dentro de un intervalo de temperaturas se obtiene una familia de curvas que son útiles en el diseño.

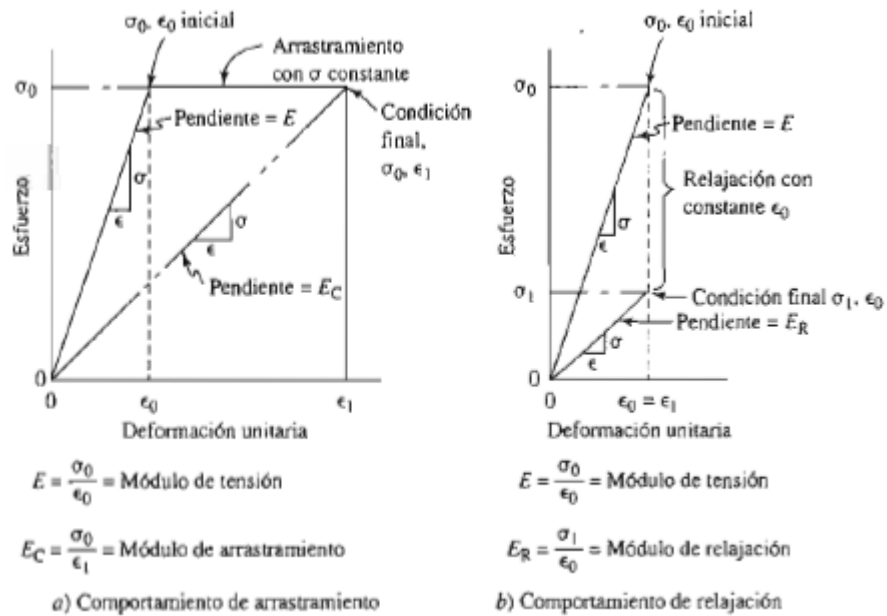
El arrastramiento se va en muchos plásticos, aún a temperatura ambiente o cerca de ella.



**Figura II. 19** Gráfico de un arrastramiento típico  
**Fuente:** Diseño de elementos de máquinas R. Mott

### Relajación

Un fenómeno relacionado con el arrastramiento se presenta cuando un elemento bajo esfuerzo está limitado bajo carga, que le proporciona cierta longitud fija y una deformación unitaria fija. Con el paso del tiempo, el esfuerzo en el elemento disminuiría, lo que muestra un comportamiento llamado relajación. Es importante en aplicaciones como uniones prensadas, piensas con ajuste a la prensa y resortes instalados con una deflexión fija. La figura II.20 figura muestra la comparación entre arrastramiento y relajación. El análisis de la relajación se complica porque a medida que disminuye el esfuerzo también disminuye la rapidez de arrastramiento. Se necesitarían más datos del material, más allá de los que suelen informar, para calcular con exactitud la cantidad de relajación en cualquier momento. Se recomienda hacer pruebas bajo condiciones reales.



**Figura II. 20:** Comparativo entre arrastramiento y relajación  
**Fuente:** Diseño de elementos de máquinas R. Mott

## PROPIEDADES FÍSICAS

Se analizará la densidad, el coeficiente de expansión térmica, la conductividad térmica y la resistividad eléctrica.

**Densidad.** Se define a la densidad como la masa de un material por unidad de volumen. Sus unidades usuales son kg/m<sup>3</sup> y lb/pie.

**Coeficiente de expansión Térmica.** El coeficiente de expansión térmica es una medida del cambio de un material sujeto a un cambio de temperatura. Se define por la relación

Casi todos los metales y los plásticos se dilatan al aumentar su temperatura, pero distintos materiales se dilatan en distintas cantidades. Para máquinas y estructuras que contengan piezas de más de un material, las distintas tasas de expansión pueden

tener un efecto importante sobre el funcionamiento del conjunto y sobre los esfuerzos desarrollados.

$$\alpha = \text{cambio de longitud} / L_o (\Delta T)$$

$$\alpha = \text{deformación unitaria} / (\Delta T)$$

$$\alpha = \epsilon / (\Delta T)$$

Donde:

$L_o$  = Longitud original

$\Delta T$  = Cambio de Temperatura

**Conductividad térmica.** La conductividad térmica es la propiedad de un material que expresa su capacidad de transferir calor. Cuando los elementos de máquinas funcionan en ambientes calientes, o donde se genera un calor interno de importancia, la capacidad de las piezas o de la caja de la máquina para retirar el calor puede afectar el funcionamiento ésta. Por ejemplo, informa típica, los reductores de velocidad con mis grandes sin fin generan calor por fricción, por el contacto con frotamiento entre el gusano y los dientes del piñón. Si no se retiren forma adecuada, el calor hace que el lubricante pierda su eficacia y el desgaste de los dientes del engranaje es rápido.

**Resistividad eléctrica.** Para elementos de máquina que conducen la electricidad y al mismo tiempo soportan cargas, su receptividad es tan importante como su resistencia. La resistividad eléctrica es una medida de la resistencia que presenta determinado espesor del material. Se mide en ohm-cm. A veces se gusta la conductividad eléctrica, una medida de la capacidad de un material para conducir la corriente eléctrica, en lugar de la Resistividad. Con frecuencia se menciona como porcentaje de la conductividad de un material de referencia, por lo general el estándar internacional de cobre reconocido.

### 2.2.8 CLASIFICACIÓN DE METALES Y ALEACIONES

Varias asociaciones industriales asumen la responsabilidad del establecimiento de normas para clasificar metales y aleaciones. Cada uno tiene su propio sistema de numeración, adecuado para determinado metal a qué se refiere la norma. Pero esto a veces causa confusión, cuando hay un traslape entre dos o más normas y cuando se usan distintos esquemas para identificar los metales. Se ha ordenado, en cierta medida en la clasificación de los metales, son sistemas unificados de numeración UNS (Unified Numbering Systems), definidos en la Norma E 527-83 que es un práctica normalizada de numeración de metales y aleaciones UNS (Standard Practice for Numbering Metals and Alloys), por la American Society for Testing and Materials o ASTM. Además de la lista de los materiales bajo control de la misma ASTM, el UNS coordina las designaciones de los siguientes grupos:

La Asociación del Aluminio (AA, Aluminium Association)

El Instituto Estadounidense del Hierro y Acero (AISI, American Iron and Steel Institute)

La Asociación para el desarrollo del Cobre (CDS, Copper Development Association)

La Sociedad de Ingenieros automotrices (SAE, Society of Automotive Engineers)

**Tabla II.2:** Tabla de Materiales no Ferrosos y sus estructura

**Fuente:** Diseño de elementos de máquinas R. Mott

<b>Serie de Números</b>	<b>Tipos de metales y aleaciones</b>	<b>Organización Responsable</b>
-------------------------	--------------------------------------	---------------------------------

<b>Metales y aleaciones no ferrosas</b>		
A00001 – A99999	Aluminio y aleaciones de aluminio	AA
C00001 – C99999	Cobre y aleaciones de cobre	CDA
E00001 – E99999	Metales de tierra rara y sus aleaciones	ASTM
L00001 – L99999	Metales de bajo punto de fusión y sus aleaciones	ASTM
M00001 – M99999	Diversos metales no ferrosos y sus aleaciones	ASTM
N00001 – N99999	Níquel y aleaciones de níquel	SAE
P00001 – P99999	Metales preciosos y sus aleaciones	ASTM
R00001 – R99999	Metales y aleaciones reactivos refractarios	SAE
Z00001 – Z99999	Zinc y aleaciones de Zinc	ASTM
<b>Metales y aleaciones ferrosas</b>		
D00001 – D99999	Aceros: especificación de propiedades mecánicas	SAE
F00001 – F99999	Hierros colados y aceros colados	ASTM
G00001 – G99999	Aceros al carbón y aleados(incluye los anteriores)	AISI

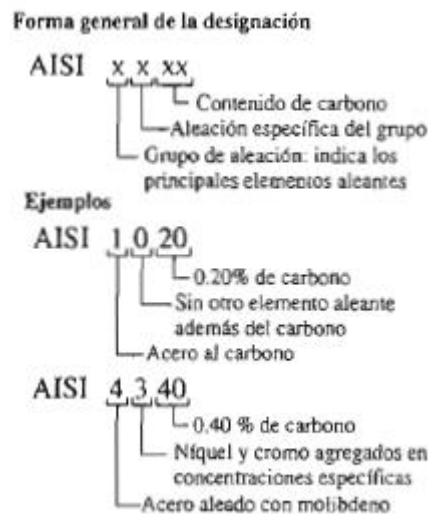
H00001 – H99999	Aceros H: templabilidad especificada	AISI
J00001 – J99999	Aceros colados (excepto acero de herramientas)	ASTM
K00001 – K99999	Diversos aceros y aleaciones ferrosas	ASTM
S00001 – S99999	Aceros resistentes al calor y a la corrosión (inoxidables)	ASTM
T00001 – T99999	Aceros de herramientas	AISI

### **Acero al carbón y aleado**

Es posible que el acero sea el material más usado en los elementos de máquinas por sus propiedades de gran resistencia, gran rigidez, durabilidad y facilidad relativa de fabricación. Hay diversos tipos de acero disponibles. El término acero indica una aleación de hierro, carbón, manganeso y uno o más elementos importantes. El carbón tiene un gran efecto sobre la resistencia, dureza y ductilidad de cualquier aleación de acero. Los demás elementos afectan la capacidad de templabilidad, tenacidad, resistencia a la corrosión, maquinabilidad y conservación de la resistencia a altas temperaturas. Los elementos de aleación principales contenidos en los diversos aceros son el azufre, fósforo, silicio, níquel, cromo, molibdeno y vanadio.

### **Sistemas designación**

El AISI usa un sistema de designación con cuatro dígitos para el carbón y aleado, como el figura. Los dos primeros dígitos señalan el grupo específico de alegaciones que identifica a los principales elementos aleantes, aparte del carbono en el acero.



**Figura II. 21:** Sistema de designación de los aceros  
**Fuente:** Diseño de elementos de máquinas R. Mott

### Importancia del Carbono

Aunque la mayor parte de las aleaciones de acero contiene menos de 1% de carbono, éste se incluye en la designación debido a sus efectos sobre las propiedades del acero. Los últimos dos dígitos indican el contenido de carbono, en 100° C porcentaje. Por ejemplo cuando los últimos dos dígitos son 20, la aleación contiene aproximadamente 0.20 por ciento de carbón.

A medida que aumenta el contenido de carbono, también aumenta la resistencia y la dureza, con las mismas condiciones de procesamiento y tratamiento térmico. Ya que la ductilidad disminuye al aumentar el contenido de carbono, la selección de un acero adecuado implica cierto compromiso entre resistencia y ductilidad.

Los aceros al alto carbono tienen de 50 a 95 puntos de carbono. El Alto contenido de carbono proporciona mejores propiedades de desgaste adecuadas para aplicaciones donde se requiere filos cortantes duraderos, y para aplicaciones donde las superficies estén sometidas a una abrasión constante. Las herramientas, cuchillos, cinceles y



muchos componentes de implementos agrícolas requieren la aplicación de estos aceros.

**Tabla II.3:** Composición de aceros según sistema de numeración AISI  
**Fuente:** Diseño de elementos de máquinas R. Mott

10xx	Acero puro al carbón sin elementos importante de aleación, excepto carbono y manganeso; menos de 1% de manganeso. También se les llama no resultirizados
11xx	Acero de corte libre: Resultirado. Su contenido de azufre (por lo regular 0.10 %) mejora la maquinabilidad
12xx	Acero de corte libre: resultirado y refosforizado. La presencia de mayor cantidad de azufre y fosforo mejora la maquinabilidad y el acabado superficial.
12Lxx	Acero de corte libre. El plomo agregado al cero 12xx mejora la maquinabilidad.
13xx	Acero con Manganeso: No resultirado. Presencia de aproximadamente 1.75% de manganeso aumenta la templabilidad.
15xx	Acero con carbón: No resultirado, con más de 1% de manganeso.
23xx	Acero con níquel: Nominalmente 3.5% de níquel.
25xx	Acero con níquel: 5% de níquel.
31xx	Acero con níquel - cromo: Nominalmente 1.25% Ni, 0.65% Cr.
33xx	Acero con níquel - cromo: Nominalmente 3.5% Ni, 1.5% Cr.
40xx	Acero con molibdeno: 0.25% de Mo.
41xx	Acero con cromo – molibdeno: 0.95% Cr, 0.2%Mo.
43xx	Acero con níquel-cromo-molibdeno: 1.8% Un, 0.5% o 0.8% Cr, 0.25% Mo.
44xx	Acero con molibdeno: 0.5% de Mo.
46xx	Acero con níquel – molibdeno: 1.8% Ni, 0.25%Mo.

48xx	Acero con níquel – molibdeno: 3.5% Ni, 0.25%Mo.
5xxx	Acero con cromo: 0.4% Cr.
51xx	Acero con cromo: Nominalmente 0.8% Cr.
51100	Acero con cromo: Nominalmente 1% Cr, acero para rodamientos 1% C.
52100	Acero con cromo: Nominalmente 1.45 % Cr, acero para rodamientos 1% C.
61xx	Acero con cromo- vanadio: 0.5% - 1.10% Cr. 0.15% V.
86xx	Acero con níquel – cromo - molibdeno: 0.55% Ni, 0.5% Cr, 0.2%Mo.
87xx	Acero con níquel – cromo - molibdeno: 0.55% Ni, 0.5% Cr, 0.25%Mo.
92xx	Acero con silicio: 2% de silicio.
93xx	Acero con níquel – cromo – molibdeno: 3.25% Ni, 1.2% Cr, 0.12% Mo.

### 2.2.9 GRUPO DE ALEACIONES

Como se indica en la tabla el azufre, fósforo y plomo mejoran la maquinabilidad de los aceros, y se agregan cantidades importantes a los grados 11xx, 12xx y 121xx. Estos grados se usan para piezas de máquinas atornilladas que requieren grandes volúmenes de producción, cuando las piezas obtenidas no están sometidas a grande esfuerzos ni condiciones de desgaste. Estos elementos se controlan en una concentración muy baja en las demás aleaciones por sus efectos adversos, como mayor fragilidad.

El níquel mejora la tenacidad, templabilidad y resistencia a la corrosión del acero, y se incluye en la mayor parte de los aceros de Aleación. El cromo mejora la templeabilidad, la resistencia al desgaste y a la apelación, la resistencia a temperaturas elevadas. En grandes concentraciones, el cromo provee una importante resistencia a la corrosión. El molibdeno también mejorar la templeabilidad y la resistencia a altas temperaturas.

El acero seleccionado para determinada aplicación debe ser económico y debe tener óptimas propiedades de resistencia, productividad, maquinabilidad y maleabilidad. La siguiente tabla contiene una lista de algunos aceros comunes que se usa en piezas de máquinas y en las aplicaciones típicas de las aleaciones.

Tabla de uso de los aceros más comunes

**Tabla II.4:** Tabla de uso de los aceros más comunes  
**Fuente:** Diseño de elementos de máquinas R. Mott

<b>Numero UNS</b>	<b>Numero AISI</b>	<b>Aplicaciones</b>
G10150	1015	Piezas moldeadas en lámina: partes maquinadas (se pueden cementar).
G10300	1030	Piezas de uso general, en forma de barra, palancas, eslabones, cuñas.
G10400	1040	Ejes, engranajes.
G10800	2080	Resortes: piezas para equipo agrícola sometidas a abrasión (dientes de rastrillos, discos, rejas de arado, dientes de cortacéspedes).
G11120	1112	Piezas de máquinas con tornillo.
G12144	12L14	Piezas que requieran buena capacidad de maquinado.
G41400	4140	Engranajes, ejes, piezas forjadas.
G43400	4340	Engranajes, ejes, piezas que requieran buen endurecimiento interior.
G46400	4640	Engranajes, ejes, levas.

G51500	5150	Ejes para trabajo pesado, resortes, engranajes.
G51601	51B60	Ejes, resortes, engranajes con mejor templabilidad.
G52986	E52100	Pistas de rodamientos, bolas, rodillos (acero para rodamientos).
G61500	6150	Engranajes, piezas forjadas, ejes resortes.
G86500	8650	Engranajes, ejes.
G92600	9260	Resortes.

### **Condiciones para aceros y tratamiento Térmico**

Las propiedades finales de los aceros se alteran en forma dramática por la forma de producirlos. Algunos procesos que implican trabajo mecánico, tal como el laminado para obtener determinado perfil, o el templado por medio de dados. En el diseño de máquinas, muchas piezas se producen en forma de barra, ejes, alambre y miembros estructurales. Pero la mayoría de las piezas de máquina, en especial las que soportan grandes cargas, se tratan térmicamente para producir alta resistencia con una tenacidad y ductilidad aceptable.

Las formas de barras y laminadas del acero al carbón se entregan en el estado tal como se laminó; esto es, se laminan a una temperatura elevada para facilitar el proceso. Este laminado también se puede hacer en frío para mejorar la resistencia y el acabado superficial. La amarilla y el alambre laminados en frío tienen la máxima resistencia entre las formas trabajadas, y también un acabado superficial muy bueno. Sin embargo, cuando un material se indica tal como se laminó se debe suponer que fue laminado en caliente.

### **Tratamiento térmico**

El tratamiento térmico es el proceso donde el acero se somete a temperaturas elevadas para modificar sus propiedades. De los diversos procesos disponibles, es que más se usan para los aceros de máquina son el reconocido, normalizado, endurecimiento total y cementación.

### **2.2.10 ACEROS INOXIDABLES**

El término acero inoxidable caracteriza la alta resistencia a la corrosión que presenta las aleaciones de este grupo. Para clasificarla como acero inoxidable, la aleación debe tener un contenido mínimo de cromo del 10%. La mayor parte tienen de 12 a 18% de Cromo. El AISI Designa la mayor parte de los aceros inoxidables como series 200, 300 y 400.

Los tres grupos principales de aceros inoxidables son los austeníticos, los ferríticos y los martensíticos. Los aceros inoxidables austeníticos pertenecen a las series de 200 y 300 AISI. Son grados para uso general, con resistencia moderada. La mayor parte de ellos no se pueden tratar térmicamente, y sus propiedades finales quedan determinadas por la cantidad de trabajado: Al temple que resulta se les llama  $\frac{1}{4}$  Duro,  $\frac{1}{2}$  duro,  $\frac{3}{4}$  duro y duro Total. Esas aleaciones no son magnéticas y se emplean en equipos típicos de procesamiento de alimentos.

Los aceros inoxidable ferríticos Pertenecen a la serie AISI 400, y se les designa como 405, 409, 430, 446, entre otros. Son magnéticos y trabajan bien a temperaturas elevadas de 1300° F a 1900° F, Dependiendo de la aleación. No puede tener tratamiento térmico, pero se pueden trabajar en frío para mejorar sus propiedades. Se aplica en la fabricación de tubos de intercambio de calor, equipo de refinación de petróleo, molduras automotrices, piezas de hornos y equipos químicos.

Los aceros inoxidable martensíticos también pertenecen a la serie AISI 400, incluidos los tipos 403, 410, 414, 416, 420, 431 y 440. Son magnéticos, se pueden tratar térmicamente y tienen mayor resistencia que los de las series 200 y 300, pero conservan buena tenacidad. Entre sus aplicaciones típicas están las piezas de motores de turbinas, cuchillería, tijeras, piezas de bombas, piezas de válvulas, instrumentos quirúrgicos, herrajes para aviones.

Existen muchos grados de acero inoxidable que se patentan por diversos fabricantes. Un grupo usado en aplicaciones de alta resistencia, en los campos algo especial, marino y vehicular, es el del tipo de endurecimiento por precipitación o endurecimiento estructural. Desarrollando resistencias muy altas con tratamientos térmicos a temperaturas relativamente bajas con 900° F a 1150° F .Esta característica ayuda a minimizar la distorsión durante el tratamiento. Algunos ejemplos son los aceros inoxidable 17-4PH, 15-5PH, 17-7PH, PH15-7Mo y AMS362.

### **ACERO 304**

La aleación 304 es un acero inoxidable austenítico de cromo-níquel de uso general con una estructura cúbica de caras centradas También es conocido como 18/8 debido a su composición química, que incluye aproximadamente 18% de cromo y 8% de níquel en peso. Es esencialmente no magnético en estado recocido y sólo puede endurecerse en frío. Su bajo contenido en carbono con respecto a la aleación 302 otorga una mejor resistencia a la corrosión en estructuras soldadas.

**Tabla II.5:** Propiedades del Acero Inoxidable 304  
**Fuente:** Diseño de elementos de máquinas R. Mott

<b>Propiedades Eléctricas</b>	<b>Propiedades Físicas</b>	<b>Propiedades Mecánicas</b>	<b>Propiedades Térmicas</b>
-----------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	---------------------------------

Resistividad Eléctrica 70-72 uOhm.cm	Densidad 7,93 g/cm <sup>3</sup>	Alargamiento <60 %	Coefficiente de Expansión Térmica @20 – 100C 18u/k
	Punto de Fusión 1400 - 1455	Dureza Brinell 160 – 190	Conductividad Térmica a 23C 16,3 W/mk
		Impacto Izod 20 – 136 J/m	
		Módulo de Elasticidad 190 – 210 GPa	
		Resistencia a la Tracción 460 – 1100 MPa	

### 2.2.11 ACERO ESTRUCTURAL

La mayor parte de los aceros estructurales reciben la designación de los números ASMT. Un grado frecuente es el de ASMT A36, que tiene un punto de influencia mínimo de 36000 PSI Y es muy dúctil. En resumen, es un acero con bajo carbón y laminado en caliente, disponible en láminas, placas, barras y perfiles estructurales; por ejemplo, algunas vigas, vigas estándar estadounidenses, canales y ángulos.

### 2.2.12 ACEROS PARA HERRAMIENTAS

El término acero para herramientas se refiere a un grupo de aceros que se usan para fabricar herramientas de corte, punzones, matrices, hojas cortantes, cinceles y otros usos parecidos. Se clasifican en numerosas variedades de aceros para herramientas y siete tipos generales que son: De alta velocidad, trabajados en caliente, trabajados en frío, resistentes al choque, aceros moldeados, uso especial, temples al agua. Mientras que la mayor parte de los usos de los aceros para herramientas se relacionan con el campo de la ingeniería en manufactura, también pertenecen al diseño de máquinas, donde se requiere la capacidad de mantener un borde agudo bajo condiciones abrasivas (Tipos H Y F). También algunos aceros para herramientas tienen mucha resistencia al choque, lo que puede ser ventajoso en componentes de maquina tales como las piezas para embragues mecánicos, trinquetes, cuchillas, guías para partes en movimiento y pinzas.

### **2.2.13 HIERRO COLADO**

Los engranajes grandes, estructuras de máquinas, soportes, piezas de eslabonamiento y demás piezas importantes se fabrican con el hierro colado. Los diversos tipos disponibles abarcan amplios márgenes de resistencia, ductilidad, facilidad de maquinado, resistencia al desgaste y costo. Estas propiedades son atractivas para muchas aplicaciones. Los tres tipos de hierro colado que más se usan son el hierro gris, hierro dúctil y hierro maleable.

### **2.2.14 METALES PULVERIZADOS**

Al fabricar piezas de formas intrincadas mediante metalurgia de polvos se puede, a veces, eliminar la necesidad de un extenso maquinado. Los polvos metálicos se consiguen en muchas formulaciones, cuyas propiedades se acercan a las de la forma



forjada del metal. El procesamiento consiste en preparar un forma previa, compactando el polvo en una matriz, con alta presión. El siguiente paso es sintetizar a una temperatura alta, para fundir el polvo y formar una masa uniforme. A veces se hace un segundo prensado. Para mejorar las propiedades o la exactitud dimensional de la pieza. Las piezas se fabrican típicamente con el proceso de metalurgia de polvos son los engranes, segmentos de engranes, levas, excéntricas y diversas partes de máquina con orificios o proyecciones de forma especial. Son típicas las tolerancias dimensionales de 0.001 a 0.005 pulgadas.

Las desventajas de estas piezas es que suelen ser frágiles, y no deben usarse en aplicaciones con cargas de impacto.

### 2.2.15 ALUMINIO

El aluminio se emplea con frecuencia en aplicaciones estructurales y mecánicas. Sus propiedades atractivas son el bajo peso, buena resistencia a la corrosión, facilidad relativa de formado y maquinado y apariencia agradables. Su densidad es aproximadamente la tercera parte que la del acero, así mismo su resistencia es menor.

**Tabla II.6:** Designaciones de la aleación por el principal elemento de aleación

**Fuente:** Autores

1XXX	Contenido de aluminio de 99% o más.
2XXX	Cobre
3XXX	Manganeso
4XXX	Silicio
5XXX	Magnesio
6XXX	Magnesio y silicio
7XXX	Zinc

La designación estándar maneja un sistema de 4 dígitos para identificar el tipo de aluminio. El primer dígito indica el tipo de aleación según el principal elemento aleante. El segundo dígito si es distinto de cero, indica modificaciones de otra aleación o límites de las impurezas en la aleación. La presencia de impurezas tiene importancia especial en los conductores eléctricos. Dentro de cada grupo hay variaciones que se indican con los dos últimos dígitos de la designación.

**Tabla II.7:** Aleaciones comunes de aluminio y sus aplicaciones  
**Fuente:** Diseño de elementos de máquinas R. Mott

<b>Aleación</b>	<b>Aplicaciones</b>	<b>Formas</b>
1060	Equipos químicos y tanques	Lámina, placa, tubo
1350	Conductores eléctricos	Lámina, placa, tubo, varilla, barra, alambre, perfiles.
2014	Estructuras de avión y armazones de vehículo.	Lámina, placa, tubo, varilla, barra, alambre, perfiles, piezas forjadas.
2024	Estructuras de avión, ruedas, piezas de máquinas.	Lámina, placa, tubo, varilla, barra, alambre, perfiles, remaches.
2219	Piezas sometidas a altas temperaturas (600° F).	Lámina, placa, tubo, varilla, barra, perfiles, piezas forjadas.
3003	Equipo químico, tanques, utensilios de cocina, piezas arquitectónicas.	Lámina, placa, tubo, varilla, barra, alambre, perfiles, remaches, piezas forjadas.
5052	Tubos hidráulicos, electrodomésticos, fabricaciones con láminas.	Lámina, placa, tubo, varilla, barra, alambre, remaches.

6061	Estructuras, armazones y piezas de vehículos. Usos marinos.	Todas las formas.
6063	Muebles, herrajes arquitectónicos.	Tubo, perfiles extruidos.
7001	Estructuras de alta resistencia.	Tubo, perfiles extruidos.
7075	Estructuras de aviones y para trabajo pesado.	Todas las formas, excepto tubos.

### 2.2.16 ALEACIONES DE ZINC

El zinc es el cuarto metal más usado en el mundo, sobretodo el zinc galvanizado que se usa como inhibidor de corrosión del acero. También se usa en gran cantidad en piezas coladas y en materiales de cojinetes.

Se obtiene gran producción en grandes volúmenes mediante colado a presión de zinc, con lo que resultan superficies muy lisas, con una excelente exactitud dimensional. Se pueden usar diversos procesos de recubrimiento para producir una apariencia agradable en el acabado y para inhibir la corrosión. Aunque las piezas de por si tiene una gran resistencia a la corrosión se aplican en ocasiones tratamientos de cromato y fosfato.

### 2.2.17 PLÁSTICOS

Los plásticos comprenden una gran variedad de materiales formados por grandes moléculas, llamadas polímeros. Los miles de distintos plásticos se fabrican al combatir distintas sustancias para formar largas cadenas moleculares.

Un método para clasificar los plásticos incluyen los términos: termoplásticos y termo fijo. En general los materiales termoplásticos se pueden moldear repetidamente, al calentarlos o colarlos, porque su estructura química básica no cambia respecto de su

forma lineal inicial. Los plásticos termofijos si sufren cambios durante el moldeado, y producen una estructura en la cual las moléculas tienen enlaces cruzados y forman una red de moléculas interconectadas. A continuación alguno de los termoplásticos y termofijos más comunes.

## 2.2.18 TERMOPLÁSTICOS

### Nylon

Buena resistencia mecánica, resistencia al desgaste y tenacidad, amplia gama de propiedades posibles, que dependen de las cargas y formulaciones. Se usa en partes estructurales, aparatos mecánicos como engranajes y cojinetes, y en piezas que deben tener resistencia al desgaste.

### Acrilonitrilo – butadieno - estireno (ABS).

Buena resistencia al impacto, rigidez, resistencia moderada. Se usa en cajas, cascos, estuches, piezas de electrodomésticos, tubos y sus conexiones.

### Caucho Nitrilo o NBS

El caucho nitrilo, también conocido como Buna-N, Perbunan, o NBR, es un caucho sintético, copolímero de acrilonitrilo (ACN) y butadieno. El caucho nitrilo, al igual que el caucho estireno-butadieno y otros elastómeros sintético fue producto de las investigaciones que tuvieron lugar durante las dos guerras mundiales, como sustitutos del caucho natural.

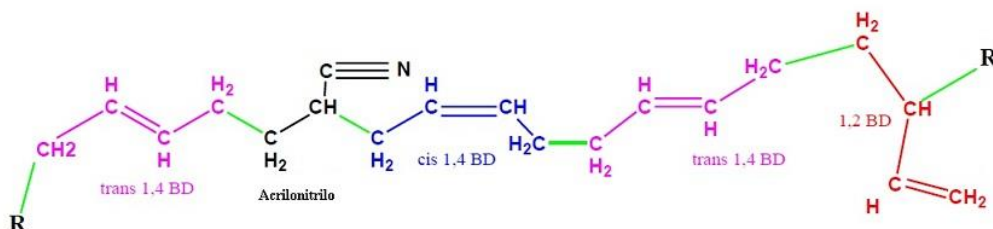


Figura II. 22: Estructura química del caucho nitrilo

**Fuente:** <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/01/el-caucho-nitrilo-tambien-conocido-como.html>

A pesar de que sus propiedades físicas y químicas varían dependiendo de la composición de nitrilo del polímero, este tipo de caucho sintético es generalmente resistente a aceites, combustibles y otros productos químicos (más nitrilo dentro del polímero, mayor es la resistencia a los aceites, pero menor la flexibilidad del material).

Se utiliza en la industria automotriz y aeronáutica para las mangueras de combustible y manipulación de hidrocarburos, sellos y arandelas. Se utiliza en la industria nuclear para fabricar guantes de protección. La capacidad del NBR para soportar una amplia gama de temperaturas (de -40°C a 108°C) hace que sea un material ideal para aplicaciones aeronáuticas. El nitrilo-butadieno también se usa para crear productos moldeados, calzado, adhesivos, selladores, esponjas, espumas expandibles y alfombras de piso.

Su capacidad de recuperación hace del NBR un material útil para fabricación de guantes de laboratorio desechables, guantes de limpieza y/o de examinación médica. El caucho nitrilo es más resistente que el caucho natural a los aceites y ácidos, pero tiene una fuerza y una flexibilidad inferior. Los guantes de nitrilo son sin embargo tres veces más resistente a los pinchazos (resistencia a la perforación) que los guantes de caucho natural.

El caucho nitrilo es generalmente resistente a los hidrocarburos alifáticos. Tanto el caucho nitrilo, como el caucho natural, puede ser atacado por el ozono, hidrocarburos aromáticos.

El caucho nitrilo es entonces un copolímero de acrilonitrilo-butadieno. Es el que más resiste a los aceites de todos los productos de caucho comercializados y se usa en artículos que funcionan en contacto con aceites minerales. Hay diferentes grados de

caucho nitrilo, esto depende del contenido de nitrilo (la proporción de acrilonitrilo puede variar desde el 18% al 40 %). Los de alto contenido en nitrilo (35-40%) resisten más a los aceites, pero son más caros, tienen mayor temperatura de transición vítrea (Tg) y por eso, poseen pocas propiedades a bajas temperaturas y son más rígidos. Los grados medios (25%) y bajos (18%) en contenido de nitrilo, se usan donde no es tan importante la resistencia a los aceites.

Las propiedades del NBR varían de la siguiente forma con contenido creciente de Acrilonitrilo.

ALTO	CONTENIDO DE ACRILONITRILLO	BAJO
←	MEJORA LA RESIST. A ACEITES	
←	MEJORA CARGA DE ROTURA	
←	MEJORA ABRASION Y DUREZA	
←	MEJORA EL PROCESADO	
	MEJORA FLEXIBILIDAD BAJAS TEMP.	→
	MEJORA RESILIENCIA Y ELASTICIDAD	→

**Figura II. 23:** Variación de propiedades del Caucho nitrilo según su contenido de Acrilonitrilo.

**Fuente:** <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/01/el-caucho-nitrilo-tambien-conocido-como.html>

Se considera que los vulcanizados de nitrilo pueden usarse permanentemente a una temperatura no mayor a los 120°C.

### **Policarbonato**

Excelente tenacidad, resistencia al impacto y estabilidad dimensional. Se usa en levas, engranajes, cajas, conectores eléctricos, productos para procesamiento de alimentos, cascos y partes de bombas y medidores.

### **Acrílico**

Buena resistencia a la intemperie y al impacto. Se puede fabricar con excelente transparencia, o traslúcidos u opacos con colores. Se usa para vidrio, en lentes, letreros y cajas.

#### **Cloruro de polivinilo (PVC o policloruro de vinilo)**

Buena resistencia mecánica, resistencia a la intemperie y rigidez. Se usa en tubos, conductos eléctricos, cajas pequeñas, ductos y piezas moldeadas.

#### **Polimida**

Buena resistencia mecánica y al desgaste; muy buenas retención de propiedades a temperaturas elevadas, hasta 500° F (260° C). Para cojinetes, sellos, aspas giratorias y piezas eléctricas.

#### **Acetal**

Alta resistencia, rigidez, dureza y resistencia al desgaste; bajo fricción: buena resistencia a la intemperie química. Para engranajes, bujes, catarinas, piezas de transportador y productos para plomería.

#### **Resina poliéster termoplástico (PET, o resina de tereftalato de polietileno, o resina de politereftalato de etileno)**

Con fibras de vidrio o minerales. Resistencia y rigidez muy altas, excelente resistencia a las sustancias químicas y al calor, excelente estabilidad dimensional y buenas propiedades eléctricas. Se usa en piezas de bombas, cajas, piezas eléctricas, piezas de motores, piezas automotrices, manijas de hornos, engranes, catarinas y artículos deportivos.

#### **Politetrafluoroetileno o PTFE.**

Conocido también como teflón, es un polímero similar al polietileno, en el que los átomos de hidrógeno han sido sustituidos por átomos de flúor. La fórmula química del monómero, tetrafluoretileno, es  $CF_2=CF_2$ . Material de alta tecnología para ser utilizado en condiciones extremas de temperatura, contacto químico y fricción. El teflón se

fabrica con diversos refuerzos: con carga de carbón, con carga de grafito y con refuerzo de fibra de vidrio; que agregan al teflón, propiedades y resistencias específicas para aplicaciones muy especiales.

La propiedad principal de este material es que es prácticamente inerte, no reacciona con otras sustancias químicas excepto en situaciones muy especiales. Esto se debe básicamente a la protección de los átomos de flúor sobre la cadena carbonada. Tiene un muy bajo coeficiente de rozamiento y gran impermeabilidad, manteniendo además sus cualidades en ambientes húmedos.

Es también un gran aislante eléctrico y sumamente flexible, no se altera por la acción de la luz y es capaz de soportar temperaturas desde  $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$  (3.15 K) hasta  $270\text{ }^{\circ}\text{C}$  (543.15 K). Su cualidad más conocida es la antiadherencia

La explicación de la antiadherencia es que el flúor es un elemento bastante extraño. Cuando forma parte de una molécula, no le agrada estar alrededor de otras moléculas, incluso cuando éstas contengan átomos de flúor. Menos aun cuando se trata de otras clases de moléculas. De modo que una molécula de PTFE, estando formada de átomos de flúor, quiere estar lo más alejada posible de otras moléculas. Por esta razón, las moléculas en la superficie de un trozo de PTFE rechazarán cualquier cosa que intente acercárseles. Esta es la razón por la cual nada se adhiere al PTFE.



**Figura II. 24:** Presentación del teflón en tubo

**Fuente:** <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/01/el-caucho-nitrilo-tambien-conocido-como.html>



### **Elastómero**

Es un tipo de compuesto que está formado por no metales y muestra un comportamiento elástico. El término, que proviene de polímero elástico, es a veces intercambiable con el término goma, que es más adecuado para referirse a vulcanizados. Cada uno de los monómeros que se unen entre sí para formar el polímero está normalmente compuesto de carbono, hidrógeno, oxígeno o silicio. Los elastómeros son polímeros amorfos que se encuentran sobre su temperatura de transición vítrea, de ahí esa considerable capacidad de deformación. A temperatura ambiente las gomas son relativamente blandas ( $E \sim 3\text{MPa}$ ) y deformables. Se usan principalmente para cierres herméticos, adhesivos y partes flexibles. Comenzaron a utilizarse a finales del siglo XIX, dando lugar a aplicaciones hasta entonces imposibles como los neumáticos de automóvil. Existen algunos tipos de elastómeros entre ellos tenemos:

#### **Poliuretano elastómero.**

Un material elástico con tenacidad y resistencia a la abrasión excepcionales, buena resistencia al calor y a los aceites. Se usa en ruedas, rodillos engranes, catarinas, partes de transportador y tubos.

#### **Elastómero de poliéster.**

Plástico Flexible con excelente tenacidad y resistencia, alta resistencia al arrastramiento, al impacto y a la fatiga bajo flexión; buena resistencia química. Se conserva flexible a bajas temperaturas y conserva buenas propiedades temperaturas moderadas elevadas. Se usa en sellos, bandas, diafragmas de botas, botas de seguridad, tubo, resortes y dispositivos de absorción de impacto. Los grados con alto modulo se pueden usar en engranes y catarinas.

### **Nitrilo Blanco Alimentario**

Elastómero que encontrará en presentaciones de placa o rollo de hule. Se utiliza para elaborar juntas, sellos, roldanas o empaques que estarán en constante contacto con alimentos y bebidas. Su fórmula única está desarrollada con componentes no tóxicos que le evitan contaminar los productos que estén en contacto con estos. Tiene excelente resistencia a grasas y aceites, tanto vegetales como animales. Tienen un rango de temperatura de e -35°C a 110°C.

### **2.2.18.1 TERMOFIJOS**

#### **Fenólicos**

Gran rigidez, buena maleabilidad y estabilidad dimensional, muy buenas propiedades eléctricas. Se usan en piezas portátiles de equipo eléctrico, dispositivo de distribución, tiras de terminales, cajas pequeñas, manijas de electrodomésticos y utensilios de cocina y en piezas mecánicas estructurales. Los termofijos alquídicos, alílicos y amino tienen propiedades y usos parecidos a los de los fenólicos

#### **Poliéster**

Se conoce como fibra de vidrio cuando esta reforzado con fibras de vidrio; alta resistencia y rigidez, buena resistencia a la intemperie. Se usa en cajas, perfiles estructurales y tableros.

### **2.2.18.2 SELECCIÓN DE MATERIALES**

Una de las tareas más importantes de un diseñador es especificar el material con el cual se fabricará un componente individual de un producto. Es la decisión se debe

considerar una cantidad gigantesca de factores. El proceso de seleccionar un material debe comenzar con el claro entendimiento de las funciones y los requisitos del diseño el producto y del componente individual. Se debe entonces considerar las siguientes interrelaciones para el diseño:

- ✓ Las funciones del componente.
- ✓ La forma del componente.
- ✓ El material con el cual se debe fabricar el componente.
- ✓ El proceso de manufactura usado para producir el componente.
- ✓ La naturaleza de las fuerzas aplicadas al componente.
- ✓ Los tipos y magnitudes de los esfuerzos creados por las fuerzas aplicadas.
- ✓ La deformación admisible del componente en sus puntos críticos.
- ✓ El ambiente en que va a funcionar el componente.
- ✓ El tamaño físico y el peso del componente.
- ✓ Factores estéticos
- ✓ Las metas de costos del producto en su totalidad, y del componente en particular.

## **2.3. SISTEMA NEUMÁTICO**

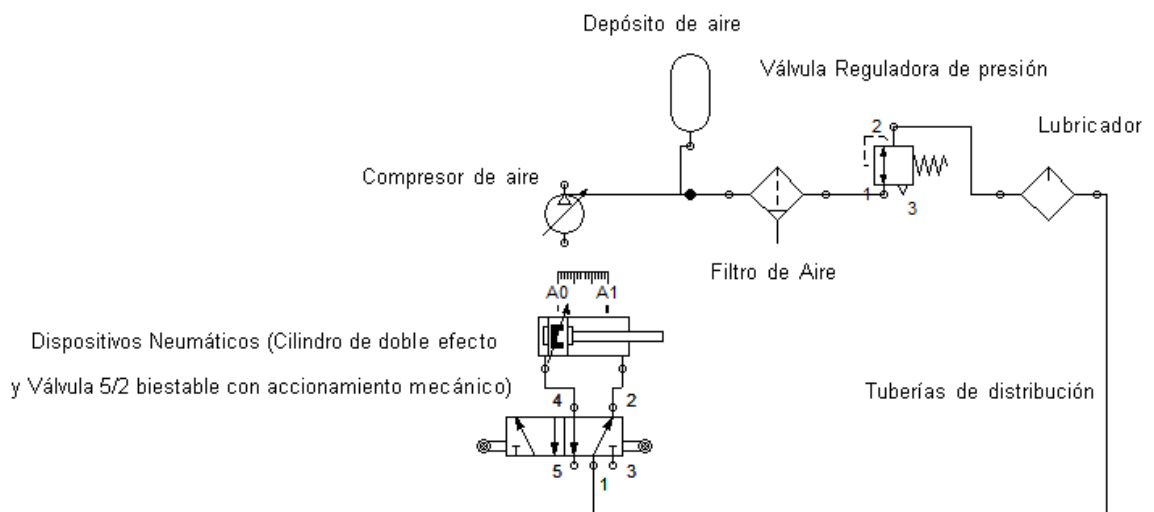
### **2.3.1 INTRODUCCIÓN**

Cuando se trata de sistemas de movimiento y/o control que se basan en fluidos, una opción es trabajar con la neumática. La palabra neumática se refiere al estudio del movimiento del aire y hace aparición en molinos para granos, bombeo de agua y en la navegación. En 1868 George Westinghouse fabricó un freno de aire que revolucionó la seguridad en el transporte ferroviario. Es a partir de 1950 que la neumática se desarrolla ampliamente en la industria.

En la actualidad la neumática está en muchos procesos no solo de carácter industriales, sino que ya se la ha aplicado a procesos incluso domésticos; y es que

esto se ha logrado gracias a sus varias ventajas como el bajo costo de sus componentes, su facilidad de diseño e implementación y el bajo par que se desarrolla a bajas presiones lo que brinda seguridad. Otra ventaja extrema es el nulo riesgo de explosión y combinado a la fácil conversión al movimiento lineal o giratorio y la posibilidad de transmitir energía a grandes distancias han hecho que la neumática se la opción más aceptada cuando de trabajar a bajas presiones se trate.

Un sistema neumático necesita de una *estación de generación y preparación del aire comprimido*, que consta de un compresor de aire, un depósito, un sistema de preparación del aire formado por filtros, lubricadores y reguladores de presión; una red de tuberías para llegar al utilizador y un conjunto de preparación del aire para cada dispositivo neumático.



**Figura II. 25:** Representación de una estación de generación y preparación de aire  
**Fuente:** Autores

Los sistemas neumáticos se complementan con los eléctricos y electrónicos lo que les permite obtener un alto grado de sofisticación y mucha flexibilidad. Así se observa válvulas solenoides, señales de realimentación de interruptores magnéticos, sensores e interruptores eléctricos de final de carrera entre otros. En determinadas aplicaciones tales como movimientos de avance rápido o avance lento, en sujeciones de piezas en

cortes de alta velocidad de materiales duros la neumática se la combina con la hidráulica y se obtiene un circuito de mando neumático y uno de control hidráulico.

### **2.3.2 DEFINICIÓN NEUMÁTICA INDUSTRIAL**

El concepto moderno de neumática trata sobre los fenómenos y aplicaciones de la sobre presión o depresión del aire. La mayoría de las aplicaciones neumáticas se basan en el aprovechamiento de la sobreimpresión.

Según su actual definición, la neumática es una técnica moderna, pero según su concepción original es una de las formas de energía más antigua de entre las conocidas por el hombre. Existen manuscritos del siglo I de nuestra era donde se describen mecanismos accionados por aire caliente.

La neumática moderna, con sus grandes posibilidades, se inicia en Europa a partir de la mitad del siglo XX debido a la acuciante necesidad de una automatización racional de trabajo. La concepción y estudio de los sistemas neumáticos requiere el conocimiento de los elementos neumáticos y su funcionamiento, así como la interconexión entre ellos.

### **2.3.3 CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE MECÁNICA DE FLUIDOS**

Las magnitudes más frecuentes que se utilizan dentro de la neumática son presión y caudal.

#### **2.3.3.1 PRESION**

La presión ejercida por un fluido sobre una superficie y viceversa es el cociente entre la fuerza y la superficie que recibe su acción. Es decir:

$$P = F / S$$

Y cuando la fuerza no es uniforme, para cada punto se tiene que:

$$P = dF / dS$$

### **2.3.3.2 CAUDAL**

El caudal es equivalente a la cantidad de flujo que circula a través de un ducto, río o canal en una unidad de tiempo. Matemáticamente se define como:

$$Q = \text{Volumen} / \text{Unidad de Tiempo} = \text{Área} / \text{Velocidad}$$

Si la velocidad del fluido no es uniforme o si el área no es plana el flujo se calcula mediante una integral.

$$\text{Velocidad} = dQ / d\text{Superficie}$$

Despejando se tiene:

$$Q = \iint_s \text{velocidad} \cdot dS$$

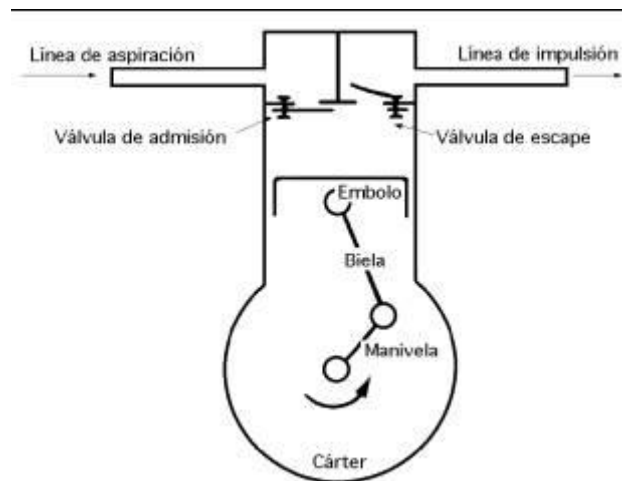
### **2.3.4 PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO**

El suministro de aire comprimido para instalaciones neumáticas comprende los apartados siguientes:

1. Producción de aire comprimido mediante compresores.
2. Acondicionamiento del aire comprimido para las instalaciones neumáticas.
3. Conducción del aire comprimido hasta los puntos de utilización.

#### **2.3.4.1 COMPRESORES**

El elemento central de una instalación productora de aire comprimido es el compresor. Su función es aspirar aire a presión atmosférica y comprimirlo a una presión más elevada.



**Figura II. 26** Compresor ideal sin pérdidas

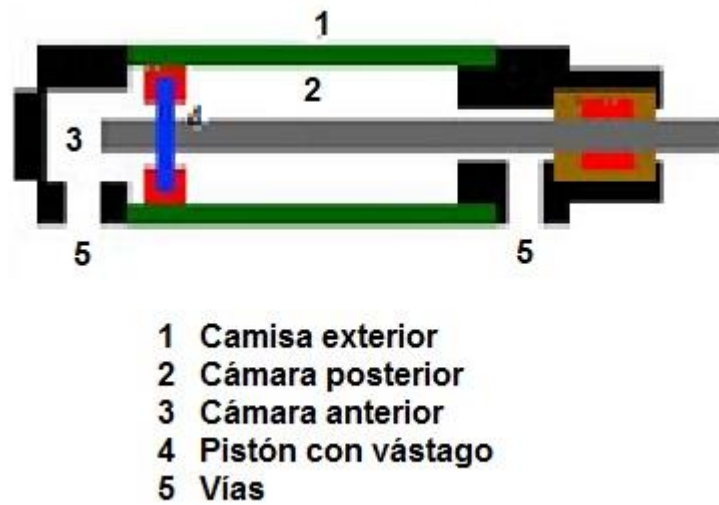
**Fuente:** <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica3A.htm>

### 2.3.5 ACTUADORES NEUMÁTICOS

Los actuadores neumáticos se encargan de la conversión de la energía del aire comprimido en trabajo mecánico a través de un movimiento lineal o circular.

#### 2.3.5.1 CILINDROS NEUMÁTICOS DE MOVIMIENTO LINEAL

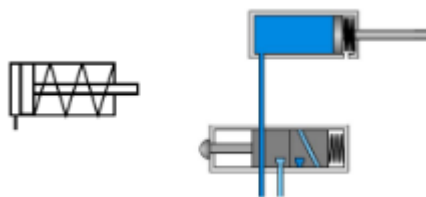
El cilindro neumático consiste en un cilindro cerrado con un pistón en su interior que desliza y transmite su movimiento al exterior mediante un vástago. Sus partes son: las tapas trasera y delantera, la camisa donde se mueve el pistón, el pistón en sí, las justas estáticas y dinámicas del pistón y el anillo rascador que limpia el vástago de cualquier impureza.



**Figura II. 27** Cilindro Neumático de Movimiento Lineal  
**Fuente:** [http://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/361\\_ca.pdf](http://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/361_ca.pdf)

### 2.3.5.2 CILINDRO DE SIMPLE EFECTO

En los cilindros de simple efecto, el émbolo recibe al aire presurizado por un solo lado. Estos cilindros sólo pueden ejecutar el trabajo en un solo sentido. La carrera de retorno del émbolo tiene lugar por medio de un muelle incorporado, o bien por una fuerza externa. Para activarse basta con una válvula 3/2, tiene un reducido consumo de aire y se lo usa en aplicaciones como elemento auxiliar.



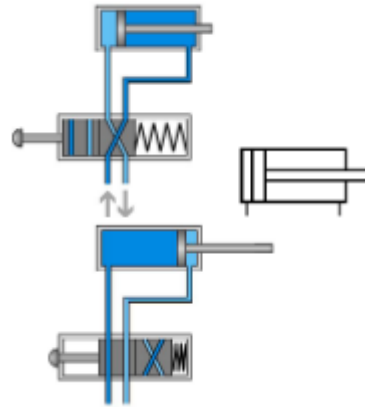
**Figura II. 28:** Cilindro de simple efecto  
**Fuente:** [http://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/361\\_ca.pdf](http://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/361_ca.pdf)

### 2.3.5.3 CILINDRO DE DOBLE EFECTO

El émbolo recibe aire a presión alternativamente por ambos lados. El cilindro puede trabajar en ambos sentidos. Es el más utilizado en las aplicaciones normales y dependiendo de la carga hay cilindros con amortiguación y sin ella. Funcionan con



válvulas 4/2, 5/2 y 5/3. Sus ventajas antes otros cilindros son: la producción de trabajo en ambos sentidos, no tiene pérdida de fuerza al comprimir el muelle, retorno independiente de la carga y se aprovecha toda la longitud del cilindro como carrera.



**Figura II. 29:** Cilindro doble efecto

**Fuente:** [http://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/361\\_ca.pdf](http://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/361_ca.pdf)

#### 2.3.5.4 VÁLVULAS DE CONTROL DIRECCIONAL DISTRIBUIDORES

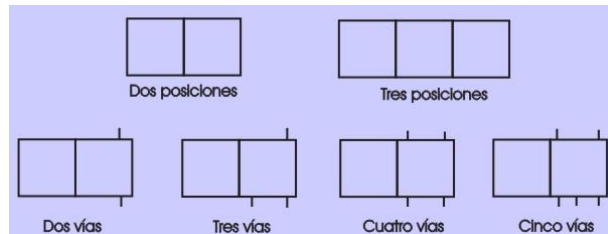
Las válvulas son elementos que mandan o regulan la puesta en marcha, el paro y la dirección, así como la presión del aire. Según la Norma IN 24300 y recomendaciones CETOP (Comitpe Européen des Transmissions Oleohydrauliques et Pneumatiques), las válvulas se subdividen en 5 grupos:

- Válvulas de vías o distribuidores.
- Válvulas de bloqueo.
- Válvulas de presión.
- Válvulas de caudal.
- Válvulas de cierre.

Se denomina vía a cada uno de los orificios a través de los cuales puede circular el aire en su proceso de trabajo o evacuación. Es importante recalcar que en válvulas dotadas de pilotaje neumático, la conexión que permite la entrada de aire para el

control de la válvula no se considera vía, ya que se trata de un sistema de accionamiento.

El número de posiciones de maniobra de una válvula está determinado por el número de posibilidades diferentes de comunicar las vías entre sí.



**Figura II. 30:** Posiciones y Vías de una válvula

**Fuente:** <http://quantum.cucei.udg.mx/~gramirez/menus/elementos/valvulas.html>

### 2.3.5.5 SIMBOLOGÍA

Las líneas representan tuberías o conductos y las flechas el sentido de la circulación. La posición de paso abierto para una válvula se representa por medio de una flecha de un extremo a otro del cuadrado. Las posiciones de cierre dentro de las casillas se representan mediante una línea cortada, esto simboliza la interrupción del flujo.

Símbolo	Forma constructiva	Función	Aplicación
		Función de conexión 2/2 ON/OFF sin escape.	Motores de aire y sopladores neumáticos.
		3/2 Normalmente cerrada. NC	Cilindros de simple efecto y serfates neumáticas.
		3/2 Normalmente abierta. NO	Cilindros de simple efecto y serfates neumáticas inversas.
		4/2 Conexión entre utilidades A y B con escape común.	Cilindros de doble efecto.
		5/2 Conexión entre utilidades A y B con escapes separados.	Cilindros de doble efecto.

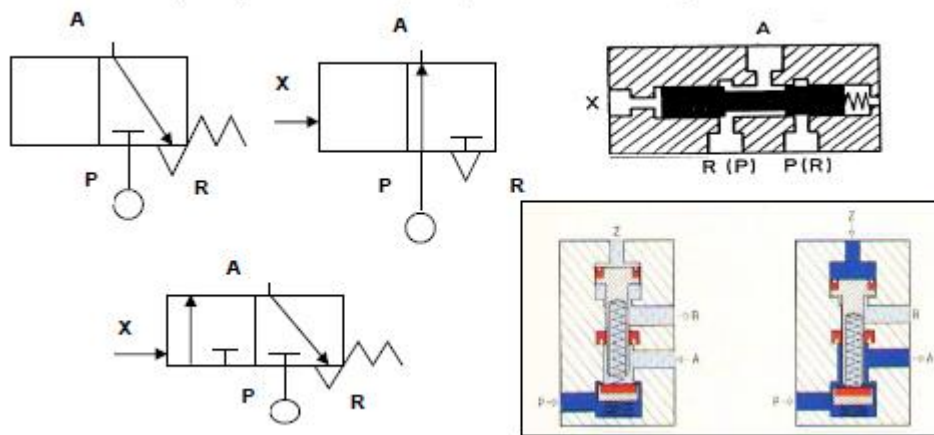
Símbolo	Forma constructiva	Función	Aplicación
		5/3 Centro abierto. Como 5/2, pero con utilidades A y B a escape en posición central.	Cilindro de doble efecto, con posibilidad de ser despresurizado.
		5/3 Centro cerrado. Como 5/2, pero con todas las vías cerradas en posición central.	Cilindro de doble efecto, que se ha de mantener en cualquier posición.
		5/3 Centro presurizado. Como 5/2, pero con presión en las vías de utilización en posición central.	Aplicaciones especiales. Cilindros con unidad de bloqueo.

**Figura II. 31:** Simbología de válvulas neumáticas

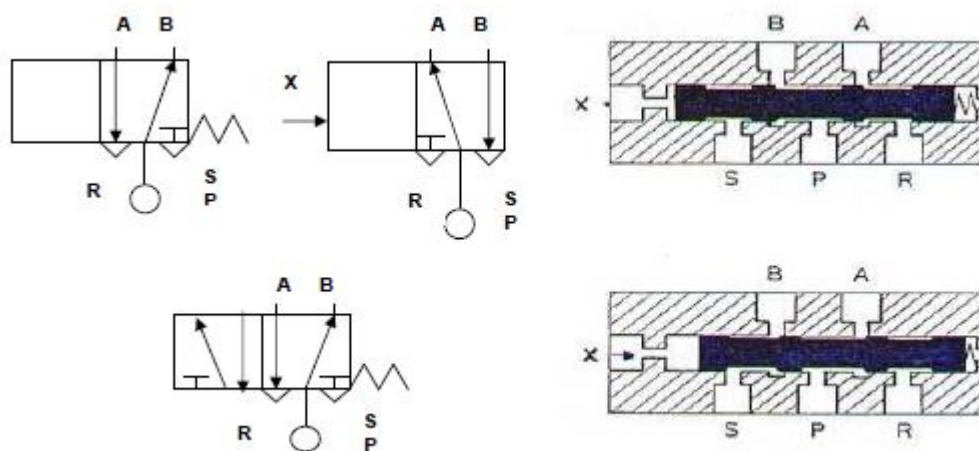
**Fuente:** <http://quantum.cucei.udg.mx/~gramirez/menus/elementos/valvulas.html>

### 2.3.5.6 VÁLVULAS MONOESTABLES

Llamadas también válvulas inversoras, tienen una posición preferencial definida, a la cual vuelven automáticamente cuando desaparece la señal en sentido contrario. El retorno se lo hace gracias a la presencia de un muelle. Se presenta dos casos de válvulas monoestables con retorno por muelle, una válvula 3/2 y una 5/2.



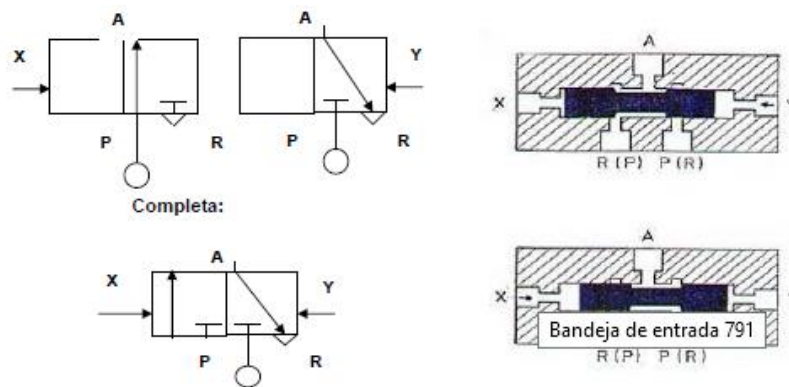
**Figura II.30:** Válvula monoestable de 3 Vías  
**Fuente:** Apuntes de Neumática Básica José M. Baquedano



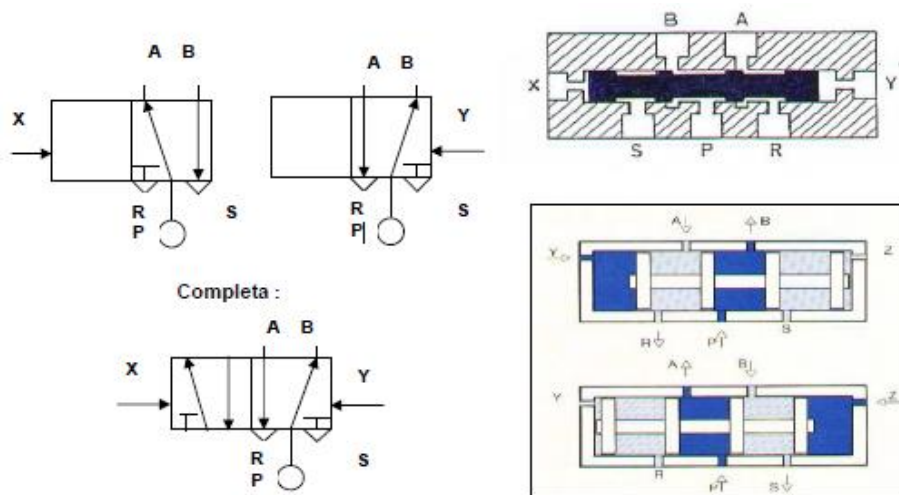
**Figura II.31:** Válvula monoestable de 5 Vías  
**Fuente:** Apuntes de Neumática Básica José M. Baquedano

### 2.3.5.7 VÁLVULAS BIESTABLES

De impulso o memorias, son aquellas que no tiene una posición referencial y permanece en cualquier estado hasta que se activa una de las dos señales de impulso.



**Figura II. 32** Válvula biestable de 3 vías  
**Fuente:** Apuntes de Neumática Básica José M. Baquedano



**Figura II. 33:** Válvula biestable de 3 vías  
**Fuente:** Apuntes de Neumática Básica José M. Baquedano

### 2.3.5.8 VÁLVULAS DE BLOQUEO

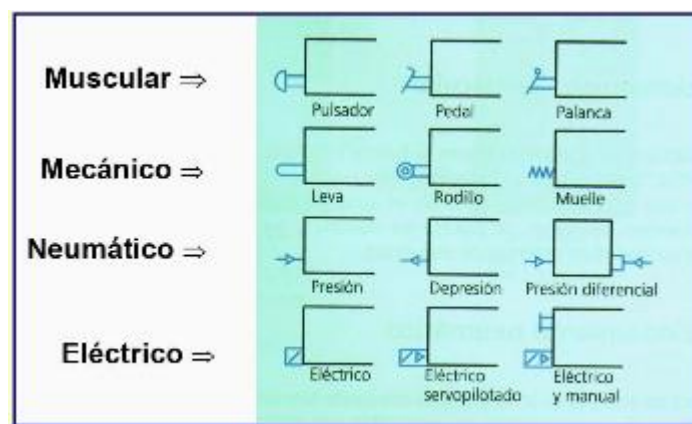
Son elementos que bloquean el paso de caudal preferentemente en un sentido y permiten únicamente en el otro. La presión del lado de salida actúa sobre la pieza obturadora y apoya el efecto del cierre hermético de la válvula.

### 2.3.6 ACCIONAMIENTO DE VÁLVULAS

Existen dos tipos de accionamiento, directo e indirecto.

El directo es cuando el órgano de mando está directamente montado sobre la válvula y actúa sobre su sistema de apertura o cierre. Se dividen en:

1. Mecánicos
2. Musculares
3. Neumáticos
4. Eléctricos



**Figura II. 34:** Accionamientos de válvulas

**Fuente:**

[http://platea.pntic.mec.es/~jgarrigo/1bch/archivos/3eva/8\\_valvulas\\_distribuidoras.pdf](http://platea.pntic.mec.es/~jgarrigo/1bch/archivos/3eva/8_valvulas_distribuidoras.pdf)

## 2.4. SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

Es tan común la aplicación del circuito eléctrico en nuestros días que tal vez no le damos la importancia que tiene. El automóvil, la televisión, la radio, el teléfono, la aspiradora, las computadoras, entre muchos y otros son equipos que requieren para su funcionamiento, de circuitos eléctricos simples, combinados y complejos.

Un sistema eléctrico es el recorrido de la electricidad a través de un conductor, desde la fuente de energía hasta su lugar de consumo. Todo circuito eléctrico requiere, para su funcionamiento, de una fuente de energía, en este caso, de una corriente eléctrica.

### **2.4.1 DEFINICIÓN.**

Un sistema Eléctrico es una serie de elementos o componentes eléctricos o electrónicos, tales como resistencias, inductancias, condensadores, fuentes, y/o dispositivos electrónicos semiconductores, conectados eléctricamente entre sí con el propósito de generar, transportar o modificar señales electrónicas o eléctricas. En un circuito Eléctrico se tiene:

- ✓ Las señales pueden ser de corriente continua, de corrientes alternas y mixtas.
- ✓ Los componentes pueden ser: Eléctricos tales como: Resistivos, inductivos, capacitivos y mixtos; Electrónicos: digitales, analógicos y mixtos.

Un sistema electrónico es un conjunto de dispositivos que se ubican dentro del campo de la ingeniería y la física y que se encargan de la aplicación de los circuitos electrónicos cuyo funcionamiento depende del flujo de electrones para generar, recibir, transmitir y almacenar información.

La información puede consistir en voz o música en un receptor de radio, en números, en una imagen en la pantalla de televisión o en datos que aparecen en una computadora. Los sistemas electrónicos ofrecen diferentes funciones para procesar dicha información: amplificación de señales débiles para que pueda utilizarse correctamente, generación de ondas de radio, extracción de información, operaciones lógicas como los procesos electrónicos que se desarrollan en los ordenadores. etc.

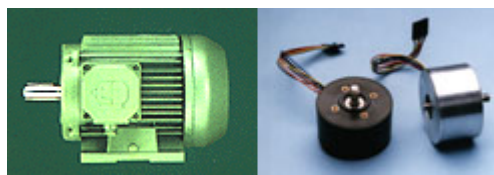
### **2.4.2 ACTUADORES ELÉCTRICOS**

Se le da el nombre de actuadores eléctricos cuando se usa la energía eléctrica para que el sistema automático ejecute sus movimientos. Los actuadores eléctricos se utilizan para aplicaciones medianas, pues éstos no requieren de tanta velocidad ni

potencia como los otros diseñados para funcionar con actuadores hidráulicos o neumáticos. Los actuadores que usan la energía eléctrica se caracterizan por una mayor exactitud y repetibilidad.

Son los más utilizados en los robots industriales y sistemas de control automáticos en la actualidad, pero no solo ahí sino también en el entorno de la investigación y la enseñanza y por supuesto en domótica.

Podemos distinguir a los motores AC y DC entre actuadores eléctricos.



**Figura II. 35:** Motores Eléctricos

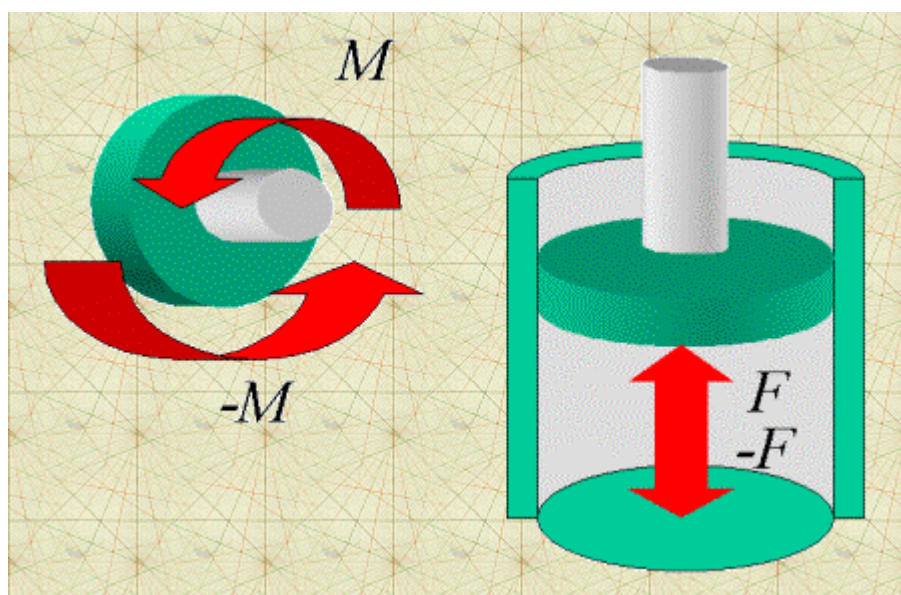
Fuente: <http://www.info-ab.uclm.es/labelec/Solar/electronica/elementos/Electricos.htm>

#### **2.4.2.1 MOTORES ELÉCTRICOS.**

Un motor eléctrico es aquel que es capaz de transformar la energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas. Algunos de los motores eléctricos son reversibles, pueden transformar energía mecánica en energía eléctrica funcionando como generadores.

Son ampliamente utilizados en instalaciones industriales, comerciales y particulares.

Pueden funcionar conectados a una red de suministro eléctrico o a baterías.



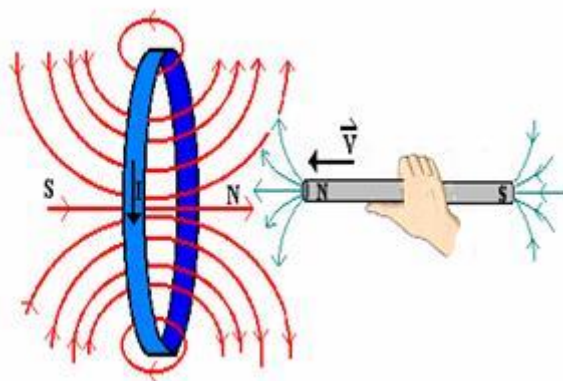
**Figura II. 36:** Movimiento interno de un motor

**Fuente:** <http://www.info-ab.uclm.es/labelec/Solar/electronica/elementos/Electricos.htm>

En magnetismo se conoce la existencia de dos polos: polo norte (N) y polo sur (S), que son las regiones donde se concentran las líneas de fuerza de un imán. Un motor para funcionar se vale de las fuerzas de atracción y repulsión que existen entre los polos. De acuerdo con esto, todo motor tiene que estar formado con polos alternados entre el estator y el rotor, ya que los polos magnéticos iguales se repelen, y polos magnéticos diferentes se atraen, produciendo así el movimiento de rotación. En la figura se muestra como se produce el movimiento de rotación en un motor eléctrico.

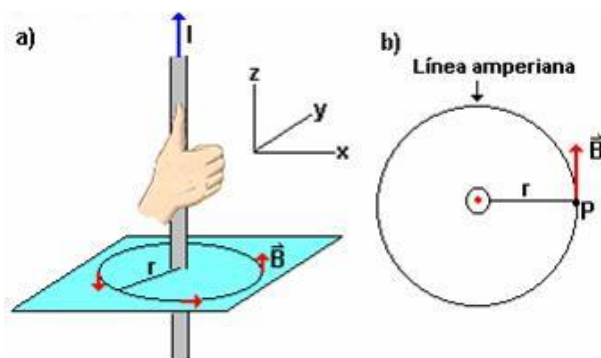
Un motor eléctrico opera primordialmente en base a dos principios: El de inducción, descubierto por Michael Faraday que señala, que si un conductor se mueve a través de un campo magnético o está situado en las proximidades de otro conductor por el que circula una corriente de intensidad variable, se induce una corriente eléctrica en el primer conductor. Y el principio de André Ampère en el que establece: que si una corriente pasa a través de un conductor situado en el interior de un campo magnético, éste ejerce una fuerza mecánica o f.e.m. (fuerza electromotriz), sobre el conductor.





**Figura II. 37:** Ley de Inducción de Faraday

**Fuente:** <http://docencia.udea.edu.co/regionalizacion/irs-404/contenido/capitulo10.html>



**Figura II. 38:** Principio de fuerza electromotriz de Ampere

**Fuente:** <http://docencia.udea.edu.co/regionalizacion/irs-404/contenido/capitulo10.html>

#### 2.4.2.2 MOTORES AC

Los motores de corriente alterna son aquellos que transforman la corriente alterna en movimiento y de ahí su nombre. Debido a su difícil control este tipo de motores no han tenido tantas aplicaciones en la robótica hasta hace unos cuantos años, su campo de actuación se ha limitado al entorno industrial. Gracias a las mejoras introducidas en los motores síncronos (fundamentalmente) los sitúan como unos serios competidores de los motores de continua y los tres factores que influyen son:

- 1.-La construcción de motores sin escobillas (menor mantenimiento)
- 2.-Uso de convertidores estáticos que permiten variar la frecuencia (mayor precisión)

3.-Empleo de microelectrónica que permite una gran capacidad de control.

Pues bien podemos establecer una distinción clara en los motores de corriente alterna, pues están los trifásicos y los monofásicos, que pueden ser síncronos o asíncronos.

#### **2.4.2.3 MOTOR ASÍNCRONO**

Es el más fácil de arrancar y el más económico. Consiste en un mecanismo al cual ingresa energía eléctrica en forma de un conjunto de corrientes trifásicas y se convierte en energía mecánica bajo la forma de un movimiento giratorio de velocidad ligeramente variable con la carga.

El estator está constituido por un núcleo de hierro laminado en cuyo interior existen tres arrollamientos o bobinas, uno por fase, colocados simétricamente formando un ángulo de 120°.

Sometido a una corriente alterna, los polos del estator se trasladan continuamente creando un campo móvil llamado "campo giratorio". Si un cilindro de material conductor se introduce en el espacio libre que queda en el interior del estator, las líneas de fuerza magnéticas cortarían dicho cilindro induciendo fuerzas electromotrices en el mismo, haciendo girar el cilindro en el mismo sentido que giran los polos. Si el cilindro girara a la misma velocidad que los polos, el flujo magnético dejaría de cortar transversalmente al cilindro, desapareciendo la corriente inducida y por lo tanto el "par motor". Por este motivo se llama a este motor "asincrónico", en contraposición con el "sincrónico", que gira a la misma velocidad de la red.

La velocidad de giro del motor se mide en revoluciones por minuto (RPM) y cumple con la siguiente fórmula:

$$\text{RPM} = (f / 2n) * 60$$

Dónde: f = ciclos por segundo (es la frecuencia de la red) y n = número de polos.

### **TIPOS DE MOTORES ASÍNCRONOS:**

Existen dos tipos de motores trifásicos asíncronos de acuerdo con las características del rotor y son:

- **Motor de Jaula de ardilla**

Es el más común, consiste en un núcleo de hierro laminado, en cuya periferia se efectúan ranuras donde se colocan conductores o barras de cobre, que se ponen en cortocircuito en sus extremos soldándolas a anillos de cobre.

Al no tener colectores, escobillas, etc., son muy simples y están prácticamente libres de fallas. Funcionan a velocidad prácticamente constante y se utilizan para el accionamiento de compresores, ventiladores, bombas, etc.

- **Motor de Rotor Bobinado**

El motor de jaula de ardilla tiene el inconveniente de que la resistencia del conjunto es invariable, no son adecuados cuando se debe regular la velocidad durante la marcha.

En estos casos se utiliza el motor de rotor bobinado que, como su nombre lo indica, está constituido por un bobinado trifásico similar al del estator, cuyos arrollamientos aislados terminan en anillos rozantes que se conectan por medio de escobillas a un dispositivo de control.

Este dispositivo permite aumentar la cúpula de arranque y variar la velocidad del motor en marcha. Estas características los hacen útiles para aplicaciones en máquinas

de gran inercia inicial y variación de velocidad, como grúas, elevadores, mecanismos pesados, etc.

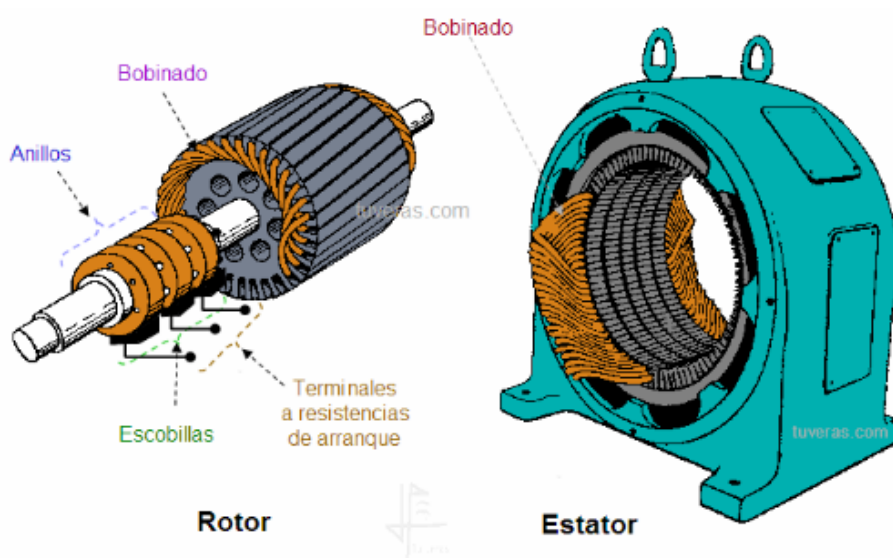
El motor asincrónico consta de un estator, ranura donde se alojan las espiras del bobinado y este se reparte en tres secciones iguales para formar un sistema trifásico que será conectado a una red de igual tipo. El rotor ofrece el aspecto de una jaula de ardilla, al ser conectado el conjunto a la red produce los siguientes fenómenos:

En el estator se forma un campo magnético giratorio que barrerá los conductores del rotor que está detenido. Cualquier conductor que es cortado por un campo magnético da lugar a la inducción de una f.e.m.i. (Fuerza electromotriz inducida) y como todas las barras del rotor, están en cortocircuito circularán por ellas intensa corriente.

Ello da lugar a la formación de un nuevo campo magnético propio del rotor. Como los conductores del rotor están dentro del campo del estator, se origina una acción dinámica que tenderá a oponerse a las causas que lo originan.

Estos conductores serán desplazados por una fuerza actuante y obligados a girar en el sentido que lo hace el campo del estator.

Las fuerzas de repulsión que impulsan al rotor existirán mientras el campo giratorio corta los conductores del rotor y desaparecerán si este gira a igual velocidad que dicho campo. Como el efecto de repulsión tiende a anularse por sí mismo llevara al rotor a la velocidad del campo giratorio o sea a la velocidad del sincronismo pero al llegar a ella dejan de ser cortados los conductores del rotor desaparece el efecto motriz y el rotor pierde algo de velocidad. En cuanto esto sucede vuelve a aparecer la acción dinámica que lo impulsa a seguir el campo giratorio y se vuelve a producir el fenómeno.



**Figura II. 39:** Motor asíncrono trifásico de rotor bobinado

**Fuente:** <http://www.monografias.com/trabajos104/sistema-trifasico/sistema-trifasico.shtml>

#### 2.4.2.4 MOTORES SÍNCRONOS

Su principio de funcionamiento se basa en el acoplamiento magnético entre el campo magnético giratorio creado por los arrollamientos del estator y el campo magnético fijo creado por el arrollamiento del rotor que es recorrido por una corriente continua. La velocidad del motor depende de la frecuencia y de la cantidad de polos del campo magnético.

Para que este tipo de motores pueda funcionar, por la bobina del rotor debe circular una corriente continua para que reaccione el campo producido por la misma con el campo del estator. Es decir, que se produzca una reacción o fuerza que obligue a girar al rotor. Para el arranque, como en general no se dispone de una fuente de corriente continua que permita arrancar al motor por sí mismo, se lo hace trabajar como motor de inducción hasta que alcance su velocidad de régimen, en ese momento se aplica a los arrollamientos del rotor un corriente continua suplementaria que lo obliga a pasar al sincronismo y funcionar a velocidad constante.

Si en un motor sincrónico se sobreexcita el circuito inductor el campo de los polos es superior al requerido y el motor comienza a suministrar a la red energía eléctrica reactiva, o sea que permite corregir el factor de potencia.

Este motor tiene la característica de que su velocidad de giro es directamente proporcional a la frecuencia de la red de corriente alterna que lo alimenta. Por ejemplo si la fuente es de 60Hz, si el motor es de dos polos, gira a 3600 RPM; si es de cuatro polos gira a 1800 RPM y así sucesivamente. Este motor o gira a la velocidad constante dada por la fuente o, si la carga es excesiva, se detiene.

El motor síncrono es utilizado en aquellos casos en que los que se desea velocidad constante. En nuestro medio sus aplicaciones son mínimas y casi siempre están en relacionadas con sistemas de regulación y control mas no con la transmisión de potencias elevadas.

Como curiosidad vale la pena mencionar que el motor síncrono, al igual que el motor de corriente directa, precisa de un campo magnético que posibilite la transformación de energía eléctrica recibida por su correspondiente armadura en energía mecánica entregada a través del eje.

En los motores síncronos la velocidad de giro depende únicamente de la frecuencia de la tensión que alimenta el inducido. Para poder variar esta precisión, el control de velocidad se realiza mediante un convertidor de frecuencia. Para evitar el riesgo de pérdida de sincronismo se utiliza un sensor de posición continuo que detecta la posición del rotor y permite mantener en todo momento el ángulo que forman los campos del estator y rotor. Este método de control se conoce como autosíncrono o autopilotado.

El motor síncrono autopilotado excitado con un imán permanente, también llamado motor senoidal, no presenta problemas de mantenimiento debido a que no posee escobillas y tiene una gran capacidad de evacuación de calor, ya que los devanados

están en contacto directo con la carcasa. El control de posición se puede realizar sin la utilización de un sensor adicional, aprovechando el detector de posición del rotor que posee el propio motor. Además permite desarrollar, a igualdad de peso, una potencia mayor que el motor de corriente continua.



**Figura II. 40:** Motor reductor síncrono Ac  
**Fuente:** <http://best-b2b.com/Wholesalers/2/1233.html>

#### 2.4.2.5 MOTORES DC

Motores de Corriente Continua, usados generalmente en robótica. Los hay de distintos tamaños, formas y potencias, pero todos se basan en el mismo principio de funcionamiento. Accionar un motor DC es muy simple y solo es necesario aplicar la tensión de alimentación entre sus bornes. Para invertir el sentido de giro basta con invertir la alimentación y el motor comenzará a girar en sentido opuesto.

El motor de corriente continua está compuesto de 2 piezas fundamentales: Rotor y Estator.

**Tabla II.8:** Partes de un Motor  
**Fuente:** Autores

<b>ROTOR (parte móvil)</b>	<b>ESTATOR (parte fija)</b>
Eje	Armazón
Núcleo y Devanado	Imán permanente
Colector	Escobillas y portaescobillas

### **Rotor**

Constituye la parte móvil del motor, proporciona el troqué para mover a la carga.

Formado por:

**Eje:** Formado por una barra de acero fresada. Imparte la rotación al núcleo, devanado y al colector.

**Núcleo:** Se localiza sobre el eje. Fabricado con capas laminadas de acero, su función es proporcionar un trayecto magnético entre los polos para que el flujo magnético del devanado circule.

Las laminaciones tienen por objeto reducir las corrientes parásitas en el núcleo. El acero del núcleo debe ser capaz de mantener bajas las pérdidas por histéresis. Este núcleo laminado contiene ranuras a lo largo de su superficie para albergar al devanado de la armadura (bobinado).

**Devanado:** Consta de bobinas aisladas entre sí y entre el núcleo de la armadura. Estas bobinas están alojadas en las ranuras, y están conectadas eléctricamente con el colector, el cual debido a su movimiento rotatorio, proporciona un camino de conducción conmutado.

**Colector:** Denominado también conmutador, está constituido de láminas de material conductor (delgas), separadas entre sí y del centro del eje por un material aislante, para evitar cortocircuito con dichos elementos. El colector se encuentra sobre uno de los extremos del eje del rotor, de modo que gira con éste y está en contacto con las escobillas. La función del colector es recoger la tensión producida por el devanado



inducido, transmitiéndola al circuito por medio de las escobillas (llamadas también cepillos).



**Figura II. 41:** Rotor de un motor DC

**Fuente:** [https://es.wikipedia.org/wiki/Motor\\_de\\_corriente\\_continua](https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_corriente_continua)

## **ESTATOR**

Constituye la parte fija de la máquina. Su función es suministrar el flujo magnético que será usado por el bobinado del rotor para realizar su movimiento giratorio. Formado por:

- **Armazón:** Denominado también yugo, tiene dos funciones primordiales: servir como soporte y proporcionar una trayectoria de retorno al flujo magnético del rotor y del imán permanente, para completar el circuito magnético.
- **Imán permanente:** Compuesto de material ferromagnético altamente remanente, se encuentra fijado al armazón o carcasa del estator. Su función es proporcionar un campo magnético uniforme al devanado del rotor o armadura, de modo que interactúe con el campo formado por el bobinado, y se origine el movimiento del rotor como resultado de la interacción de estos campos.
- **Escobillas:** Las escobillas están fabricadas de carbón, y poseen una dureza menor que la del colector, para evitar que éste se desgaste rápidamente. Se encuentran albergadas por los porta escobillas. Ambos, escobillas y porta escobillas, se encuentran en una de las tapas del estator.



**Figura II. 42:** Estator de un motor DC

**Fuente:** <http://abimelecpalacio.blogspot.com/2015/08/motor-de-corriente-continua.html>

#### **2.4.2.6 MOTORES PASO A PASO**

Los motores, tanto de corriente continua como de corriente alterna, son muy efectivos en muchas labores cotidianas. Pero debido a problemas tales como la inercia mecánica o su dificultad para controlar su velocidad, se desarrollaron otro tipo de motores cuya característica principal es la precisión de giro. En efecto, en un motor paso a paso no sólo se puede controlar la cantidad de vueltas del mismo, sino que hasta centésimas de las mismas. A pesar de su extrema precisión, especialmente útil en áreas como la robótica o la domótica.

Internamente un motor de este tipo está compuesto por dos bobinas con punto medio. Estas bobinas se ubican en lo que se denomina estator, es decir la carcasa exterior del motor. La parte móvil de este motor al igual que en los de corriente continua es estriada y se denominada rotor.

Exteriormente posee 6 o 5 cables. Cuatro de estos cables corresponden a cada uno de los extremos de las dos bobinas existentes, mientras que los otros dos corresponden al punto medio de cada una. En el caso de que el cable restante sea uno corresponde a estos dos últimos unidos internamente.

Cuando se aplica tensión a cualquiera de las cuatro bobinas existentes ésta genera un campo magnético. Ante esta situación una estría del rotor se alinea con este campo,

desplazándose así un determinado número de grados. A este desplazamiento se lo denomina paso.

El motor Paso a Paso es un elemento capaz de transformar pulsos eléctricos en movimientos mecánicos. El eje del motor gira un determinado ángulo por cada impulso de entrada, con lo que el movimiento es muy preciso y fiable. Básicamente estos motores están constituidos normalmente por un rotor sobre el que van aplicados distintos imanes permanentes y por un cierto número de bobinas excitadoras bobinadas en su estator.

Las bobinas son parte del estator y el rotor es un imán permanente. Toda la conmutación (o excitación de las bobinas) deber ser externamente manejada por un controlador. El motor Paso a Paso puede girar en los dos sentidos, y el ángulo de giro puede variar entre  $0,72^\circ$  500 pasos / 1 vuelta y  $90^\circ$ , 4 pasos / 1 vuelta.

El motor Paso a Paso perfecto sería el que tuviera polos infinitos, así se obtendrían giros de 0 grados.

Para permitir una mejor resolución por paso, se añaden más polos al estator, además en dichos polos se mecanizan.

La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde  $90^\circ$  hasta pequeños movimientos de tan solo  $1.8^\circ$ , es decir, que se necesitarán 4 pasos en el primer caso ( $90^\circ$ ) y 200 para el segundo caso ( $1.8^\circ$ ), para completar un giro completo de  $360^\circ$ .

Estos motores poseen la habilidad de poder quedar enclavados en una posición o bien totalmente libres. Si una o más de sus bobinas están energizada, el motor estará

enclavado en la posición correspondiente y por el contrario quedará completamente libre si no circula corriente por ninguna de sus bobinas.

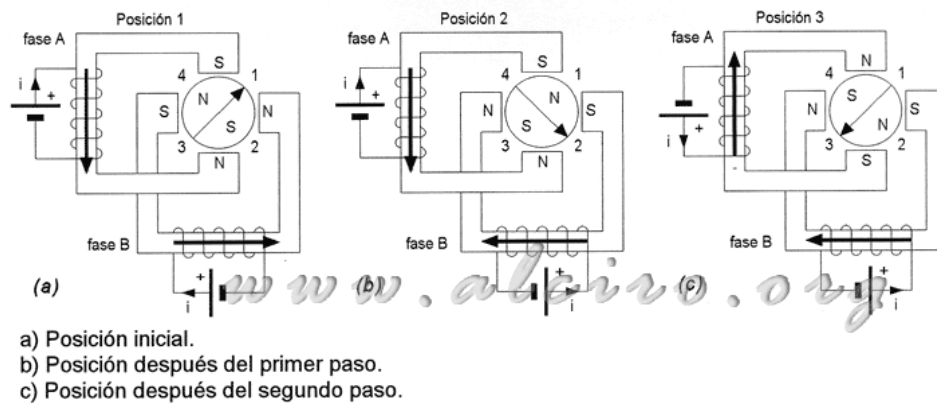
Existen varios tipos de motores paso a paso pero nosotros aquí nos centraremos en los motores paso a paso de imán permanente y en sus tipos, unipolares y bipolares.

**Bipolar:** Estos tiene generalmente cuatro cables de salida. Necesitan ciertos trucos para ser controlados, debido a que requieren del cambio de dirección del flujo de corriente a través de las bobinas en la secuencia apropiada para realizar un movimiento. Como se aprecia, será necesario un H-Bridge por cada bobina del motor, es decir que para controlar un motor Paso a Paso de 4 cables (dos bobinas), necesitaremos usar dos H-Bridges. En general es recomendable el uso de H-Bridge integrados como son los casos del L293.

**Unipolar:** Estos motores suelen tener 6 o 5 cables de salida, dependiendo de su conexionado interno. Este tipo se caracteriza por ser más simple de controlar.

Secuencias para manejar motores paso a paso Bipolares

Como se dijo anteriormente, estos motores necesitan la inversión de la corriente que circula en sus bobinas en una secuencia determinada. Cada inversión de la polaridad provoca el movimiento del eje en un paso, cuyo sentido de giro está determinado por la secuencia seguida.



**Figura II. 43:** Estructura interna de un motor PAP

**Fuente:** [http://www.alciro.org/alciro/Plotter-Router-Fresadora-CNC\\_1/Motores-Paso-a-Paso-Step-Motor\\_37.htm](http://www.alciro.org/alciro/Plotter-Router-Fresadora-CNC_1/Motores-Paso-a-Paso-Step-Motor_37.htm)

### 2.4.3 SOLENOIDES

Los solenoides son dispositivos que son capaces de cambiar la energía eléctrica en mecánica, lineal, o energía. El tipo más común de solenoide se utiliza en el campo magnético creado a partir de una corriente eléctrica como el gatillo para la producción de un empuje o tracción que impulsa la acción mecánica en objetos tales como arrancadores, válvulas, interruptores y cierres. El tipo más simple de los solenoides se basa en dos aspectos principales para su funcionamiento: un cable aislado (o esmaltado), en forma de bobina, y una barra sólida de hierro o acero. La varilla de hierro o acero es ferromagnética, una característica que permite, cuando se expone a la corriente eléctrica, para funcionar como un electroimán. Los solenoides no son exclusivamente electromagnéticos. Otros tipos de solenoides, tales como los solenoides neumáticos, utilizan el aire, en oposición a los campos magnéticos, para crear energía mecánica. Los solenoides hidráulicos utilizan la presión de fluido hidráulico en un cilindro lleno de líquido. Los solenoides que se basan en corriente eléctrica caen en dos categorías principales: solenoides que dependen de CA (corriente alterna) como la fuente de alimentación y solenoides que dependen de CC (corriente continua) como la fuente de alimentación.

### **Función**

Mientras que los solenoides de CA y CC utilizan diferentes tipos de corriente, ambos trabajan de la misma manera. Cuando el cable aislado y enrollado del solenoide recibe corriente eléctrica, el campo magnético producido atrae fuertemente la plancha o la varilla de acero. La varilla, que está unida a un resorte de compresión, se mueve dentro de la bobina y permanecerá allí hasta que la corriente se detenga, manteniendo el resorte presionado todo el tiempo. Cuando la corriente se apaga, el resorte comprimido encaja con fuerza de nuevo a la varilla en su posición original. La fuerza creada por el resorte sobre la varilla es lo que hace que el solenoide sea útil en los dispositivos que se basan en un número de diferentes partes que deben ser activadas rápidamente en sucesión.

### **Comparación**

Hay un número de diferencias entre los solenoides de CA y CC. Los solenoides de CC son más silenciosos y funcionan más lentamente que los solenoides de CA. También son menos potentes que los solenoides de CA. Los solenoides de CA pueden correr el riesgo de quemarse si se averían y quedan atrapados en la posición abierta (corriente completa) durante demasiado tiempo. La corriente que corre a través de un solenoide de CA comienza con una primera ola de corriente extremadamente fuerte, y luego desciende a un nivel inferior normal. Si el solenoide se mantiene abierto demasiado tiempo y recibe mucha de esta primera ola de corriente máxima, puede dañar permanentemente el dispositivo. Por el contrario, los solenoides de CC no experimentan ninguna alteración en las corrientes y no corren el riesgo de ser dañados por ésta. Los circuitos de corriente continua pueden utilizar solenoides de CA sin

ningún problema, pero los solenoides de CC no pueden utilizarse en otros circuitos sin llegar a ser ruidosos y sobrecalentarse.



**Figura II. 44: Solenoide AC**

**Fuente:** <http://es.aliexpress.com/w/wholesale-solenoide-ac.html>

#### **2.4.4 PLACAS COMPUTADORAS**

Una placa computadora u ordenador de placa reducida es una computadora completa en un sólo circuito. El diseño se centra en un sólo microprocesador con la RAM, E/S y todas las demás características de un computador funcional en una sola tarjeta que suele ser de tamaño reducido, y que tiene todo lo que necesita en la placa base.

Con el desarrollo de la computadora personal hubo un giro lejos de los computadores de una tarjeta, con computadores que tenían una placa base que debía ser conectada a tarjetas de extensión que proveían los puertos seriales, controlador para discos duros, de gráficos y de sonido.

Recientemente esta tendencia parece haberse invertido ya que los fabricantes cada vez ponen más características como el sonido, red, E/S e incluso gráficos en la placa base.

## **Aplicaciones**

Esta arquitectura no se usa tanto en los computadores personales (aunque las tendencias indican que esto puede cambiar) sino que más que todo se usan en entornos industriales o en sistemas embebidos dentro de otros que sirven como controladores e interfaces.

Debido a los grandes niveles de integración y reducción de componentes y conectores, los computadores en una tarjeta suelen ser más pequeños, livianos, más confiables y con un mejor manejo de la potencia eléctrica que los computadores de múltiples tarjetas.

Por otro lado, esto implica que actualizar uno de estos sistemas es normalmente imposible. Si hay un fallo o se necesita una actualización, es normal que toque reemplazar la tarjeta completa.

2. Gumstix - SBD de bajo consumo de potencia a 200 y 400Mhz.
3. ECB AT91 - SBC desarrollado en Colombia con procesador ARM9 de 180MHz
4. Raspberry Pi
5. Arduino

### **2.4.5 ARDUINO**

Arduino es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios.

El hardware consiste en una placa con un microcontrolador Atmel AVR y puertos de entrada/salida.<sup>4</sup> Los microcontroladores más usados son el Atmega168, Atmega328, Atmega1280, y Atmega8 por su sencillez y bajo coste que permiten el desarrollo de múltiples diseños. Por otro lado el software consiste en un entorno de desarrollo que



implementa el lenguaje de programación Processing/Wiring y el cargador de arranque que es ejecutado en la placa.<sup>4</sup> Se programa en el ordenador para que la placa controle los componentes electrónicos.

Arduino puede tomar información del entorno a través de sus entradas analógicas y digitales, puede controlar luces, motores y otros actuadores. El microcontrolador en la placa Arduino se programa mediante el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en Processing). Los proyectos hechos con Arduino pueden ejecutarse sin necesidad de conectar a un ordenador.

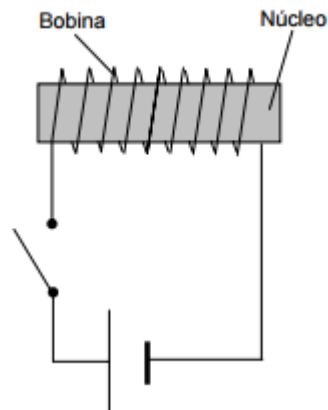
También cuenta con su propio software que se puede descargar de su página oficial que ya incluye los drivers de todas las tarjetas disponibles lo que hace más fácil la carga de códigos desde el computador.

Arduino se puede utilizar para desarrollar objetos interactivos autónomos o puede ser conectado a software tal como Adobe Flash, Processing, Max/MSP, Pure Data. Una tendencia tecnológica es utilizar Arduino como tarjeta de adquisición de datos desarrollando interfaces en software como JAVA, Visual Basic y LabVIEW 6. Las placas se pueden montar a mano o adquirirse. El entorno de desarrollo integrado libre se puede descargar gratuitamente.

#### **2.4.6 RELEVADORES**

Un relevador, también conocido en algunos países como relé o relay, es un interruptor cuyo control corre por cuenta de un circuito eléctrico. Desarrollado en la primera mitad del siglo XIX por el físico norteamericano Joseph Henry, a través de una bobina y un electroimán incide sobre diversos contactos para la apertura o el cierre de otros circuitos, que funcionan de manera independiente. Lo que hace la bobina es crear un campo magnético que lleva los contactos a establecer una conexión. El electroimán,

por su parte, permite el cierre de los contactos. De esta forma, el relevador actúa como un interruptor que puede fomentar el paso de la corriente eléctrica o su interrupción.



**Figura II. 45:** Funcionamiento De Un Relé

**Fuente:** <http://platea.pntic.mec.es/~pcastela/tecno/documentos/apuntes/rele.pdf>

Los relevadores, en definitiva, permiten desarrollar una conmutación a distancia, controlando altas tensiones con un bajo voltaje en retorno. También sirven para interrumpir la alimentación de corriente alterna. Los automóviles y las centrales telefónicas, por ejemplo, cuentan con relevadores.

En palabras más sencillas, el relevador permite controlar una gran cantidad de electricidad operando con una cantidad muy pequeña de corriente.

Se puede clasificar de la siguiente manera:

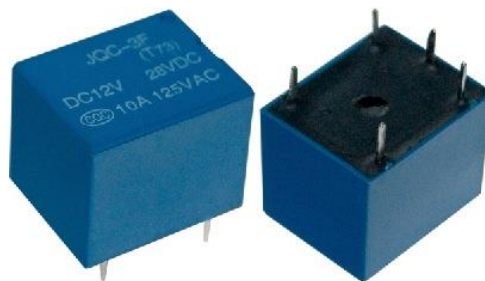
- a) Relevador electromecánico.
  - 1) De tipo armadura
  - 2) De núcleo móvil
  - 3) De lengüeta
- b) Relevador de estado sólido
- c) Relevador de corriente alterna

#### 2.4.6.1 RELEVADORES ELECTROMECAÑICOS

**Tipo armadura:** es el más antiguo, pero esto no quita que sea también el más usado en un gran número de aplicaciones. Consiste de un electroimán que, cuando lo excitan, genera la basculación de una armadura, a través del cierre o de la apertura de los contactos según sea normalmente cerrado (N.C.) o normalmente abierto (N.A.);

**De Núcleo móvil:** donde el anterior cuenta con una armadura, éste tiene un émbolo. Dado que posee una fuerza de atracción mayor, se vuelve necesario el uso de un dispositivo físico conocido como solenoide para cerrar los contactos. El solenoide puede generar un campo magnético extremadamente intenso y de gran uniformidad en su interior, y con escasa intensidad en su exterior;

**De lengüeta:** también se conoce como reed, y consta de una ampolla de vidrio que tiene dentro de sí una serie de contactos dispuestos encima de láminas metálicas delgadas



**Figura II. 46:** Relé

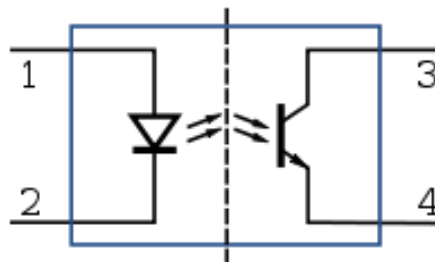
**Fuente:** <http://tiggercomp.com.br/novaloja/index.php?cPath=43>

#### 2.4.6.2 RELEVADOR DE ESTADO SÓLIDO

Se trata de un circuito híbrido que suele estar formado por un dispositivo tal como el triac, que sirve para interrumpir la potencia, un circuito de disparo, que se encarga de

la detección del paso de la corriente de línea por cero, y un optoacoplador, para el aislamiento de la entrada.

El origen de su nombre se halla en que se asemeja a uno electromecánico y sus aplicaciones más comunes involucran el uso constante de contactos que desgastarían demasiado un relevador convencional, y la conmutación de amperajes elevados que podrían destruir los contactos de un relevador electromecánico en muy poco tiempo.



**Figura II. 47:** Optoacoplador basado en un diodo emisor y un transistor de receptor.

**Fuente:** <https://es.wikipedia.org/wiki/Optoacoplador>

#### 2.4.6.3 RELEVADOR DE CORRIENTE ALTERNA

Al excitar la bobina de un relevador con corriente alterna, también se vuelve alterno el flujo magnético y esto produce una fuerza sobre los contactos de tipo pulsante y de doble frecuencia. En algunas partes del mundo, como ser Latinoamérica y ciertos países europeos, los contactos de un relevador conectado a una red oscilan a  $2 \times 50$  Hz, mientras que en Norte América lo hacen a  $2 \times 60$  Hz (algo que se utiliza como base de zumbadores y timbres); un relevador de corriente alterna tiene la misión de modificar la resonancia para evitar dicha oscilación.

#### 2.4.7 SENSORES

Un sensor o captador, como prefiera llamársele, no es más que un dispositivo diseñado para recibir información de una magnitud del exterior y transformarla en otra magnitud, normalmente eléctrica, que seamos capaces de cuantificar y manipular.

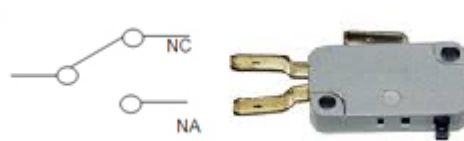
Normalmente estos dispositivos se encuentran realizados mediante la utilización de componentes pasivos (resistencias variables, PTC, NTC, LDR, etc... todos aquellos componentes que varían su magnitud en función de alguna variable), y la utilización de componentes activos.

Pero el tema constructivo de los captadores lo dejaremos a un lado, ya que no es el tema que nos ocupa, más adelante incluiremos en el WEB SITE algún diseño en particular de algún tipo de sensor

#### 2.4.7.1 SENSORES DE CONTACTO

Se emplean para detectar el final del recorrido o la posición límite de componentes mecánicos. Por ejemplo: saber cuándo una puerta o una ventana que se abren automáticamente están ya completamente abiertas y por lo tanto el motor que las acciona debe pararse.

Los principales son los llamados fines de carrera (o finales de carrera). Se trata de un interruptor que consta de una pequeña pieza móvil y de una pieza fija que se llama NA, normalmente abierto, o NC, normalmente cerrado.



**Figura II. 48:** Final de carrera  
**Fuente:** <http://www.superrobotica.com>

La pieza NA está separada de la móvil y sólo hace contacto cuando el componente mecánico llega al final de su recorrido y acciona la pieza móvil haciendo que pase la corriente por el circuito de control.

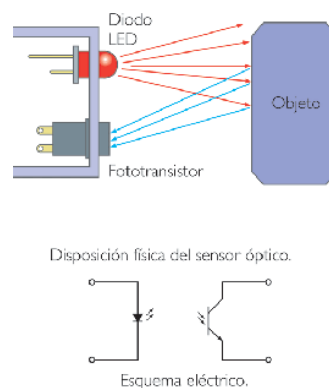
La pieza NC hace contacto con la móvil y sólo se separa cuando el componente mecánico llega al final de su recorrido y acciona la pieza móvil impidiendo el paso de la corriente por el circuito de control. Según el tipo de fin de carrera, puede haber una pieza NA, una NC o ambas.

#### 2.4.7.2 SENSORES INFRAROJOS

Si recordamos el espectro electromagnético, existía una franja de ondas electromagnéticas cuya frecuencia es muy baja para que nuestros ojos la detecten; son los infrarrojos.

Existen diodos capaces de emitir luz infrarroja y transistores sensibles a este tipo de ondas y que por lo tanto detectan las emisiones de los diodos. Esta es la base del funcionamiento de los mandos a distancia; el mando contiene diodos que emiten infrarrojos que son recibidos por los fototransistores del equipo.

Los diodos de infrarrojos son a simple vista idénticos a los LED, como se puede apreciar en la imagen, y se representan de la misma manera, mientras que el símbolo de los fototransistores es semejante al de los transistores normales pero añadiendo las flechas que representan la luz que reciben. Recordemos que las flechas salen del elemento cuando éste emite luz o radiación infrarroja y entran en él cuando el elemento recibe dicha radiación.



**Figura II. 49:** Estructura del optoacoplador

**Fuente:**

[http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/4esotecnologia/quincena11/4quincena11\\_contenidos\\_3g.htm](http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/4esotecnologia/quincena11/4quincena11_contenidos_3g.htm)

### **2.4.7.3 sensores magnéticos**

Los detectores magnéticos sirven para la detección de posición sin contacto y libre de desgaste de la técnica de mando. Se usan allí donde los detectores de proximidad inductivos han llegado a su límite. Su ventaja: los sensores magnéticos ofrecen, en comparación con los detectores inductivos, una distancia de detección más amplia con una forma más reducida.

La única condición: el objeto a reconocer ha de estar equipado con un imán, ya que el detector reacciona sólo a éste. Detecta los campos magnéticos que provocan los imanes o las corrientes eléctricas.

El principal es el llamado interruptor Reed; consiste en un par de láminas metálicas de materiales ferromagnéticos metidas en el interior de una cápsula que se atraen en presencia de un campo magnético, cerrando el circuito.

El interruptor Reed puede sustituir a los finales de carrera para detectar la posición de un elemento móvil, con la ventaja de que no necesita ser empujado físicamente por dicho elemento sino que puede detectar la proximidad sin contacto directo. Esto es muy útil cuando interesa evitar el contacto físico, por ejemplo para detectar el nivel de agua de un depósito sin riesgo de cortocircuitos.



**Figura II. 50** Sensores Magnéticos

**Fuente:** [http://www.ifm.com/ifmcl/web/pmain/010\\_030\\_030.html](http://www.ifm.com/ifmcl/web/pmain/010_030_030.html)

## **2.5. SISTEMAS DE CONTROL**

### **2.5.1 INTRODUCCIÓN**

El control automático ha desempeñado un papel vital en el avance de la ingeniería y la ciencia. El control automático se ha convertido en una parte importante e integral en los sistemas de vehículos especiales, en los sistemas robóticos, en los procesos actuales de fabricación y en cualquier operación industrial que requiera el control de temperatura, presión, humedad, flujo, etc. Es necesario acotar que el primer trabajo significativo en control automático fue el regulador de velocidad centrífugo de James Watt para el control de la velocidad de una máquina de vapor, en el siglo dieciocho.

### **2.5.2 CONTROL EN LAZO CERRADO Y LAZO ABIERTO**

#### **Sistemas de control realimentados**

Un sistema que mantiene una relación determinada entre la salida y la entrada de referencia, comparándolas y usando la diferencia como medio de control, se denomina sistema de control realimentado. Un ejemplo sería el sistema de control de temperatura de una habitación. Midiendo la temperatura real y comparándola con la temperatura deseada, el termostato activa o desactiva el equipo de calefacción o de enfriamiento para asegurar que la temperatura de la habitación se mantiene a un nivel confortable independiente de las condiciones externas.

Los sistemas de control realimentados no se limitan a la ingeniería, sino que también en sistemas ajenos a ella. El ejemplo más claro es el cuerpo humano con constantes como la temperatura corporal y la presión sanguínea que se mantienen gracias a una realimentación fisiológica.

#### **Sistemas en control en lazo cerrado**



Los sistemas de control realimentados se denominan también sistemas de control en lazo cerrado. En la práctica, los términos de control realimentado y control en lazo cerrado se usan indistintamente. En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación, con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado. El término control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema.

### **Sistemas de control en lazo abierto**

Los sistemas en los cuales la salida no tiene efecto sobre la acción de control se denominan sistemas de control en lazo abierto. En otras palabras, en un sistema de control en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada. Un ejemplo práctico es una lavadora. El remojo, el lavado y el centrifugado en la lavadora operan con una base de tiempo. La máquina no mide la señal de salida, que es la limpieza de la ropa

### **2.5.3 DISEÑO DE SISTEMAS DE CONTROL Y COMPENSACIÓN**

La compensación es la modificación de la dinámica del sistema para que se satisfagan unas especificaciones determinadas. En el diseño real de un sistema de control, el que utilice un compensador electrónico, neumático o hidráulico debe decidirse en parte en función de la naturaleza de la planta que se controla. Por ejemplo, si la planta que se controla contiene fluidos inflamables, debe optarse por los componentes neumáticos (tanto un compensador como un actuador) para eliminar la posibilidad de que salten chispas. Sin embargo, si no existe el riesgo de incendio, los que se usan con mayor frecuencia son los compensadores electrónicos. Para esto se transforman señales no eléctricas en eléctricas gracias a la sencillez de su transmisión, mayor precisión, mayor fiabilidad, facilidad en la compensación, etc.

### **Especificaciones de comportamiento**

Los sistemas de control se diseñan para realizar tareas específicas. Los requisitos impuestos sobre el sistema de control se dan como especificaciones de comportamiento. Las especificaciones pueden venir dadas como requisitos en la respuesta transitoria como por ejemplo: la máxima sobreelongación y el tiempo de asentamiento; y/o requisitos en el estado estacionario.

En diseños rutinarios, las especificaciones de comportamiento se proporcionan en términos de valores numéricos precisos. En otros casos, se ofrecen una parte en términos de valores numéricos precisos y otra parte en términos de planteamientos cualitativos. En este último caso, puede ser necesario modificar las especificaciones durante el proceso de diseño, ya que es posible que las especificaciones dadas nunca se cumplan debido a que los mismos requisitos produzcan conflictos entre sí o conduzcan a un sistema muy costoso.

Por lo general, las especificaciones de comportamiento no deben ser más restrictivas de lo necesario para realizar la tarea definida. Si la precisión de una operación en estado estable es de vital importancia para un sistema de control, no se deben pedir especificaciones de comportamiento más restrictivas de lo necesario sobre la respuesta transitoria, ya que tales especificaciones requerirán componentes costosos. Recuérdense que la parte más importante del diseño de un sistema de control es la precisión en el planteamiento de las especificaciones de comportamiento con el fin de obtener un sistema de control óptimo para el propósito deseado.

### **Comportamiento del sistema**

Establecer la ganancia es el primer paso para llevar al sistema a un comportamiento satisfactorio. Sin embargo, en muchos casos prácticos, ajustando solo la ganancia tal vez no brinde la alteración necesaria para cumplir con las especificaciones dadas. Como ocurre con frecuencia, incrementar el valor de la ganancia mejora el comportamiento en estado estacionario pero produce una estabilidad deficiente o, incluso, inestabilidad. En este caso, es necesario volver a diseñar el sistema para alterar el comportamiento general, de modo que el sistema se comporte como se quiere. A este nuevo diseño o adición de un dispositivo apropiado se lo denomina compensación. Un elemento insertado en el sistema para satisfacer las especificaciones se denomina compensador. El compensador modifica el comportamiento deficiente del sistema original.

### **Procedimientos de diseño**

En la aproximación de prueba y error para el diseño de un sistema, se parte de un modelo matemático del sistema de control y se ajustan los parámetros de un compensador. La parte de este proceso que necesita más tiempo es la verificación del comportamiento del sistema mediante un análisis, después de cada ajuste de los parámetros. El diseñador debe utilizar un software para computador, uno podría ser Matlab para evitar el gran cálculo numérico que se necesita para esta verificación.

Una vez que se obtenido un modelo matemático satisfactorio, el diseñador debe construir un prototipo y probar el sistema en lazo abierto. Si se asegura la estabilidad absoluta en lazo abierto, el diseñador cierra el lazo y prueba el comportamiento del sistema en lazo cerrado. Debido a los efectos de carga no considerados entre los componentes, la falta de linealidad, los parámetros distribuidos, etc., que no se han tenido en cuenta en el diseño original, es probable que el comportamiento real del prototipo del sistema difiera de las predicciones teóricas. Por tanto, tal vez el primer diseño no satisfaga todos los requisitos de comportamiento. Mediante el método de

prueba y error, el diseñador debe cambiar el prototipo hasta que el sistema cumpla las especificaciones. Febe analizar cada prueba e incorporar los resultados de este análisis en la prueba siguiente. El diseñador debe conseguir que el sistema final cumpla las especificaciones de comportamiento y, al mismo tiempo, sea fiable y económico.

#### **2.5.4 AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

La automatización puede ser considerada como el paso más importante del proceso de evolución de la industria durante el siglo XX, al permitir la eliminación parcial y en muchos casos total de la intervención humana, obteniéndose algunas ventajas tales como:

1. Aumento de productividad.
2. Uniformidad de la producción y ahorro de material.
3. Reducción de los costes de mano de obra directos.
4. Mayor control sobre el proceso.
5. Mayor calidad del producto final.
6. Mejoras en los tiempos de producción

En todo proceso de automatización se distinguen tres partes elementales:

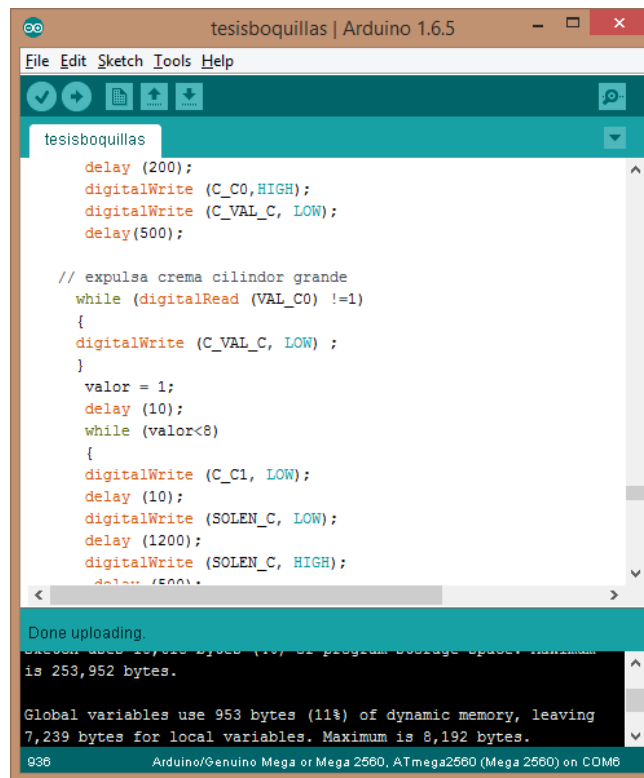
1. Elementos periféricos de entrada, a través de los cuales llega al sistema la información.
2. Unidad central de tratamiento de la información.
3. Elementos periféricos de salida, que, de acuerdo con las órdenes elaboradas por la unidad central, gobiernan los elementos de potencia.

#### **2.5.5 ENTORNO DE DESARROLLO INTEGRADO**

Un ambiente de desarrollo integrado o entorno de desarrollo interactivo, en inglés *Integrated Development Environment* (IDE), es una aplicación informática que proporciona servicios integrales para facilitarle al desarrollador o programador el desarrollo de software.

Normalmente, un IDE consiste de un editor de código fuente, herramientas de construcción automáticas y un depurador. La mayoría de los IDE tienen auto-completado inteligente de código (*IntelliSense*). Algunos IDE contienen un compilador, un intérprete, o ambos, tales como NetBeans y Eclipse; otros no, tales como SharpDevelop y Lazarus.

El límite entre un IDE y otras partes del entorno de desarrollo de software más amplio no está bien definido. Muchas veces, a los efectos de simplificar la construcción de la interfaz gráfica de usuario (GUI, por sus siglas en inglés) se integran un sistema controlador de versión y varias herramientas. Muchos IDE modernos también cuentan con un navegador de clases, un buscador de objetos y un diagrama de jerarquía de clases, para su uso con el desarrollo de software orientado a objetos.



**Figura II. 51: IDE DE ARDUINO**

**Fuente:** Autores

## 2.6 BUS UNIVERSAL SERIAL

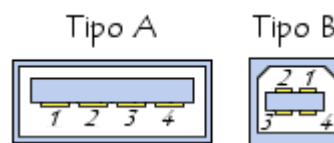
El USB como su nombre lo sugiere, se basa en una arquitectura de tipo serial. Sin embargo, es una interfaz de entrada/salida mucho más rápida que los puertos seriales estándar. La arquitectura serial se utilizó para este tipo de puerto por dos razones principales:

- La arquitectura serial le brinda al usuario una velocidad de reloj mucho más alta que la interfaz paralela debido a que este tipo de interfaz no admite frecuencias demasiado altas (en la arquitectura de alta velocidad, los bits que circulan por cada hilo llegan con retraso y esto produce errores);
- Los cables seriales resultan mucho más económicos que los cables paralelos.

### 2.6.1 Tipos de conectores

Existen dos tipos de conectores USB:

- Los conectores conocidos como **tipo A**, cuya forma es rectangular y se utilizan, generalmente, para dispositivos que no requieren demasiado ancho de banda (como el teclado, el ratón, las cámaras Web, etc.);
- Los conectores conocidos como **tipo B** poseen una forma cuadrada y se utilizan principalmente para dispositivos de alta velocidad (discos duros externos, etc.).

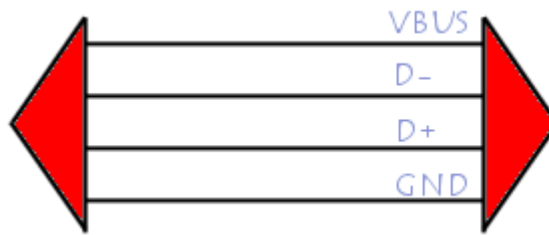


**Figura II. 52:** Conectores Tipo Hembra de USB  
**Fuente:** Autores

1. Fuente de alimentación de +5 V (*VBUS*) máximo 100 mA
2. Datos (*D-*)
3. Datos (*D+*)
4. Conexión a tierra (*GND*)

### 2.6.2 Funcionamiento del USB

Una característica de la arquitectura USB es que puede proporcionar fuente de alimentación a los dispositivos con los que se conecta, con un límite máximo de 15 V por dispositivo. Para poder hacerlo, utiliza un cable que consta de cuatro hilos (la conexión a tierra *GND*, la alimentación del *BUS* y dos hilos de datos llamados *D-* y *D+*).



**Figura II. 53:** Pines del bus de comunicación universal  
**Fuente:** Autores

El estándar USB permite que los dispositivos se encadenen mediante el uso de una topología en bus o de estrella. Por lo tanto, los dispositivos pueden conectarse entre ellos tanto en forma de cadena como en forma ramificada. La ramificación se realiza mediante el uso de cajas llamadas "concentradores" que constan de una sola entrada y varias salidas. Algunos son activos (es decir, suministran energía) y otros pasivos (la energía es suministrada por el ordenador). La comunicación entre el host (equipo) y los dispositivos se lleva a cabo según un protocolo (lenguaje de comunicación) basado en el principio de red en anillo. Esto significa que el ancho de banda se comparte temporalmente entre todos los dispositivos conectados. El host (equipo) emite una señal para comenzar la secuencia cada un milisegundo (ms), el intervalo de tiempo durante el cual le ofrecerá simultáneamente a cada dispositivo la oportunidad de "hablar". Cuando el host desea comunicarse con un dispositivo, transmite una red (un paquete de datos que contiene la dirección del dispositivo cifrada en 7 bits) que designa un dispositivo, de manera tal que es el host el que decide "hablar" con los dispositivos. Si el dispositivo reconoce su dirección en la red, envía un paquete de datos (entre 8 y 255 bytes) como respuesta. De lo contrario, le pasa el paquete a los otros dispositivos conectados. Los datos que se intercambian de esta manera están cifrados conforme a la codificación NRZI.



Como la dirección está cifrada en 7 bits, 128 dispositivos ( $2^7$ ) pueden estar conectados simultáneamente a un puerto de este tipo. En realidad, es recomendable reducir esta cantidad a 127 porque la dirección 0 es una dirección reservada.

Debido a la longitud máxima de 5 metros del cable entre los dos dispositivos y a la cantidad máxima de 5 concentradores (a los que se les suministra energía), es posible crear una cadena de 25 metros de longitud.

Los puertos USB admiten dispositivos Plug and play de conexión en caliente. Por lo tanto, los dispositivos pueden conectarse sin apagar el equipo (conexión en caliente). Cuando un dispositivo está conectado al host, detecta cuando se está agregando un nuevo elemento gracias a un cambio de tensión entre los hilos D+ y D-. En ese momento, el equipo envía una señal de inicialización al dispositivo durante 10 ms para después suministrarle la corriente eléctrica mediante los hilos *GND* y *VBUS* (hasta 100 mA). A continuación, se le suministra corriente eléctrica al dispositivo y temporalmente se apodera de la dirección predeterminada (dirección 0). La siguiente etapa consiste en brindarle la dirección definitiva (éste es el procedimiento de *lista*). Para hacerlo, el equipo interroga a los dispositivos ya conectados para poder conocer sus direcciones y asigna una nueva, que lo identifica por retorno. Una vez que cuenta con todos los requisitos necesarios, el host puede cargar el driver adecuado.

### **CAPITULO III**

#### **3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE DECORACIÓN DE PASTELES AUTOMÁTICO.**

Los distintos elementos y componentes del presente proyecto de tesis se seleccionaron basándose en la relación costo – beneficio, analizando los requerimientos del sistema y considerando las innovaciones tecnológicas disponibles.

Los materiales por los que se optaron dentro del diseño mecánico, son los estrictamente necesarios para trabajar en un entorno de industria alimenticia. No se escatimó en el uso de acero alimenticio y teflón para reducir por completo cualquier tipo de roce entre el producto alimenticio y la estructura de la máquina.

En el sistema neumático se decidió trabajar a 4 bares como se sugiere para aplicaciones normales de neumática. En cuanto a los actuadores neumáticos se eligieron cilindros de doble efecto con vástago simple con las dimensiones respectivas para cada caso. Las válvulas que comandan dichos cilindros son biestables con centro cerrado, y monoestables de 2 posiciones, alimentadas a 110V que es el voltaje nominal de la red ecuatoriana. Los sensores magnéticos de posicionamiento de cada cilindro forman parte también del sistema neumático del actual proyecto de tesis.

En el sistema electrónico se seleccionó una plataforma de hardware libre llamada Arduino como unidad de control que se basa en un microcontrolador Atmel AVR y un

entorno de desarrollo, ya que cuenta con los requerimientos necesarios para la programación adecuada del sistema de control. Los actuadores eléctricos son motores paso a paso con sus respectivos drivers para un control adecuado de la posición. Se buscó trabajar a un voltaje nominal tanto en corriente continua como en corriente alterna.

### **3.1. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO.**

#### **3.1.1 DETERMINACIÓN Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS Y COMPONENTES DEL SISTEMA MECÁNICO.**

##### **ACERO 304**

La elección de la materia prima se la hizo en base a la función que va a desempeñar la máquina. En el caso actual la máquina va estar en constante rozamiento con productos alimenticios, lo que indudablemente lleva a la elección de acero inoxidable 304 de grado alimenticio para construir todas las partes que entren en contacto con la máquina.

##### **TEFLÓN SANITARIO**

Las partes móviles de la máquina no pueden ser del mismo material que las fijas, ya que el rozamiento de metal con metal provoca el desgaste del mismo y posibles limallas que podrían contaminar la crema para la decoración. Es por ese motivo que se usó teflón sanitario para la elaboración de válvulas de paso y expulsión de la crema. Además el teflón tiene la característica de ser antiadherente.

##### **PERFIL DE ACERO NEGRO EN FORMA DE ÁNGULO**

Por cuestión de costos es lo mejor para construir estructuras mecánicas de soporte. Se usó de 30\*30 con espesor de 4mm



**Figura III. 1 :** Ángulos

**Fuente:**

[http://www.ivanar.com.ar/index.pl?\\_a=getProductDetails&\\_c=catalogueFront&id=52](http://www.ivanar.com.ar/index.pl?_a=getProductDetails&_c=catalogueFront&id=52)

### **TUBO CUADRADO**

Para la estructura de la mesa de posicionamiento del pastel se usó este tipo de perfil que brinda más estabilidad y soporte. Las medidas son 40mm\*40mm con un grosor de 2.5mm



**Figura III. 2:** Tubo cuadrado usado en la estructura de la mesa.

**Fuente:** Autores

### **CORREAS DENTADAS**

El medio de transmisión de movimiento de los motores paso a paso a los elementos finales son correas dentadas con un paso, las correas originalmente son usadas en automóviles y se las adaptó a este proceso con un paso de 3.4mm.



**Figura III. 3:** Correas Dentadas  
**Fuente:** Autores

### **TORNILLO SIN FIN**

La elección de este material se basó en la oferta del mercado, con un paso de 2.2mm, y un diámetro de 1 pulgada.



**Figura III. 4:** Tornillo sin fin de la mesa de posicionamiento

### **PLANCHA DE ACERO NEGRO ANTIDESLIZANTE PARA PISO**

Para unir los módulos A, B y C se usaron planchas de acero negro antideslizante lo que hace que se forme una sola estructura, tiene un grosor de 2mm.



**Figura III. 5:** Plancha de acero negro 2mm antideslizante  
**Fuente:** <http://www.freepik.es/fotos-vectores-gratis/placa-de-acero>

### **3.1.2 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO.**

#### **TOLVAS DE ALIMENTACIÓN DE CREMA**

Las tolvas de alimentación tiene capacidad para 40 litros de crema cada una, la máquina posee 3 tolvas destinadas a tres cremas de distinto color, están construidas en acero inoxidable AISI 304 de 1,5 mm de espesor con soldadura de acero inoxidable y varilla de  $\frac{1}{4}$  de pulgada de diámetro, en la base posee una salida con ferrule de 2 pulgadas que permite la conexión de la tolva con la válvula general de paso. El plano se adjunta en el Anexo 1.



**Figura III. 6 :** Tolva de almacenamiento en construcción  
**Fuente:** Autores



**Figura III. 7:** Tolvas de almacenamiento finalizadas  
**Fuente:** Autores

### **BOMBAS DE VACIO RECIPROCANTES O DE EMPUJE LINEAL**

La bomba de vacío está hecha de un cilindro de acero inoxidable AISI 304 con un ferrule en uno de sus extremos que permite la conexión con la válvula general de paso, en su interior tiene un anillo de teflón PTFE el cual posee un o-ring para sellar el compartimiento del cilindro y poder generar el vacío y evitar que la crema escape del mismo, el anillo está sujeto a una varilla de acero inoxidable AISI 304 que permite la unión con el vástago del cilindro neumático que es el que permite el movimiento

requerido para el funcionamiento de la bomba. Se muestra el plano en el Anexo 2. Y en el 7 y 8 de la válvula secundaria.



**Figura III. 8:** Bomba de vacío acoplada al cilindro neumático  
**Fuente:** Autores



**Figura III. 9:** Acople de la varilla metálica de la bomba al vástago del cilindro neumático  
**Fuente:** Autores

### VÁLVULAS GENERALES DE PASO

Las válvulas generales de paso están constituidas de dos partes principales, el cuerpo de la válvula que está construido en acero inoxidable AISI 304, mecanizado mediante torno y fresadora, que es la parte fija de la válvula y la parte móvil que está construida



en teflón PTFE, mecanizado en torno, en la unión entre la parte fija y la parte móvil se encuentran dispuestos por anillos de nitrilo alimenticio que permiten sellar la válvula evitando que la crema escape o que ingrese aire logrando así el vacío necesario en el sistema. Se adjunta el plano mecánico en el 9.



**Figura III. 10:** Parte fija de la válvula general de paso en proceso de torneado.  
**Fuente:** Autores



**Figura III. 11:** Válvula general de paso terminada  
**Fuente:** Autores

## **BRAZO PARA COBERTURA**

El brazo para cobertura del pastel tiene tres partes principales, la primera es una válvula de paso construida en acero inoxidable 304 y teflón PTFE el cual en un extremo tiene un ferrule para conexión con el codo que permite el ingreso de crema, la segunda pieza es la boquilla de decoración cuya construcción es en acero inoxidable 304 y es la encargada de que el terminado sea liso y uniforme, la misma que va insertada en la pieza móvil de teflón de la válvula de paso, el tercer elemento es un codo de 90 grados de 2 pulgadas de diámetro con ferrules para la conexión con la válvula general de paso y la válvula de paso del brazo de cobertura. Se anexa el plano en el número 6.



**Figura III. 12:** Brazo para cobertura  
**Fuente:** Autores



**Figura III. 13:** Válvula de paso del brazo de cobertura  
**Fuente:** Autores

### **BOQUILLA PARA COBERTURA**

Está hecha de acero inoxidable y es la encargada de cubrir con la crema pastelera al pastel, puede ser de varias formas y tamaño, ya que es cambiable según el tipo de pastel y de decorado que se vaya a hacer.

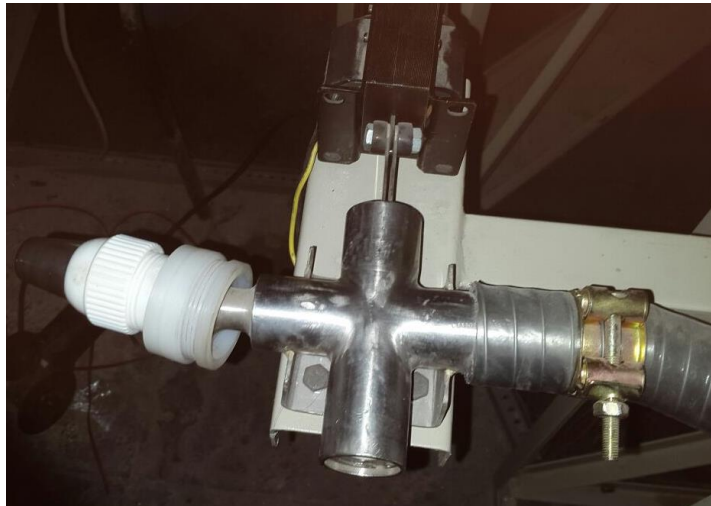


**Figura III. 14:** Boquilla de cobertura  
**Fuente:** Autores

### **VÁLVULAS EXPULSORAS DE CREMA PARA DECORADO**

Las válvulas expulsoras de crema para decoración están construidas en acero inoxidable 304, con soportes de acero y la parte móvil de esta válvula está hecha con

bronce a la cual se le proporciona el movimiento requerido por medio de solenoides AC y un resorte de acero inoxidable que permite el retorno de la válvula. En este proyecto de tesis se usan dos válvulas para tener dos colores de opciones en la decoración.



**Figura III. 15:** Vista superior de la válvula expulsora de crema para decorado  
**Fuente:** Autores

### **MANGUERA DE TRANSPORTE DE CREMA**

Se utilizó manguera no tóxica con alambre, está es una manguera construida con PVC plastificado no tóxico óptimo para el contacto con alimentos, es transparente de gran flexibilidad y liso. Viene reforzada con un espiral galvanizado a prueba de golpes, resistente a la abrasión y clima. El rango de temperatura de trabajo es de  $-5^{\circ}\text{C}$  /  $+60^{\circ}\text{C}$ .



**Figura III. 16:** Manguera de transporte de crema  
**Fuente:** Autores

### **SOPORTE DE BOQUILLAS**

Al final de las válvulas expulsoras de crema se encuentran dos anillos de teflón PTFE que por medio de una rosca se unen y permiten sostener el soporte para boquillas estándar de pastelería.



**Figura III. 17:** Soporte de Boquillas decoradoras

### **SOPORTES METÁLICOS Y PISO.**

La máquina se sustenta en módulos de estructura metálica de acero anclada a un piso metálico de plancha antideslizante. Toda la estructura es soldada y apornada y pintada con pintura electrostática.

### **MESA DE POSICIONAMIENTO**

La mesa de posicionamiento posee dos movimientos: longitudinal en sentido vertical y rotacional en la mesa giratoria.

El movimiento longitudinal se lo realiza por medio de un tornillo sin fin y una tuerca de bronce, el tornillo es el elemento que gira por medio de una polea dentada anclada a la base, esta polea está conectada a otra ubicada en el eje del motor de pasos por medio de una correa síncrona, esto permite el movimiento preciso de la mesa.

El movimiento giratorio es realizado al mover el eje de la mesa giratoria por medio de una conexión entre poleas dentadas y correa síncrona.

La estructura de la mesa está construida enteramente en tubo cuadrado de acero de 40mm x 40mm y soldado en sus puntos de unión.

Las zonas de posible contacto con los alimentos fueron cubiertas con acero inoxidable AISI 304 precautelando de esta manera que durante todo el proceso los productos sean aptos para consumo humano.

Para permitir el movimiento vertical preciso de la mesa, esta posee cuatro rieles guías en los postes que hacen que el movimiento sea uniforme en todo el recorrido.



**Figura III. 18:** Mesa de posicionamiento  
**Fuente:** Autores

### **POLEAS DENTADAS**

Se las envié a mecanizar basados en los pasos de la correa dentada que se adquirió anteriormente. Las poleas dentadas se pusieron para reducir la velocidad y aumentar el torque para mover la mesa verticalmente.

Los datos de la polea pequeña son los siguientes:

Paso: 5mm

Diámetro exterior: 5.6mm

Diámetro interior: 5.3mm

La polea grande es obviamente idéntica en pasos, pero como se desea reducir la velocidad y aumentar el torque los diámetros varían, teniendo así:

Diámetro exterior: 8.4mm

Diámetro interior: 8.3mm

## **3.2. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA NEUMÁTICO.**

### **3.2.1 DETERMINACIÓN Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS Y COMPONENTES DEL SISTEMA NEUMÁTICO.**

✓ **Cilindros para succión y empuje de la crema.**

Para dimensionar la fuerza que los cilindros necesitan para poder empujar la cantidad suficiente de crema, que requiere una unidad a decorar, se realizaron pruebas de campo. Se determinó que en cada pastel se gasta aproximadamente 1 litro de crema; valor que se obtuvo de la media de 10 pasteles decorados manualmente, y cada decorado conlleva un tiempo promedio de 3 minutos para un experto pastelero. El tiempo en el que se desea que se recubra un pastel usando el sistema automático será fijado por los tesisistas en 8 segundos. Con este valor se logrará aumentar la producción de 30 pasteles decorados en 1 hora en forma manual, a 420 gracias al uso del sistema automático.

Una vez que se determinó el tiempo y la cantidad de crema necesaria para decorar un pastel, se ubicó la crema dentro de un cilindro de prueba que es el contenedor que hace las veces de bomba de succión y expulsión de crema, la cual estaba dimensionada para 1 litro de decorado. Para al fin determinar la fuerza necesaria mínima para que desaloje la cantidad indispensable de crema en el tiempo impuesto, se hicieron pruebas manuales usando una balanza que condujo a una fuerza aproximada de 30Kgf de empuje. Como es necesario siempre tener un margen de error del cálculo teórico, se usó un factor de 1.3.

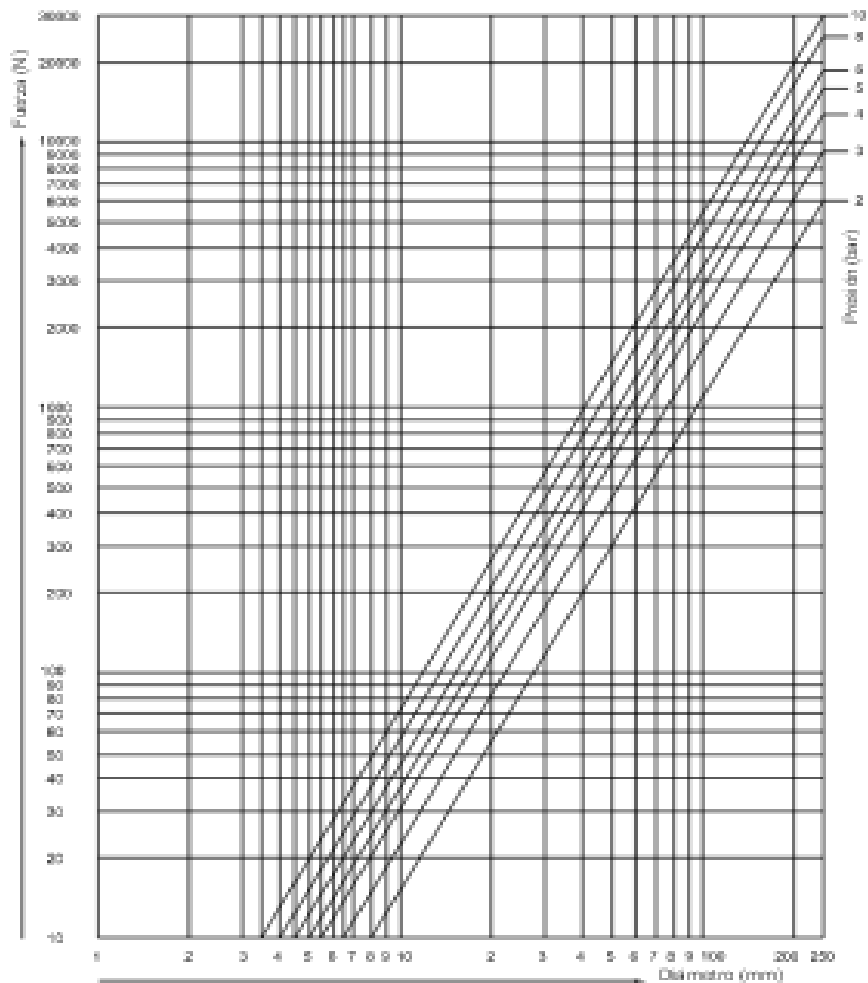
Los cilindros neumáticos vienen normados por el tamaño de diámetro del vástago, y ya que la presión de trabajo es de 4 bares y la fuerza que deseamos generar es de 39Kgf según la figura III.1 lo más cercano es el diámetro de 40mm.



### Fuerza en cilindros

La fuerza disponible de un cilindro crece con mayor presión y con mayor diámetro. La determinación de la fuerza estática en los cilindros está sustentada por la siguiente fórmula, o el ábaco adjunto:

$$F = 10 \cdot p \cdot \Pi \cdot (d^2/4) \quad \text{donde:} \quad \begin{array}{l} F: \text{ Fuerza (N)} \\ p: \text{ Presión (bar)} \\ d: \text{ Diámetro de la ca-} \\ \text{misa del cilindro (cm)} \end{array}$$
$$\text{ó bien } F = 7,85 \cdot p \cdot d^2$$



**Figura III. 19:** Fuerza de cilindros  
**Fuente:** Catálogo Micro 2012

La carrera del cilindro se dimensiona implícitamente cuando se diseña el tamaño de la bomba de succión y empuje. En este en particular es de 300mm.

Con estas especificaciones ya se dimensiona los cilindros en cuanto a diámetro y a carrera. El diseño solo necesita un vástago y al necesitar fuerza tanto en empuje como en retorno es necesario que sea de doble efecto.

Concluyendo son necesarios 3 cilindros de 40 mm de diámetro y 300mm de carrera de doble efecto y vástago simple.

### **Cilindros de apertura y cierre de válvulas generales de paso.**

El dimensionamiento se realizó siguiendo los procedimientos del apartado anterior.

La fuerza que se requiere es apenas la que pueda accionar la válvula de teflón en dos estados, abierto y cerrado. Entonces nos basamos en el peso de la válvula de teflón y el rozamiento que hace el teflón con el acero. Apenas se necesita 5kgf. El recorrido que se desea hacer es de 100mm. Aplicando la formula respectiva para hallar el diámetro nos resulta un diámetro de 16mm.

### **Válvulas Neumáticas de Control de Cilindros.**

Las válvulas se eligieron tomando en cuenta la presión y el caudal a la que trabaja el sistema y se optó por el pilotaje eléctrico ya que todo el sistema de control de la máquina se basa en señales eléctricas.

El voltaje al que trabaja la parte de accionamiento es de 110V, que es el voltaje nominal de la red eléctrica, evitando así el uso de fuentes DC o convertidores de voltaje.

Las válvulas que controlan los cilindros de succión y empuje deben ser biestables ya que se necesita una posición clara y definida en el transcurso del recorrido del vástago del cilindro neumático. Las válvulas de apertura y cierre simplemente requerían una válvula monoestable ya que solo tienen 2 posiciones definidas, abierto y cerrado. El retorno de la válvula es mediante un muelle.

El centro cerrado en las válvulas que comandan los cilindros de succión y empuje es para poder controlar el recorrido del vástago si se desea disponer de una posición media y evitar que fuerzas externas afecten la posición del mismo.

### **UNIDAD DE MANTENIMIENTO FRL**

La unidad de mantenimiento se la usa para disponer de un aire comprimido libre de impurezas y que se pueda regular. Incluye un filtro y la unidad de lubricación.



**Figura III. 20:** Unidad de Mantenimiento usada en este proyecto.

**Fuente:** Autores

### **MANGUERA NEUMÁTICA DE 8MM**

La manguera es utilizada para conducir correctamente el aire comprimido sin problemas con la presión que se usa en el sistema.

### **SILENCIADORES**



**Figura III. 21:** Silenciador de válvula neumática

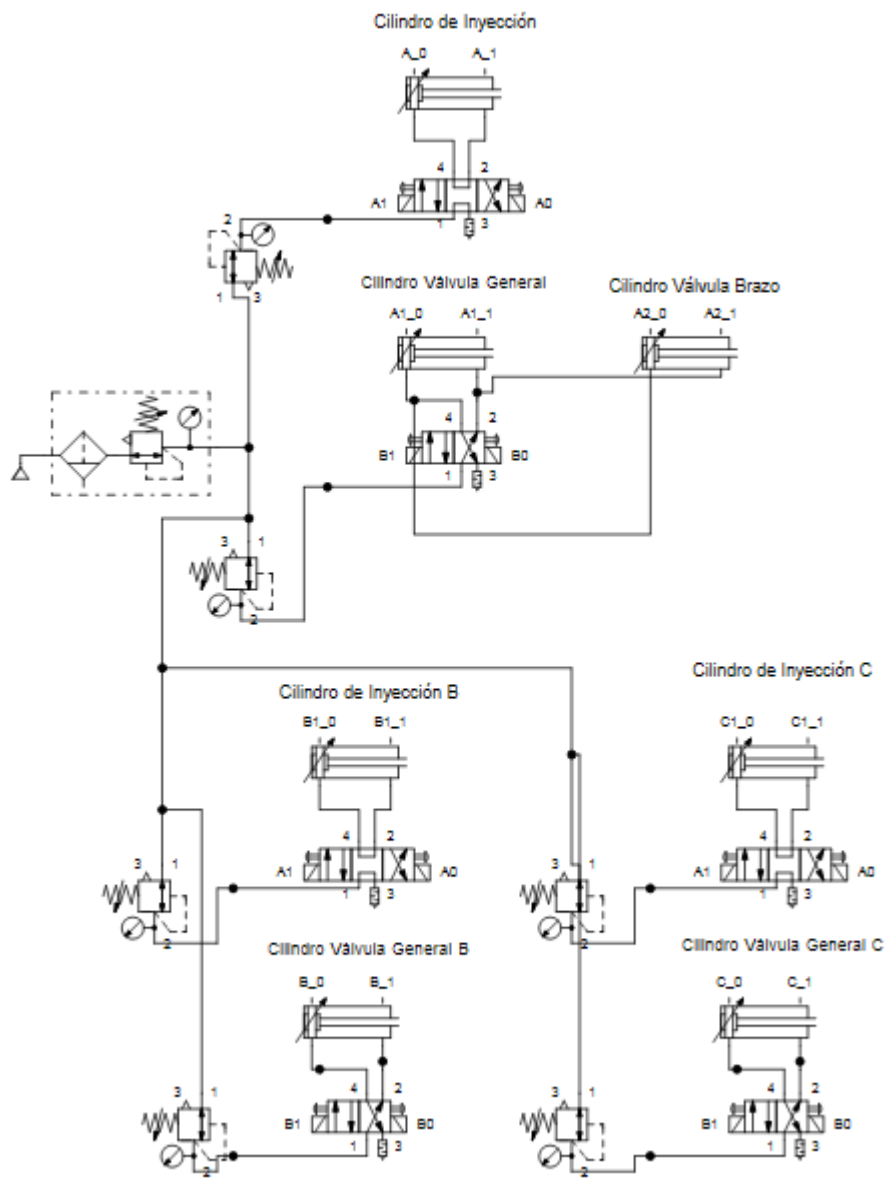
**Fuente:** [http://spanish.pneumaticcontrol-valve.com/china-brass\\_pneumatic\\_silencer\\_m5\\_2\\_air\\_muffler\\_for\\_pneumatic\\_valve-1865589.html](http://spanish.pneumaticcontrol-valve.com/china-brass_pneumatic_silencer_m5_2_air_muffler_for_pneumatic_valve-1865589.html)

### **RACOR**

Se optó por el uso de racores para que las mangueras neumáticas no se curven y se provoquen posibles fugas, para uniones también se usaron racores en T y en cruz. Se ubicaron en cada salida de las válvulas y en los cruces de distribución en el tablero neumático.

### **3.2.2 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA NEUMÁTICO**

Para la implementación de este sistema, se hicieron planos previamente en el programa FluidSim, para un adecuado diseño de la secuencia que se debe realizar. El siguiente esquema muestra el diagrama neumático del presente proyecto. La descripción de las variables usadas se muestra en la tabla III.1 para un mejor entendimiento.



**Figura III. 22:** Variables usadas en el circuito neumático del sistema

**Fuente:** Autores

**Tabla III.1:** Variables usadas en el circuito neumático del sistema

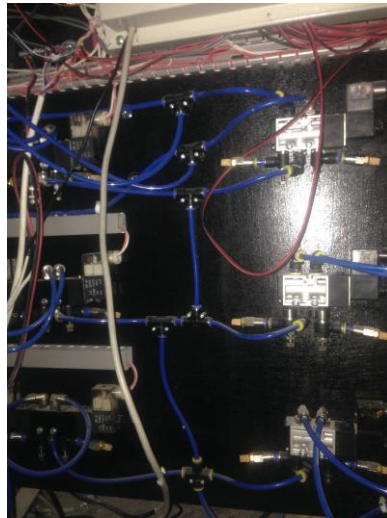
**Fuente:** Autores

Variable	Descripción
----------	-------------

A_0	Vástago del cilindro de la bomba reciprocante del módulo A completamente retraído.
A_1	Vástago del cilindro de la bomba reciprocante del módulo A completamente salido.
A1_0	Vástago del cilindro de la bomba general de paso del módulo A completamente retraído.
A1_1	Vástago del cilindro de la bomba general de paso del módulo A completamente salido.
A2_0	Vástago del cilindro del brazo del módulo A completamente retraído.
A2_1	Vástago del cilindro del brazo del módulo A completamente salido.
B_0	Vástago del cilindro de la bomba reciprocante del módulo B completamente retraído.
B_1	Vástago del cilindro de la bomba reciprocante del módulo B completamente salido.
B1_0	Vástago del cilindro de la bomba general de paso del módulo B completamente retraído.
B1_1	Vástago del cilindro de la bomba general de paso del módulo B completamente salido.
C_0	Vástago del cilindro de la bomba reciprocante del módulo C completamente retraído.
C_1	Vástago del cilindro de la bomba reciprocante del módulo C completamente salido.
C1_0	Vástago del cilindro de la bomba general de paso del módulo C completamente retraído.
C1_1	Vástago del cilindro de la bomba general de paso del módulo C completamente salido.

Todas las válvulas se montaron y atornillaron en un tablero negro de madera de 650mm por 770mm en forma ordenada, permitiendo que las mangueras que llegan y salen a cada una de ellas estén ubicadas cómodamente. Se muestra el plano del tablero neumático.

Una vez terminado el tablero quedó de la siguiente manera.



**Figura III. 23:** Tablero Neumático  
**Fuente:** Autores

Los sensores magnéticos se los ubicaron en los extremos la parte exterior fija de cada cilindro para la adquisición de datos, de la siguiente manera:



**Figura III. 24:** Ubicación de los sensores magnéticos  
**Fuente:** Autores

Igualmente los cilindros neumáticos se conectaron a su válvula respectiva, la manguera neumática se ubica a través de canaletas para una correcta presentación, y evitar accidentes y posibles averías en la máquina.



**Figura III. 25:** Canaletas de la máquina  
**Fuente:** Autores

### **3.3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO.**

#### **3.3.1 DETERMINACIÓN Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS Y COMPONENTES DEL SISTEMA.**

##### **SELENOIDES AC CON RETORNO**

Cumplen la función de permitir o cortar el paso de la crema en el proceso de decoración del pastel. Tiene un retorno gracias a un resorte, con lo que solo se necesita de una señal para su manejo completo. Se seleccionó una de 3kg ya que es la más ofertada en el mercado.



## AC SOLENOIDS



specification

MODEL NO	PUSH OR PULL	RATED STROKE (mm)	RATED PULL (kg)	RATED SERVICE	RATED VOLTAGE (AC)	RATED CYCLES	L*W*H	PLUNGER WEIGHT (kg)	TOTAL WEIGHT (kg)
TAS-05	Push-Pull Combined	10	0.5	Continuous	110 or 220	50/60Hz	84x33x38	Approx. 0.082	Approx. 0.20
TAS-06		10	0.6	Continuous	110 or 220	50/60Hz	84x37x38	0.075	0.25
TAS-08		10	0.8	Continuous	110 or 220	50/60Hz	84x42x38	0.095	0.30
TAS-5		15	1	Continuous	110 or 220	50/60Hz	93x49x50	0.114	0.40
TAS-10		15	1.5	Continuous	110 or 220	50/60Hz	93x53x50	0.138	0.45
TAS-15		15	2	Continuous	110 or 220	50/60Hz	93x57x50	0.153	0.50
TASS-20		20	3.5	Continuous	110 or 220	50/60Hz	116x65x55	0.253	0.80
TAS-20		20	3	Continuous	110 or 220	50/60Hz	130x70x63	0.302	1.15
TAS-25		20	4	Continuous	110 or 220	50/60Hz	130x75x63	0.348	1.30
TAS-30		20	5	Continuous	110 or 220	50/60Hz	130x80x63	0.393	1.45
TAS-35		30	5	Continuous	110 or 220	50/60Hz	170x90x86	0.598	2.30
TAS-40		30	6	Continuous	110 or 220	50/60Hz	170x100x86	0.777	2.70
TAS-45		30	8	Continuous	110 or 220	50/60Hz	170x110x86	0.957	3.10
TAS-50		40	10	Continuous	110 or 220	50/60Hz	230x113x102	1.832	4.80
TAS-10A		20	1.5	Continuous	110 or 220	50/60Hz	136x51x56	0.193	0.68
TAS-20A		30	3	Continuous	110 or 220	50/60Hz	165x68x78	0.437	1.30
TAS-30A		30	5	Continuous	110 or 220	50/60Hz	145x80x78	0.649	1.75
TAS-03		10	0.3	Intermittent	110 or 220	50/60Hz	56x40x27	0.018	0.08

Figura III. 26: Características de Solenoides AC marca CAMSCO.

Fuente: [http://www.camscointernational.com/productos/electroimanes\\_solenoides.html](http://www.camscointernational.com/productos/electroimanes_solenoides.html)

### FUENTE DE VOLTAJE

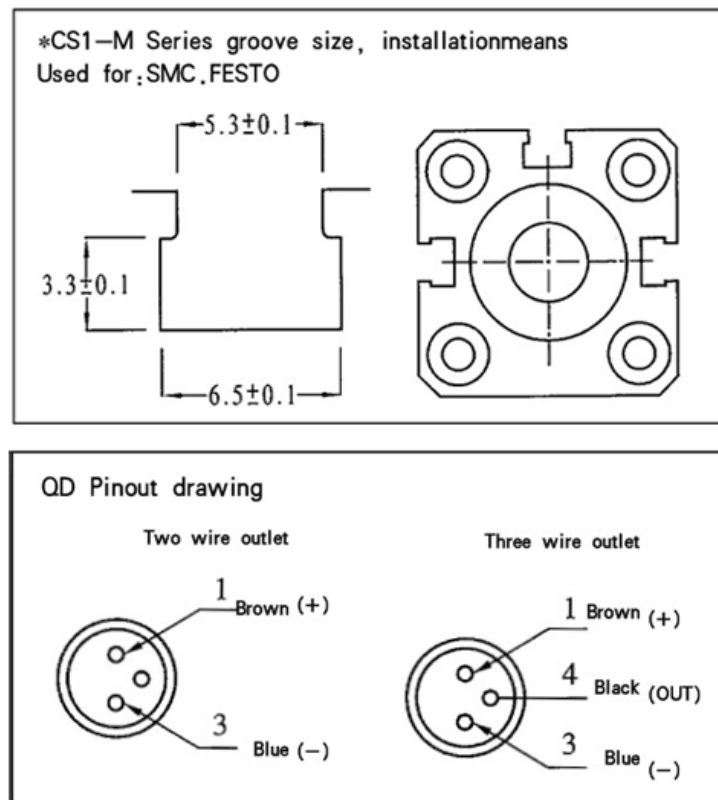
Se optó por usar una fuente de voltaje de salida 24V 15A, debido a que los drivers de los motores paso a paso funcionan a ese voltaje. También se dispone de una fuente de salida de 12V 3A con la que se alimenta el Arduino. Se utilizó una fuente genérica.

### PLACA ARDUINO

Debido a las necesidades del sistema, se decidió usar un ARDUINO MEGA 2560 original, como Unidad de Control de todo el sistema, que cuenta con el suficiente número de entradas y salidas para abastecer los requerimientos de la máquina. Se anexa los datos técnicos del Arduino en el Anexo 3.

### SENSORES MAGNÉTICOS PARA CILINDROS NEUMÁTICOS

Se utilizan sensores magnéticos a 5VDC de dos hilos. Para detectar la posición del émbolo dentro del cilindro neumático y corroborar que las posiciones de los mismos sean las correctas antes iniciar algún proceso o subproceso. Se colocaron 12 sensores en total, los cilindros de la válvula general de paso y de la boquilla de cobertura, comparten los mismos sensores.



**Figura III. 27:** Planos del sensor CS1-M de Arduino  
**Fuente:** [http://www.china-stnc.com/en/Sensor-switch/CS1-M\\_CS1-M.html](http://www.china-stnc.com/en/Sensor-switch/CS1-M_CS1-M.html)



**Figura III. 28:** Sensor Magnético

**Fuente:** [http://www.china-stnc.com/en/Sensor-switch/CS1-M\\_CS1-M.html](http://www.china-stnc.com/en/Sensor-switch/CS1-M_CS1-M.html)

### **MODULO DE RELÉS PARA ARDUINO DE 8 CANALES.**

Para el manejo de los accionamientos de las válvulas y solenoides son necesarios relés para aislar mecánicamente los circuitos. Como se usa la tarjeta Arduino para mayor facilidad se adquirió dos placas ya fabricadas de 8 canales de Relés cada una. El Módulo Relé de 8 Canales se activa con 5Vdc muy sugerido en proyectos de potencia hechos con Arduino. Se aíslan con opto-acopladores, y tienen un led por cada canal que indica su activación, Tiene conector selector para voltaje externo o interno. En este caso se usó una fuente externa para evitar que se consuma más corriente del Arduino 2560. Algunos datos técnicos se muestran a continuación:

**Voltaje de operación:** 120VAC/250VAC/30VDC

**Voltaje de la bobina (relé):** 5V

**Corriente de operación:** 10A

**Corriente de activación por relé:** 15mA~20mA

13.9cm x 5.7cm x 1.9cm



**Figura III. 29:** Módulos de relé de 8 canales.

**Fuente:** <http://dinastiatecnologica.com/producto/modulo-rele-de-8-canales/>

### TECLADO MATRICIAL Y LCD

Se usó un teclado matricial 4\*4 para el ingreso de datos al sistema central. Los datos a ingresar varían desde los modos de trabajo, (manual y automático), tiempos y opciones de decorado. El LCD 16\*2 nos devuelve los datos que estamos ingresando y estados de variables.



**Figura III. 30:** Tablero de Control y visualización

**Fuente:** Autores

### CABLES ELÉCTRICOS

Los cables eléctricos se dimensionaron de acuerdo a las corrientes máximas que se iban a generar en cada proceso. Cabe recalcar que existen caídas de potencia cuando

el cableado es muy largo. Siempre se sobredimensionó en 100%. Los calibres usados fueron: 16AWG para conexiones de 110V, 18AWG entradas y salidas del Arduino, cable multipar 10 pares y 6 pares para llevar las entradas y salidas de la mesa giratoria al tablero central.

## **MOTORES Y DRIVERS**

A la hora de elegir unos motores y unos drivers adecuados, es importante tener en cuenta dos parámetros fundamentales como son: El par motor, que quiere decir la fuerza necesaria para que realice su movimiento y que los drivers aporten la suficiente cantidad de corriente para que el motor ejerza el par motor necesario. El Anexo 4 indica el motor utilizado, mientras que el Anexo 11 es el Driver del motor.

Se utilizan motores paso a paso ya que necesitamos movimientos precisos para el decorado del pastel, ya que en base a la posición se realizan los procesos.

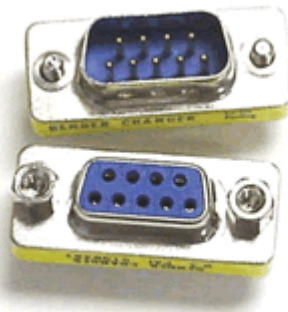
Los motores elegidos son NEMA 23. Se llegó a la conclusión de que era el adecuado, en base al torque y el peso que iban a mover.

### **¿Cómo calcular el mínimo par motor que necesitamos?**

Interfieren los siguientes factores: Masa del eje a mover, velocidad de giro del motor paso a paso, inductancia de las bobinas, no exactitud de los valores que da el fabricante, transmisión utilizada, rozamiento, aceleración deseada.

## **CONECTOR DB-9 Y DB-25**

Cuando es necesario cablear varias entradas y salidas desde un punto a otro, siempre es mejor llevar por todos en un recubrimiento para mayor protección. Para aplicar este criterio se usó el cable multipar con conectores DB-9 y DB-25 dependiente de la cantidad de cables enviados.



**Figura III. 31:** Conectores DB9 para comunicación de tableros electrónicos  
**Fuente:** <http://www.tiempo.com/ram/640/fabricacion-de-un-cable-de-conexion-para-comunicar-un-pc-y-una-estacion-meteorologica-wmr-928-de-oregon-scientific/>



**Figura III. 32:** Conectores DB25 para comunicación de tableros electrónicos  
**Fuente:** <http://www.opencockpits.com/catalog/conector-db25-macho-p-203.html>

### **FINALES DE CARRERA**

Se escogieron finales de carrera para delimitar el desplazamiento vertical en la mesa giratoria. Se optó por este sensor por su costo, fácil instalación y libre mantenimiento. Las dimensiones y el modelo se muestran a continuación.

### **SENSOR ÓPTICO**

En necesario tener los datos del número de revoluciones que da la mesa giratoria para saber la posición del pastel respecto al punto inicial, para el decorado. El sensor

utilizado es un TCRT5000 que es de tipo infrarrojo y se activa cuando detecta una superficie negra, la cual no devuelve la luz emitida. El anexo 5 muestra las características técnicas del mismo.

### 3.3.2 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO.

#### CONEXIÓN DE LOS PINES DE ARDUINO MEGA

**Tabla III. 2:** Lista de Entradas del Arduino  
**Fuente:** Autores

ITEM	PIN ARDUINO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1	49	E_A0	Estado de sensor magnético del cilindro magnético de la bomba reciprocante del Módulo A. Si Marca 1 significa que el cilindro esta retraído, caso contrario el cilindro esta en otra posición.
2	47	E_A1	Estado de sensor magnético del cilindro magnético de la bomba reciprocante del Módulo A. Si Marca 1 significa que el cilindro tiene el vástago completamente expulsado, caso contrario el cilindro está en otra posición.
3	45	VAL_A0	Estado de sensor magnético del cilindro magnético de la bomba general de paso del Módulo A. Si Marca 1 significa que el cilindro está retraído, caso contrario el cilindro está en otra posición.
4	43	VAL_A1	Estado de sensor magnético del cilindro magnético de la bomba general de paso del Módulo A. Si Marca 1 significa que el cilindro tiene el vástago completamente expulsado, caso contrario el cilindro está en otra posición.
5	37	E_B0	Estado de sensor magnético del cilindro magnético de la bomba reciprocante del Módulo B. Si Marca 1 significa que el cilindro está retraído, caso contrario el cilindro está en otra posición.
6	25	E_B1	Estado de sensor magnético del cilindro magnético de la bomba reciprocante del Módulo B. Si Marca 1 significa que el cilindro tiene el vástago completamente expulsado, caso contrario el cilindro está en otra posición.
7	39	VAL_B0	Estado de sensor magnético del cilindro magnético de la bomba general de paso del Módulo B. Si Marca 1 significa que el cilindro

			está retraído, caso contrario el cilindro está en otra posición.
8	41	VAL_B1	Estado de sensor magnético del cilindro magnético de la bomba general de paso del Módulo B. Si Marca 1 significa que el cilindro tiene el vástago completamente expulsado, caso contrario el cilindro está en otra posición.
9	27	E_C0	Estado de sensor magnético del cilindro magnético de la bomba reciprocante del Módulo C. Si Marca 1 significa que el cilindro está retraído, caso contrario el cilindro está en otra posición.
10	29	E_C1	Estado de sensor magnético del cilindro magnético de la bomba reciprocante del Módulo C. Si Marca 1 significa que el cilindro tiene el vástago completamente expulsado, caso contrario el cilindro está en otra posición.
11	51	VAL_C0	Estado de sensor magnético del cilindro magnético de la bomba general de paso del Módulo C. Si Marca 1 significa que el cilindro está retraído, caso contrario el cilindro está en otra posición.
12	33	VAL_C1	Estado de sensor magnético del cilindro magnético de la bomba general de paso del Módulo C. Si Marca 1 significa que el cilindro tiene el vástago completamente expulsado, caso contrario el cilindro está en otra posición.
13	A15	emergencia	Paro de emergencia del sistema
14	53	inicio	Inicio del Programa
15	51	paro	Parar programa
16	20	fin_superior	Sensor que indica que la mesa ha subido hasta el límite permitido
17	21	fin_inferior	Sensor que indica que la mesa ha bajado hasta el límite permitido
18	19	fin_giro	Sensor que indica que la mesa giratoria del pastel ha girado una revolución

**Tabla III. 3:** Lista de Entradas del Arduino

**Fuente:** Autores

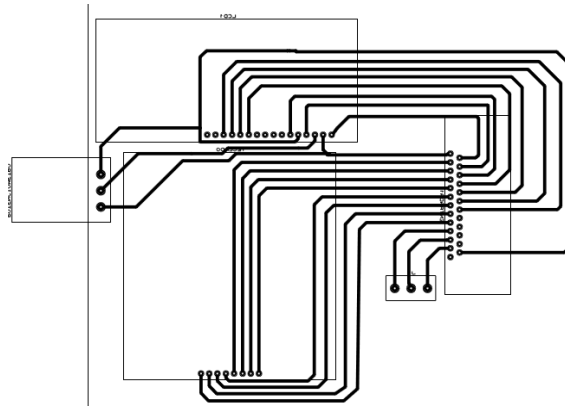
ITEM	PIN ARDUINO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
------	-------------	--------	-------------



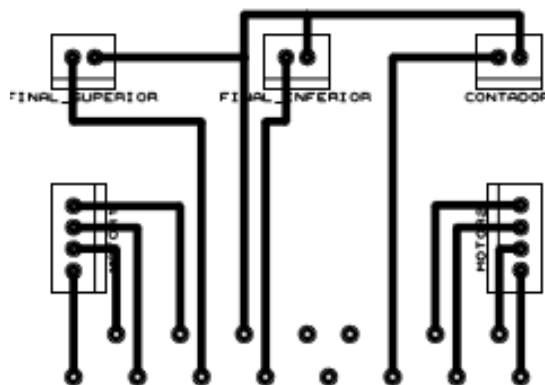
1	24	C_A0	Cuando se envía un 0, la válvula se acciona y el cilindro de la bomba reciprocante del Módulo A comienza su recorrido hacia afuera. Mientras el pulso este accionado el vástago va saliendo, caso contrario el movimiento se detiene.
2	22	C_A1	Cuando se envía un 0, la válvula se acciona y el cilindro de la bomba reciprocante del Módulo A comienza su recorrido hacia dentro. Mientras el pulso este accionado el vástago va ingresando, caso contrario el movimiento se detiene.
3	26	C_C0	Cuando se envía un 0, la válvula se acciona y el cilindro de la bomba reciprocante del Módulo B comienza su recorrido hacia afuera. Mientras el pulso este accionado el vástago va saliendo, caso contrario el movimiento se detiene.
4	28	C_C1	Cuando se envía un 0, la válvula se acciona y el cilindro de la bomba reciprocante del Módulo B comienza su recorrido hacia dentro. Mientras el pulso este accionado el vástago va ingresando, caso contrario el movimiento se detiene.
5	30	C_B0	Cuando se envía un 0, la válvula se acciona y el cilindro de la bomba reciprocante del Módulo C comienza su recorrido hacia afuera. Mientras el pulso este accionado el vástago va saliendo, caso contrario el movimiento se detiene.
6	32	C_B1	Cuando se envía un 0, la válvula se acciona y el cilindro de la bomba reciprocante del Módulo C comienza su recorrido hacia dentro. Mientras el pulso este accionado el vástago va ingresando, caso contrario el movimiento se detiene.
7	48	C_VAL_A	Cuando se envía un 0 la válvula general de paso del módulo A se activa y permite el paso de crema hacia las boquillas, caso contrario la válvula permite paso de crema de la tolva a la bomba reciprocante
8	34	C_VAL_C	Cuando se envía un 0 la válvula general de paso del módulo C se activa y permite el paso de crema hacia las boquillas, caso contrario la válvula permite paso de crema de la tolva a la bomba reciprocante
9	36	C_VAL_B	Cuando se envía un 0 la válvula general de paso del módulo B se activa y permite el paso de crema hacia las boquillas, caso contrario la válvula permite paso de crema de la tolva a la bomba reciprocante

10	50	SOLEN_B	Cuando se envía un 0, la solenoide del módulo B corta el paso de la crema para formar los decorados. La solenoide en posición inicial permite el paso de la crema.
11	52	SOLEN_C	Cuando se envía un 0, la solenoide del módulo C corta el paso de la crema para formar los decorados. La solenoide en posición inicial permite el paso de la crema.

Una vez que se escogió los componentes adecuados para implementar el sistema electrónico, se los debe montar sobre una placa para su funcionamiento. A continuación se muestran los circuitos



**Figura III. 33:** Circuito impreso para montaje y conexión de Teclado y LCD  
**Fuente:** Autores



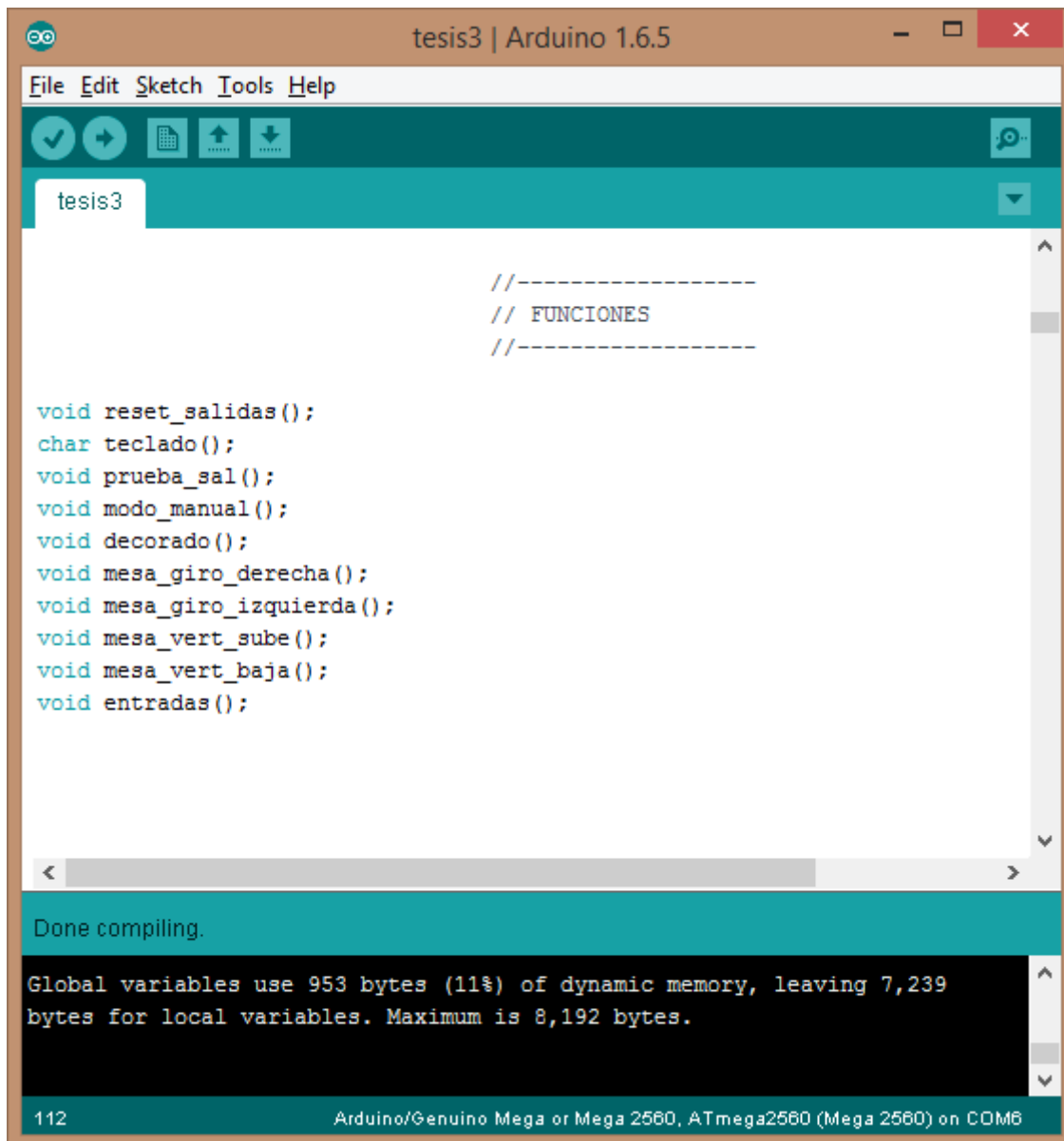
**Figura III. 34:** Circuito impreso para alimentación y comunicación de los elementos de la mesa giratoria.

**Fuente:** Autores



### 3.3.3 DESARROLLO DE SOFTWARE Y PROGRAMACIÓN

El programa se desarrolló en el software IDE ARDUINO. Se detalla a continuación capturas de pantalla de la programación.



**Figura III. 38:** Declaración de Funciones usadas en el programa  
**Fuente:** Autores

Las funciones declaradas realizan los siguientes procesos:

*Reset\_salidas ();*

Vuelve todas las salidas al estado inicial.

*Teclado();*

Lee constantemente si un valor se ingresa en el teclado, cuando lo hace devuelve el valor que se haya ingresado.

*prueba\_sal();*

Secuencia que cambia los estados de las salidas para probar su funcionamiento. Luego retorna los valores iniciales.

*modo\_manual();*

Permite el accionamiento por separado de los actuadores del sistema, tales como: válvulas y motores de la mesa.

*decorado();*

Se escribe toda la secuencia para el decorado total del pastel

*mesa\_giro\_derecha();*

La mesa de posicionamiento en sentido horario.

*mesa\_giro\_izquierda();*

La mesa de posicionamiento en sentido antihorario.

*mesa\_vert\_sube();*

La mesa de posicionamiento se mueve hacia arriba.

*mesa\_vert\_baja();*

La mesa de posicionamiento en sentido horario.

*Entradas();*

Lee las entradas y las imprime los estados de las mismas en el monitor serial.

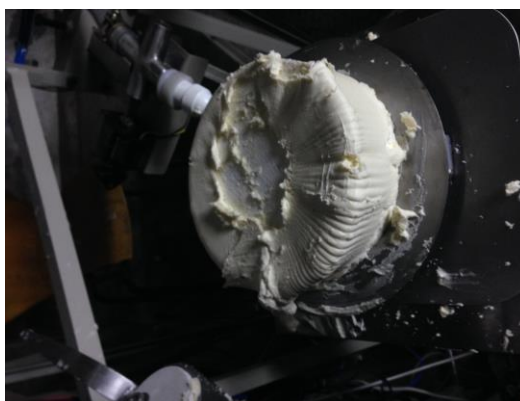
La programación en general se encuentra en el Anexo 10.

## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS DE PRUEBAS Y RESULTADOS

#### 4.1. PRIMERA PRUEBA DE COBERTURA

La foto de la primera prueba se muestra a continuación.



**Figura IV. 1:** Resultado de la prueba N° 1 de cobertura

**Fuente:** Autores

Como resultado se observa que existe un problema en la boquilla de decorado porque la crema no se distribuye hasta el centro del pastel. Además se forman bordes irregulares en el pastel formados por un lento movimiento de la mesa de posicionamiento. En el momento de la expulsión se escuchan micro expulsiones de aire, el mismo que al entrar en contacto con el pastel forma huecos en la cobertura.

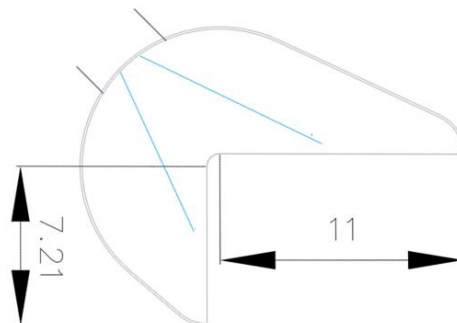


**Figura IV. 2:** Deformaciones causadas por ingreso de aire en la bomba recíprocante de la prueba N°1 de cobertura.

**Fuente:** Autores

Se llegó a la conclusión de que la crema no llega al centro del pastel debido a que se concentra en mayor cantidad en la mitad de la pinza, para lo que se propone seccionar internamente la boquilla para que tenga tres vías de salida y se distribuya uniformemente la crema.

Un problema grande es la intromisión de aire en la tolva, el mismo que aspira la bomba recíprocante y envía hacia el pastel. Se plantea tener la tolva siempre llena y en constante movimiento



**Figura IV. 3:** Plano de las divisiones de la boquilla de cobertura para un mejor terminado

**Fuente:** Autores

Se incrementa la velocidad de la mesa aumentando la frecuencia del PWM con el que se está controlando el motor de giro. Se describe la programación a continuación.

```
void mesa_giro()  
{  
  
    valor = digitalRead (fin_giro);
```

```
delay(10);  
if (valor ==1)  
{  
  valor = digitalRead (fin_giro);  
  delay(10);  
  while (valor !=0)  
  {  
    valor = digitalRead (fin_giro);  
    analogWrite (pul_giro,240);  
    delay(10);  
    analogWrite (pul_giro,0);  
    delay(10);  
  }  
  analogWrite (pul_giro,0);  
}
```

#### 4.2. SEGUNDA PRUEBA DE COBERTURA



**Figura IV. 4:** Resultado de la prueba N° 2 de cobertura  
**Fuente:** Autores

Se notó los siguientes cambios:

La crema ya se distribuyó hasta el centro del pastel.

La crema se terminaba antes de que el pastel girara una vuelta.

Hay deformidades en el punto final del decorado, por el movimiento de la boquilla en el retorno

Soluciones planteadas:

✓ Disminuir la longitud de las divisiones que se hicieron en la boquilla para que la crema tenga tiempo de volverse a redistribuir uniformemente.

✓ Aumentar la velocidad de rotación de la mesa para que sea el mismo tiempo que le toma al cilindro de la bomba recíproca, expulsar la totalidad de la crema.



✓ En la prueba anterior se modificó la velocidad de trabajo del cilindro. Cuando la velocidad es baja, no existe la suficiente presión para un acabado uniforme. Entonces la velocidad del cilindro se fijó en lo más rápido posible convirtiéndose en una constante y la variable es la velocidad de rotación de la mesa.



**Figura IV. 5:** Resultado, cuando la velocidad del cilindro está muy baja.  
**Fuente:** Autores

#### 4.3. TERCERA PRUEBA DE COBERTURA



**Figura IV. 6 :** Resultado de la prueba Nº 3 de cobertura  
**Fuente:** Autores

Se observa un mejor terminado, se completa el ciclo de rotación al mismo tiempo que el de expulsión y por lo tanto el pastel se decora completamente.

En esta ocasión se tiene que en el punto final donde se termina la cobertura queda desigual debido a que la misma boquilla de cobertura deja una huella en el momento que retorna a su posición inicial luego de concluir el ciclo de cobertura.

Se sugiere arreglar este inconveniente, aumentándole media revolución al ciclo de rotación de la mesa. También se podría desplazar la mesa verticalmente hacia abajo.

#### 4.4. RESULTADOS FINALES

Se muestra las siguientes imágenes del producto final que entrega la máquina y una tabla de resultados del sistema automático versus un pastelero experto.



**Figura IV. 7:** Producto Terminado del Proceso de Cobertura  
**Fuente:** Autores



**Figura IV. 8:** Proceso de Decoración  
**Fuente:** Autores

**Tabla IV.1:** Tabla de resultados finales. Variable tiempo.  
**Fuente:** Autores

Realizador / Procesos	<b>Pastelero Experto</b>	<b>Sistema Automático</b>
<b>Proceso de Cobertura</b>	7 minutos	2 segundos
<b>Proceso de Decoración</b>	3 minutos	2 minutos
<b>Total proceso</b>	10 minutos	2.03 minutos

El tiempo se redujo cuantiosamente gracias a la implementación de este sistema automático.

## 5. CONCLUSIONES

- ✓ En el motor paso a paso que controla el movimiento de la mesa en sentido vertical, se observó que el mismo número de pasos para un desplazamiento vertical y para uno horizontal, no tenían el mismo resultado en cuánto a distancia recorrida. Concluyendo que las fuerzas afectan considerablemente pese al uso de motores paso a paso. Se corrige este error calculando manualmente cuantos pasos necesita que del motor para cumplir su recorrido tanto a la ida como a la vuelta.
- ✓ La inclusión de sensores fue indispensable ya que muchos procesos se hacían en mayor o menor tiempo al esperado, tal es así que si solo se hubiera trabajado en función al tiempo, se habrían presentado más errores y se requeriría más líneas de programación.
- ✓ La calidad de la cobertura del decorado depende mucho de la velocidad de expulsión de la crema. A mayor velocidad se aglomeran las partículas y se forma un decorado uniforme, si se baja la velocidad se llega a un punto donde la crema no circula a todos los lados de la boquilla provocando imperfecciones del decorado.
- ✓ La velocidad de rotación de la crema es otro factor que influye sobre la calidad del terminado en el proceso de cobertura, es así que si la mesa gira muy rápido, la crema no avanza a distribuirse uniformemente y si es muy lento la crema se aglomera y se frena el movimiento de la mesa y el pastel se remuerde contra la boquilla.
- ✓ Los tiempos de proceso son imposibles de alcanzar con un proceso manual, lo cual favorece mucho a la gran utilidad del sistema presente, la calidad el terminado también resulta poco probable de lograr por un operario

## 6. RECOMENDACIONES

- ✓ Los estudios iniciales de selección de materiales deben hacerse para cada uno de los materiales. Si algún elemento se compra arbitrariamente se corre el riesgo de que no sea el adecuado para el trabajo que va a cumplir.
- ✓ Es de vital importancia conocer las características y comportamiento de la crema de decoración para que no existan inconvenientes a la hora de hacer el recubrimiento del pastel sobretodo. Una mezcla más sólida siempre provocará que hayas infiltraciones de aire en la bomba reciprocante. Una mezcla más suave y con menor viscosidad se resbalara fácilmente por la tolva y minimiza la posibilidad de aspiración de aire.
- ✓ Los motores paso a paso se controlan como tal o como motores normales con PWM. Es importante conocer y hacer pruebas para verificar el torque y al velocidad que alcanzan con cada control. En el presente proyecto fue de vital importancia para lograr las revoluciones óptimas en el tiempo adecuado y evitando que otro factor externo frene el movimiento continuo de la mesa, por ejemplo la aglomeración de crema.
- ✓ Al momento de iniciar los procesos se debe eliminar el aire que posiblemente este dentro del sistema, ya que si existe aire dentro de la bomba, hay una expulsión de aire por la boquilla, lo que daña el decorado, formando huecos en la cobertura.
- ✓ La limpieza correcta de la maquina es muy importante para evitar averías y mantener un ambiente sanitario alrededor de la misma. Lo que disminuirá el tiempo para el siguiente mantenimiento.

## 7. RESUMEN

El presente proyecto de tesis se lo realizó con la finalidad de ofrecer un producto innovador a la empresa alimenticia pastelera del Ecuador. Se logró reducir a un mínimo valor el tiempo de cobertura y decoración de pasteles, mejorando notoriamente la calidad del terminado. Se presenta esta propuesta diferente, basándonos en el alto crecimiento de la industria panadería y pastelería en el País y en la ciudad.

Se realizó el diseño reemplazando cada paso que realiza un pastelero con procesos automáticos. Se partió de cero, por lo que cada parte es única, no hubieron adaptaciones de otras máquinas. Dentro del sistema automático existen: parte mecánica, parte electrónica y parte neumática. Cada una es indispensable para que todo funcione en su totalidad.

Se logró obtener un tiempo de proceso de 10 segundos de proceso total de cobertura, y un tiempo neto de cobertura de 1.8 segundos. El terminado de la cobertura es excelente comparado a una decoración manual. El decorado con las boquillas de distintas figuras también resulta más rápido y de mejor calidad que el realizado por un pastelero. Los tiempos varían de acuerdo al tipo de decorado.

Factores como las velocidades de expulsión de la crema y de rotación de la mesa son directamente responsables de la calidad del producto final.

Se recomienda una adecuada limpieza del sistema luego de su uso.

## 8. SUMMARY

This thesis project was made in order to offer an innovative product to the pastry food company of Ecuador. Now the time needed for coverage and cake decorating is minimal, notably by improving the quality of the finished. This different approach is presented, based on the high growth of the bakery industry in the country and the city.

Design was done by replacing each step performed a pastry with automatic processes. We started from zero, so that each part is unique, there were no adjustments to other machines. Within the automated system are: mechanics, electronics and pneumatic components. Each is essential to make things work in its entirety.

It was possible to obtain a processing time of 10 seconds of complete process coverage and net coverage time 1.8 seconds. The finished cover is excellent compared to a manual decoration. The nozzles decorated with various figures is also faster and better quality than by a baker. Times vary according to the type of decoration.

Factors such as the speed of expulsion of cream and rotation of the table are directly responsible for the quality of the final product.

Thorough cleaning of the system after use is recommended.

## 9. GLOSARIO

### **BOMBA RECIPROCANTE**

Son máquinas que suministran presión a un líquido por acción de un pistón o embolo en un cilindro.

### **TEFLON SANITARIO**

El Teflón PTFE es un polímero de alto peso molecular. Es considerado uno de los más versátiles dentro de los materiales plásticos conocidos y su utilidad se extiende a un gran rango de productos, para aplicaciones en las cuales otros materiales no pueden ser utilizados.

Se le atribuye la propiedad de sanitario ya que **no es tóxico**, no contamina ni absorbe humedad.

### **PROCESO DE COBERTURA DE PASTEL**

La cobertura de un pastel es el proceso previo a la decoración misma del pastel en la cual se cubre la parte superior y los bordes con crema pastelera de diferentes sabores y consistencias la cual debe ir acorde a la decoración próxima a realizarse.

### **PROCESO DE DECORADO DE PASTEL**

Es por decirlo así el toque final que recibe el pastel, la decoración se la realiza con infinidad de elementos en su mayoría comestibles, en este proceso se utiliza cremas, colorantes principalmente, que son aplicados con diferentes tipos de boquillas para lograr el acabado deseado.

## **BOQUILLAS DE DECORACION DE PASTEL**

Son unas piezas con formas cónicas diseñadas para encajar en el extremo estrecho de las mangas pasteleras, con las cuales conseguimos una gran variedad de efectos decorativos en tartas o para dar forma a masas y galletas.**FERRULE**

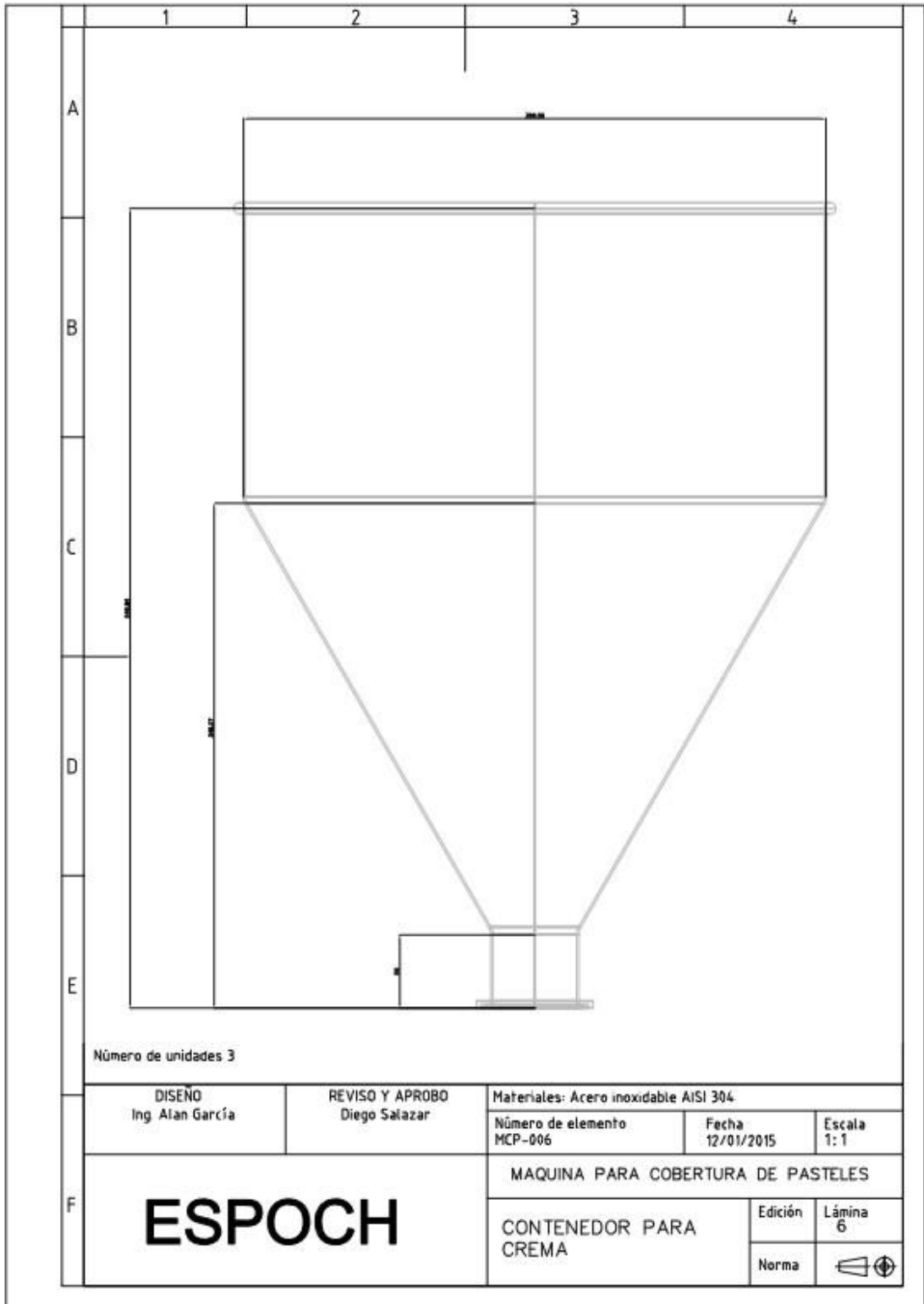
Los "Ferrules" son esencialmente anillos de metal utilizados para apoyar a otros objetos. Tienen tres usos principales: como gorras, como soportes o como adaptadores.




## **10. ANEXOS**

# **ANEXO 1**

**PLANO DE TOLVAS DE ALMACENAMIENTO**

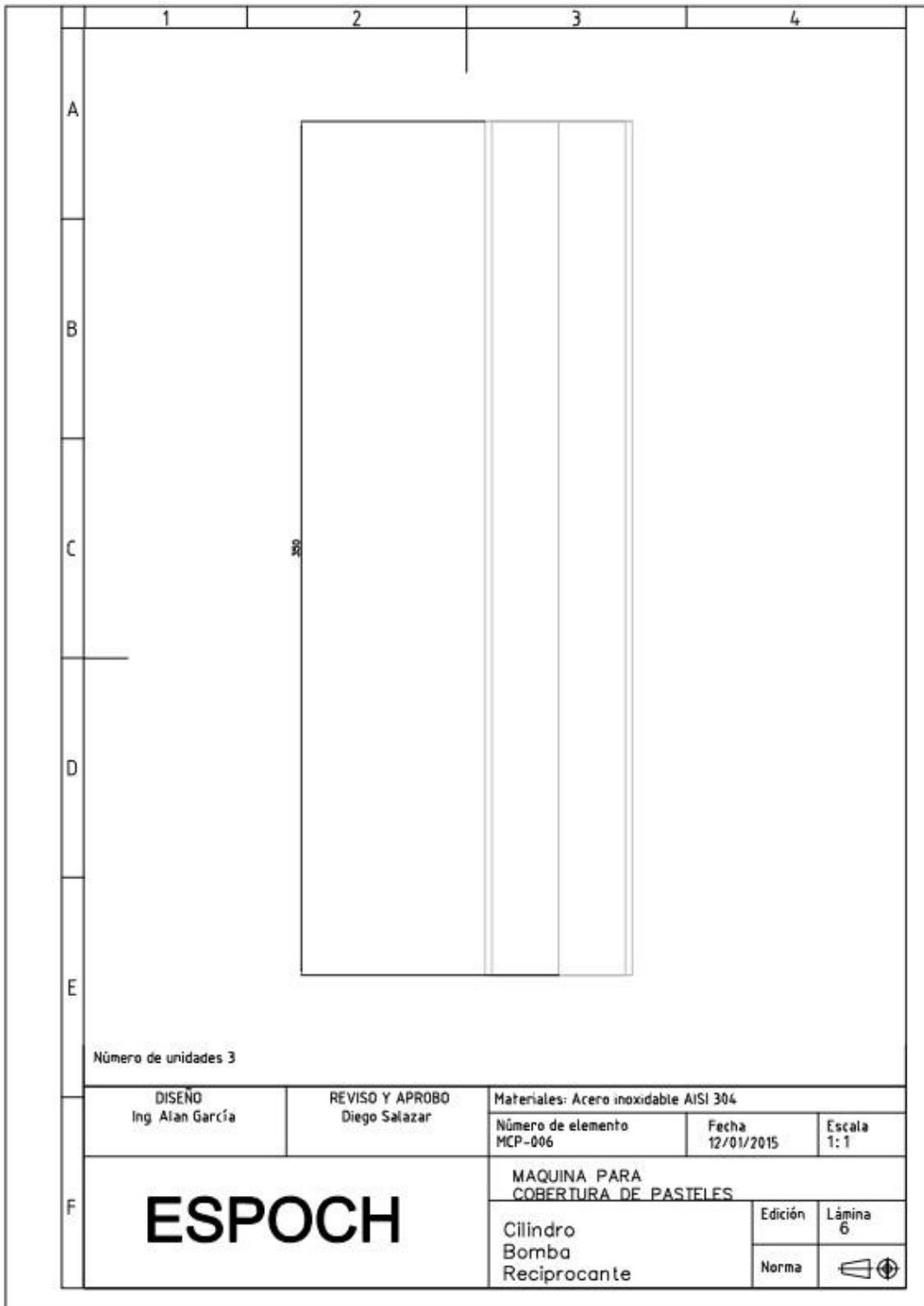


Número de unidades 3

<b>F</b>	DISEÑO Ing. Alan García	REVISO Y APROBO Diego Salazar	Materiales: Acero inoxidable AISI 304		
			Número de elemento MCP-006	Fecha 12/01/2015	Escala 1:1
	<b>ESPOCH</b>		MAQUINA PARA COBERTURA DE PASTELES		
			CONTENEDOR PARA CREMA		Edición Lámina 6
		Norma			

# **ANEXO 2**

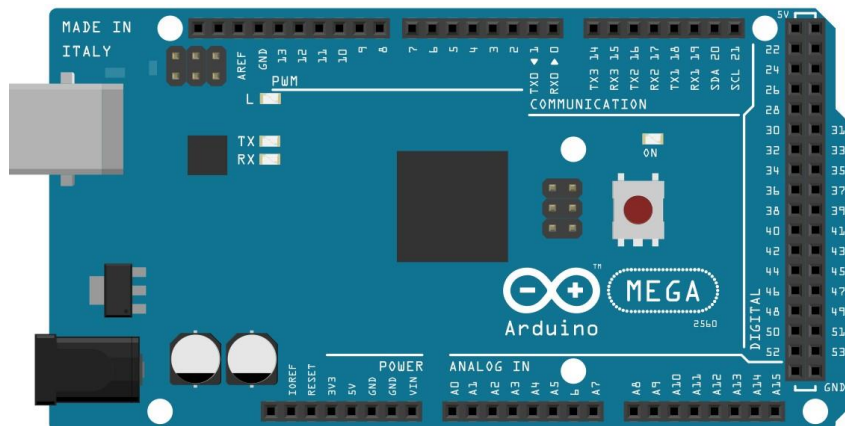
**PLANO BOMBA RECIPROCANTE**



# **ANEXO 3**

**ARDUINO MEGA 2560**

Arduino Mega 2560 es una versión ampliada de la tarjeta original de Arduino y está basada en el microcontrolador Atmega2560.



Dispone de 54 entradas/salidas digitales, 14 de las cuales se pueden utilizar como salidas PWM (modulación de anchura de pulso). Además dispone de 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertas series), un oscilador de 16MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un conector ICSP y un pulsador para el reset. Para empezar a utilizar la placa sólo es necesario conectarla al ordenador a través de un cable USB, o alimentarla con un adaptador de corriente AC/DC. También, para empezar, puede alimentarse mediante una batería.

*Una de las diferencias principales de la tarjeta Arduino MEGA 2560 es que no utiliza el convertidor USB-serie de la firma FTDI. Por lo contrario, emplea un microcontrolador Atmega8U2 programado como actuar convertidor USB a serie. Esta placa debido a su gran poder es utilizada para grandes proyectos, entre los más importantes se encuentran los de DOMOTICA e IMPRESORAS 3D*

El Arduino MEGA2560 es compatible con la mayoría de los SHIELD o tarjetas de aplicación/ampliación disponibles para las tarjetas Arduino UNO original.

Las características principales son:

- Microprocesador ATmega2560
- Tensión de alimentación (recomendado) 7-12V
- Integra regulación y estabilización de +5Vcc
- 54 líneas de Entradas/Salidas Digitales (14 de ellas se pueden utilizar como salidas PWM)
- 16 Entradas Analógicas
- Máxima corriente continua para las entradas: 40 mA
- Salida de alimentación a 3.3V con 50 mA
- Memoria de programa de 256Kb (el bootloader ocupa 8Kb)
- Memoria SRAM de 8Kb para datos y variables del programa
- Memoria EEPROM para datos y variables no volátiles
- Velocidad del reloj de trabajo de 16MHz
- Reducidas dimensiones de 100 x 50 mm

## **ALIMENTACIÓN**

El Arduino Mega puede ser alimentado vía la conexión USB o con una fuente de alimentación externa. El origen de la alimentación se selecciona automáticamente. Las fuentes de alimentación externas (no-USB) pueden ser tanto un transformador o una batería. El transformador se puede conectar usando un conector macho de

2.1mm con centro positivo en el conector hembra de la placa. Los cables de la batería pueden conectarse a los pines Gnd y Vin en los conectores de alimentación (POWER)



La placa puede trabajar con una alimentación externa de entre 6 a 20 voltios. Si el voltaje suministrado es inferior a 7V, el pin de 5V puede proporcionar menos de 5 Voltios y la placa puede volverse inestable; si se usan más de 12V los reguladores de voltaje se pueden sobrecalentar y dañar la placa. El rango recomendado es de 7 a 12 voltios.

Los pines de alimentación son los siguientes:

- **VIN.** La entrada de voltaje a la placa Arduino cuando se está usando una fuente externa de alimentación (en opuesto a los 5 voltios de la conexión USB). Se puede proporcionar voltaje a través de este pin, o, si se está alimentando a través de la conexión de 2.1mm, acceder a ella a través de este pin.
- **5V.** La fuente de voltaje estabilizado usado para alimentar el microcontrolador y otros componentes de la placa. Esta puede provenir de VIN a través de un regulador integrado en la placa, o proporcionada directamente por el USB u otra fuente estabilizada de 5V.
- **3V3.** Una fuente de voltaje de 3.3 voltios generada por un regulador integrado en la placa. La corriente máxima soportada 50mA.
- **GND.** Pines de toma de tierra.

## **Memoria**

El ATmega2560 tiene 256KB de memoria flash para almacenar código (8KB son usados para el arranque del sistema (bootloader)). El ATmega2560 tiene 8 KB de

memoria SRAM y 4KB de EEPROM, a la cual se puede acceder para leer o escribir con la librería EEPROM.

## **Entradas y Salidas**

Cada uno de los 54 pines digitales en el Mega pueden utilizarse como entradas o como salidas usando las funciones `pinMode()`, `digitalWrite()`, y `digitalRead()`. Las E/S operan a 5 voltios. Cada pin puede proporcionar o recibir una intensidad máxima de 40mA y tiene una resistencia interna de pull-up (desconectada por defecto) de 20-50kOhms. Además, algunos pines tienen funciones especializadas:

- **Serie: 0 (RX) y 1 (TX), Serie 1: 19 (RX) y 18 (TX); Serie 2: 17 (RX) y 16 (TX); Serie 3: 15 (RX) y 14 (TX).** Usados para recibir (RX) transmitir (TX) datos a través de puerto serie TTL. Los pines Serie: 0 (RX) y 1 (TX) están conectados a los pines correspondientes del chip FTDI USB-to-TTL.
- **Interrupciones Externas: 2 (interrupción 0), 3 (interrupción 1), 18 (interrupción 5), 19 (interrupción 4), 20 (interrupción 3), y 21 (interrupción 2).** Estos pines se pueden configurar para lanzar una interrupción en un valor LOW (0V), en flancos de subida o bajada (cambio de LOW a HIGH (5V) o viceversa), o en cambios de valor. Ver la función `attachInterrupt ()` para más detalles.
- **PWM: de 0 a 13.** Proporciona una salida PWM (Pulse Wave Modulation, modulación de onda por pulsos) de 8 bits de resolución (valores de 0 a 255) a través de la función `analogWrite ()`.

- **SPI: 50 (SS), 51 (MOSI), 52 (MISO), 53 (SCK).** Estos pines proporcionan comunicación SPI, usando la librería.
- **LED: 13.** Hay un LED integrado en la placa conectado al pin digital 13, cuando este pin tiene un valor HIGH(5V) el LED se enciende y cuando este tiene un valor LOW(0V) este se apaga.

El Mega tiene 16 entradas analógicas, y cada una de ellas proporciona una resolución de 10bits (1024 valores). Por defecto se mide desde 0V a 5V, aunque es posible cambiar la cota superior de este rango usando el pin AREF y la función `analogReference()`.

- **I2C: 20 (SDA) y 21 (SCL).** Soporte para el protocolo de comunicaciones I2C (TWI) usando la librería `Wire`.
- **AREF.** Voltaje de referencia para las entradas analógicas. Usado por `analogReference ()`.
- **Reset.** Suministrar un valor LOW (0V) para reiniciar el microcontrolador.

Típicamente usado para añadir un botón de reset a los shields que no dejan acceso a este botón en la placa.

## Comunicaciones

EL Arduino Mega facilita en varios aspectos la comunicación con la PC, otro Arduino u otros microcontroladores. El ATmega2560 proporciona cuatro puertos de comunicación vía serie UART TTL (5V). Un ATmega16U2 integrado en la placa canaliza esta comunicación serie a través del puerto USB y los drivers (incluidos en el software de Arduino) proporcionan un puerto serie virtual en el ordenador. El software incluye un monitor de puerto serie que permite enviar y recibir

información textual de la placa Arduino. Los LEDs RX y TX de la placa parpadearán cuando se detecte comunicación transmitida través de la conexión USB (no parpadearán si se usa la comunicación serie a través de los pines 0 y 1). La librería `SoftwareSerial` permite comunicación serie por cualquier par de pines digitales del Mega.

El ATmega2560 también soporta la comunicación I2C (TWI) y SPI. El software de Arduino incluye una librería `Wire` para simplificar el uso del bus I2C, ver la documentación para más detalles. Para el uso de la comunicación SPI, ver la hoja de especificaciones (datasheet) del ATmega2560.

## **Programación**

El Arduino Mega se puede programar con el software Arduino (descargar). Para más detalles ver referencia y tutoriales.

El ATmega2560 en el Arduino Mega viene precargado con un gestor de arranque (bootloader) que permite cargar nuevo código sin necesidad de un programador por hardware externo. Se comunica utilizando el protocolo STK500 original (referencia, archivo de cabecera C).

También puede evitarse el gestor de arranque y programar directamente el microcontrolador a través del puerto ICSP (In Circuit Serial Programming); para más detalles ver estas instrucciones.

## **Reinicio Automático por Software**

En vez de necesitar reiniciar presionando físicamente el botón de reset antes de cargar, el Arduino Mega está diseñado de manera que es posible reiniciar por software desde el ordenador donde esté conectado. Una de las líneas de control de flujo (DTR) del ATmega16U2 está conectada a la línea de reinicio del ATmega2560 a través de un condensador de 100 nanofaradios. Cuando la línea se pone a LOW (0V), la línea de reinicio también se pone a LOW el tiempo suficiente para reiniciar el chip. El software de Arduino utiliza esta característica para permitir cargar los sketches con solo apretar un botón del entorno. Dado que el gestor de arranque tiene un lapso de tiempo para ello, la activación del DTR y la carga del sketch se coordinan perfectamente.

Esta configuración tiene otras implicaciones. Cuando el Mega se conecta a un ordenador con Mac OS X o Linux, esto reinicia la placa cada vez que se realiza una conexión desde el software (vía USB). El medio segundo aproximadamente posterior, el gestor de arranque se está ejecutando. A pesar de estar programado para ignorar datos mal formateados (ej. cualquier cosa que la carga de un programa nuevo) intercepta los primeros bytes que se envían a la placa justo después de que se abra la conexión. Si un sketch ejecutándose en la placa recibe algún tipo de configuración inicial u otro tipo de información al inicio del programa, debe asegurarse de que el software con el cual se comunica espera un segundo después de abrir la conexión antes de enviar los datos.

El Mega contiene una pista que puede ser cortada para deshabilitar el auto-reset. Las terminaciones a cada lado pueden ser soldadas entre ellas para rehabilitarlo. Están etiquetadas con "RESET-EN". También se puede deshabilitar el auto-reset conectando una resistencia de 110 ohm desde el pin 5V al pin de reset.

### **Protección contra sobrecorrientes en USB**

El Arduino Mega tiene un multifusible reinicializable que protege la conexión USB del PC de cortocircuitos y sobretensiones. Aparte de que la mayoría de ordenadores proporcionan su propia protección interna, el fusible proporciona una capa extra de protección. Si más de 500mA son detectados en el puerto USB, el fusible automáticamente corta la conexión hasta que el cortocircuito o la sobretensión desaparecen.

.

### **Características Físicas y Compatibilidad de Shields**

La longitud y amplitud máxima de la placa Mega 2560 son de 4 y 2.1 pulgadas respectivamente, con el conector USB y la conexión de alimentación sobresaliendo de estas dimensiones. Tres agujeros para fijación con tornillos permiten colocar la placa en superficies y cajas. Tener en cuenta que la distancia entre los pines digitales 7 y 8 es 160 mil (0,16"), no es múltiplo de la separación de 100 mil entre los otros pines.

# **ANEXO 4**

Especificaciones Técnicas Motor

# Nema 23 Stepper Motor

Rev: A

Date:

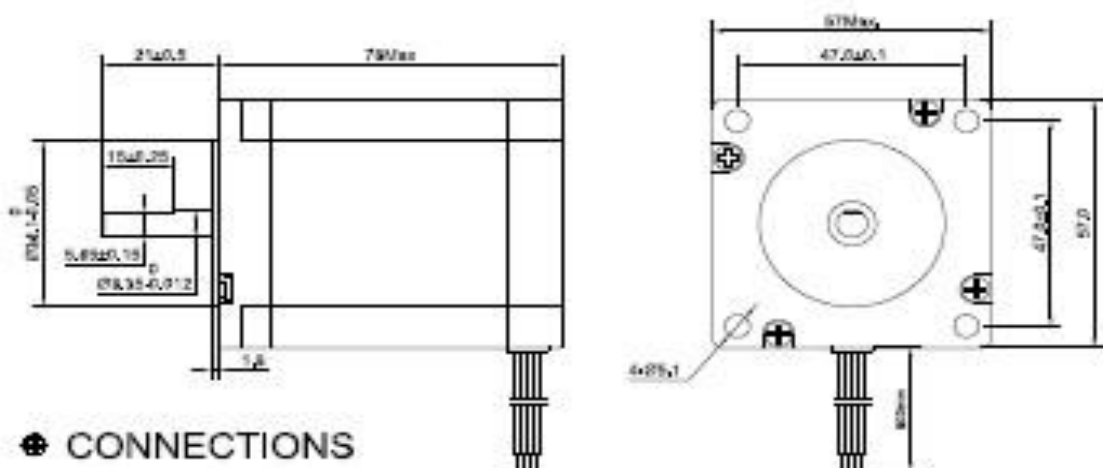
## COMMON RATINGS

Step angle :	1.8°	Dielectric strength :	500VAC
Positional accuracy :	±5%	Insulation resistance :	100Mohm(500VDC)
Number of Phase :	2	Ambient Temperature :	-10℃-50℃
Temperature rise :	80℃MAX	Insulation class :	B
Rotor Inertia :	440gcm <sup>2</sup>	Weight :	1.1Kg

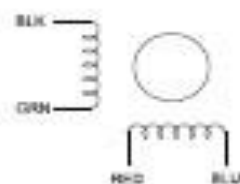
## SPECIFICATIONS

Holding Torque ( 2 phases on ) Nm	Rated Current/Phase (Amps DC )	Phase Resistance ( ohms ) ±10%	Voltage Current/Phase ( V DC )	Phase Inductance ( mH ) ±20%(1KHz) Typical
1.89	2.8	1.13	3.2	5.4

## DIMENSIONS unit=mm



## CONNECTIONS



					23HS30-2804S		技术规格书	
标题	数量	分区	更改文件号	版本	日期			
设计			初版化					



# **ANEXO 5**

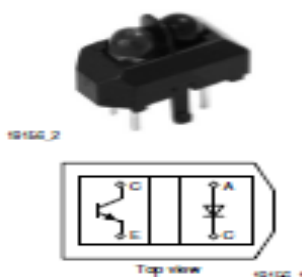
Sensor TCRT500



# TCRT5000, TCRT5000L

Vishay Semiconductors

## Reflective Optical Sensor with Transistor Output



### FEATURES

- Package type: loaded
- Detector type: phototransistor
- Dimensions (L x W x H in mm): 10.2 x 5.8 x 7
- Peak operating distance: 2.5 mm
- Operating range within > 20 % relative collector current: 0.2 mm to 15 mm
- Typical output current under test:  $I_C = 1$  mA
- Daylight blocking filter
- Emitter wavelength: 950 nm
- Lead (Pb)-free soldering released
- Compliant to RoHS directive 2002/95/EC and in accordance to WEEE 2002/96/EC



RoHS COMPLIANT

### DESCRIPTION

The TCRT5000 and TCRT5000L are reflective sensors which include an infrared emitter and phototransistor in a loaded package which blocks visible light. The package includes two mounting clips. TCRT5000L is the long lead version.

### APPLICATIONS

- Position sensor for shaft encoder
- Detection of reflective material such as paper, IBM cards, magnetic tapes etc.
- Limit switch for mechanical motions in VCR
- General purpose - wherever the space is limited

### PRODUCT SUMMARY

PART NUMBER	DISTANCE FOR MAXIMUM CTR <sub>ref</sub> (1) (mm)	DISTANCE RANGE FOR RELATIVE I <sub>ref</sub> > 20 % (mm)	TYPICAL OUTPUT CURRENT UNDER TEST (2) (mA)	DAYLIGHT BLOCKING FILTER INTEGRATED
TCRT5000	2.5	0.2 to 15	1	Yes
TCRT5000L	2.5	0.2 to 15	1	Yes

#### Notes

(1) CTR: current transfer ratio,  $I_{out}/I_E$

(2) Conditions like in table basic characteristics/sensors

### ORDERING INFORMATION

ORDERING CODE	PACKAGING	VOLUME (1)	REMARKS
TCRT5000	Tube	MOQ: 4500 pcs, 50 pcs/tube	3.5 mm lead length
TCRT5000L	Tube	MOQ: 2400 pcs, 48 pcs/tube	15 mm lead length

#### Note

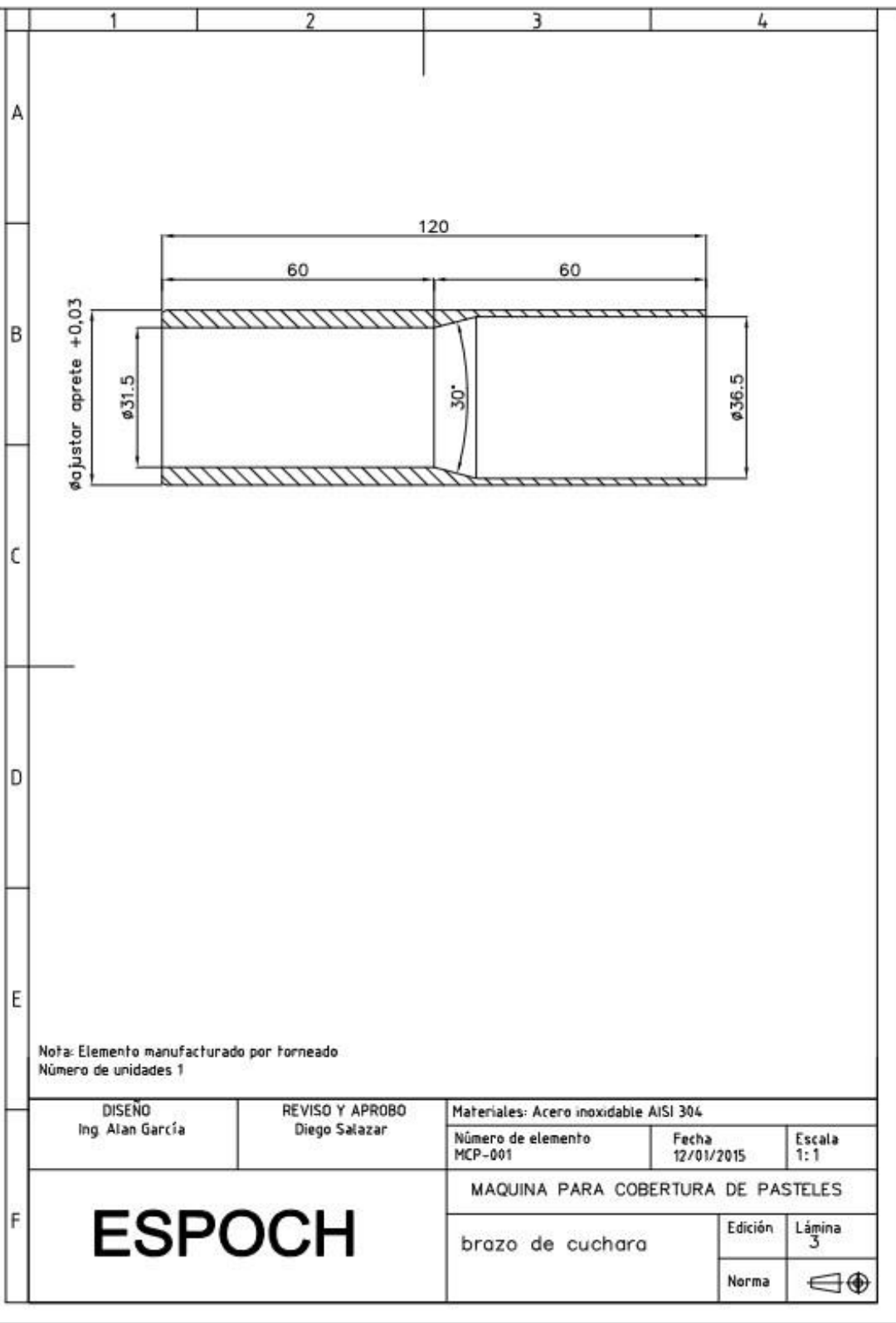
(1) MOQ: minimum order quantity

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (1)

PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
<b>INPUT (EMITTER)</b>				
Reverse voltage		$V_{CE}$	5	V
Forward current		$I_C$	60	mA
Forward surge current	$t_p < 10 \mu s$	$I_{CSUR}$	3	A
Power dissipation	$T_{amb} < 25 \text{ }^\circ\text{C}$	$P_D$	100	mW
Junction temperature		$T_J$	100	$^\circ\text{C}$

# **ANEXO 6**

Plano del brazo de  
boquilla

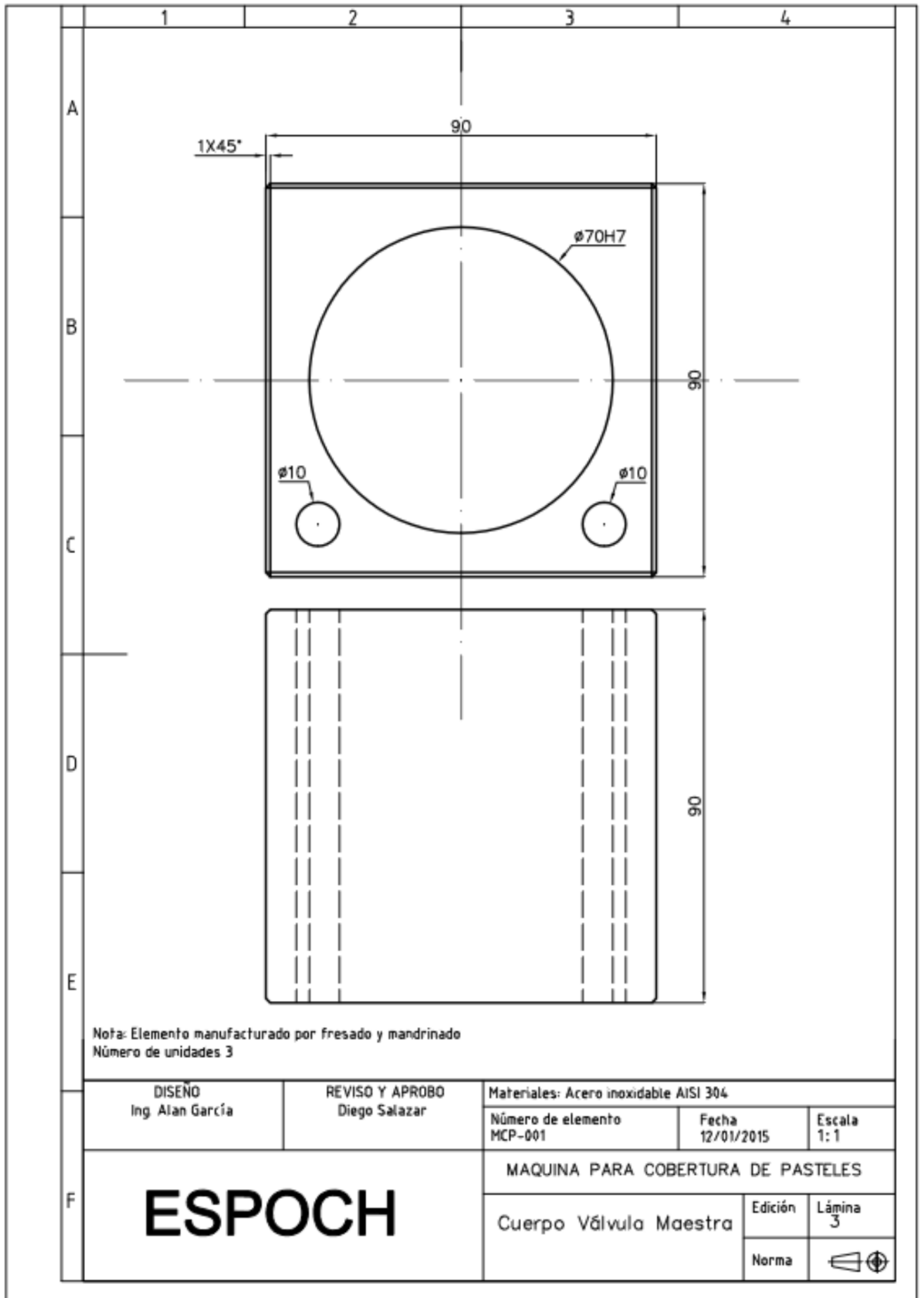


Nota: Elemento manufacturado por torneado.  
Número de unidades 1

F	DISEÑO Ing. Alan García	REVISO Y APROBO Diego Salazar	Materiales: Acero inoxidable AISI 304		
	<h1>ESPOCH</h1>		Número de elemento MCP-001	Fecha 12/01/2015	Escala 1: 1
MAQUINA PARA COBERTURA DE PASTELES					
brazo de cuchara			Edición	Lámina 3	
		Norma			

# **ANEXO 7**

**Cuerpo Válvula  
Maestra**

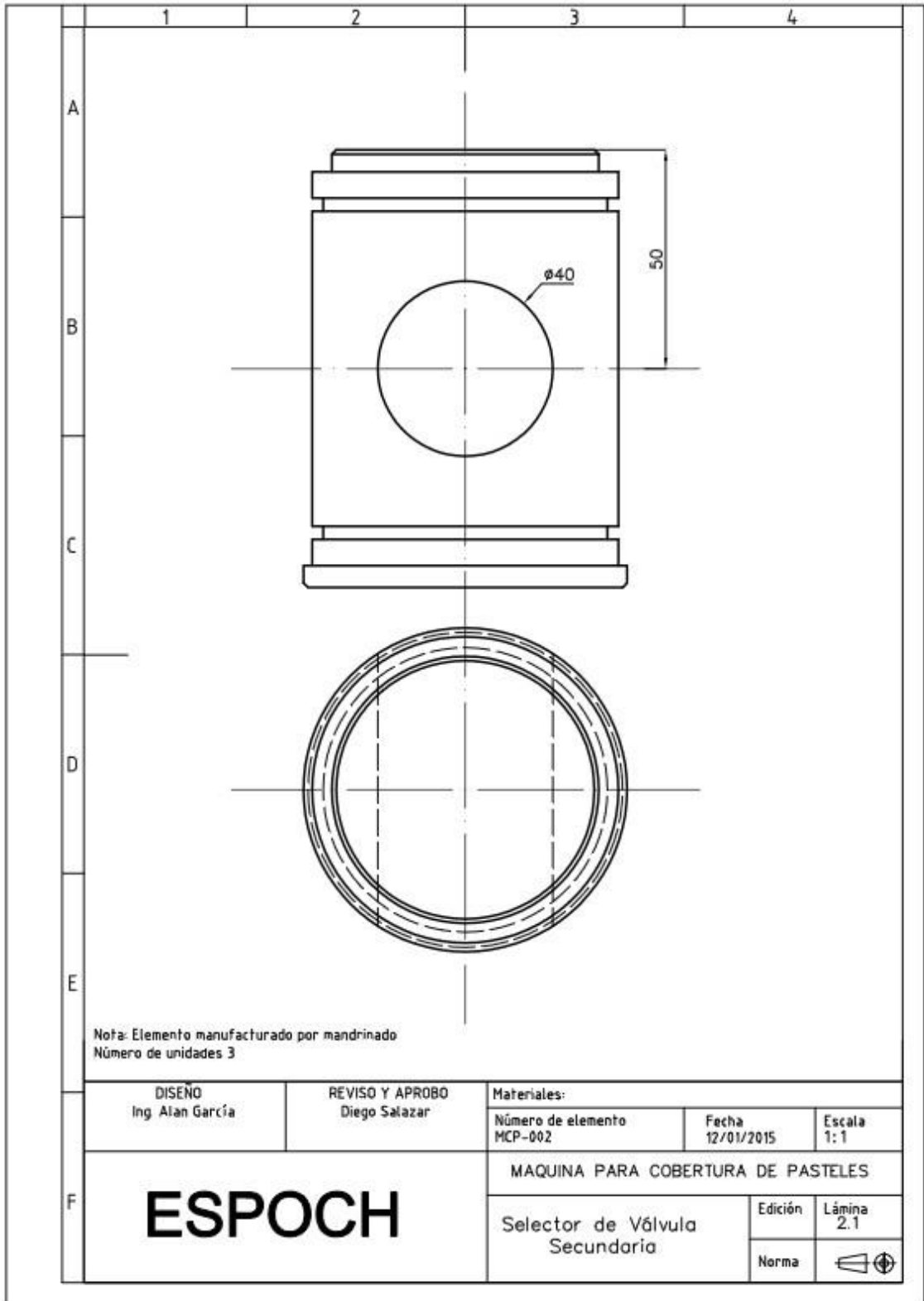


Nota: Elemento manufacturado por fresado y mandrinado  
 Número de unidades 3

F	DISEÑO Ing. Alan García	REVISO Y APROBO Diego Salazar	Materiales: Acero inoxidable AISI 304		
			Número de elemento MCP-001	Fecha 12/01/2015	Escala 1:1
	<b>ESPOCH</b>		MAQUINA PARA COBERTURA DE PASTELES		
			Cuerpo Válvula Maestra		Edición 3
		Norma			

# **ANEXO 8**

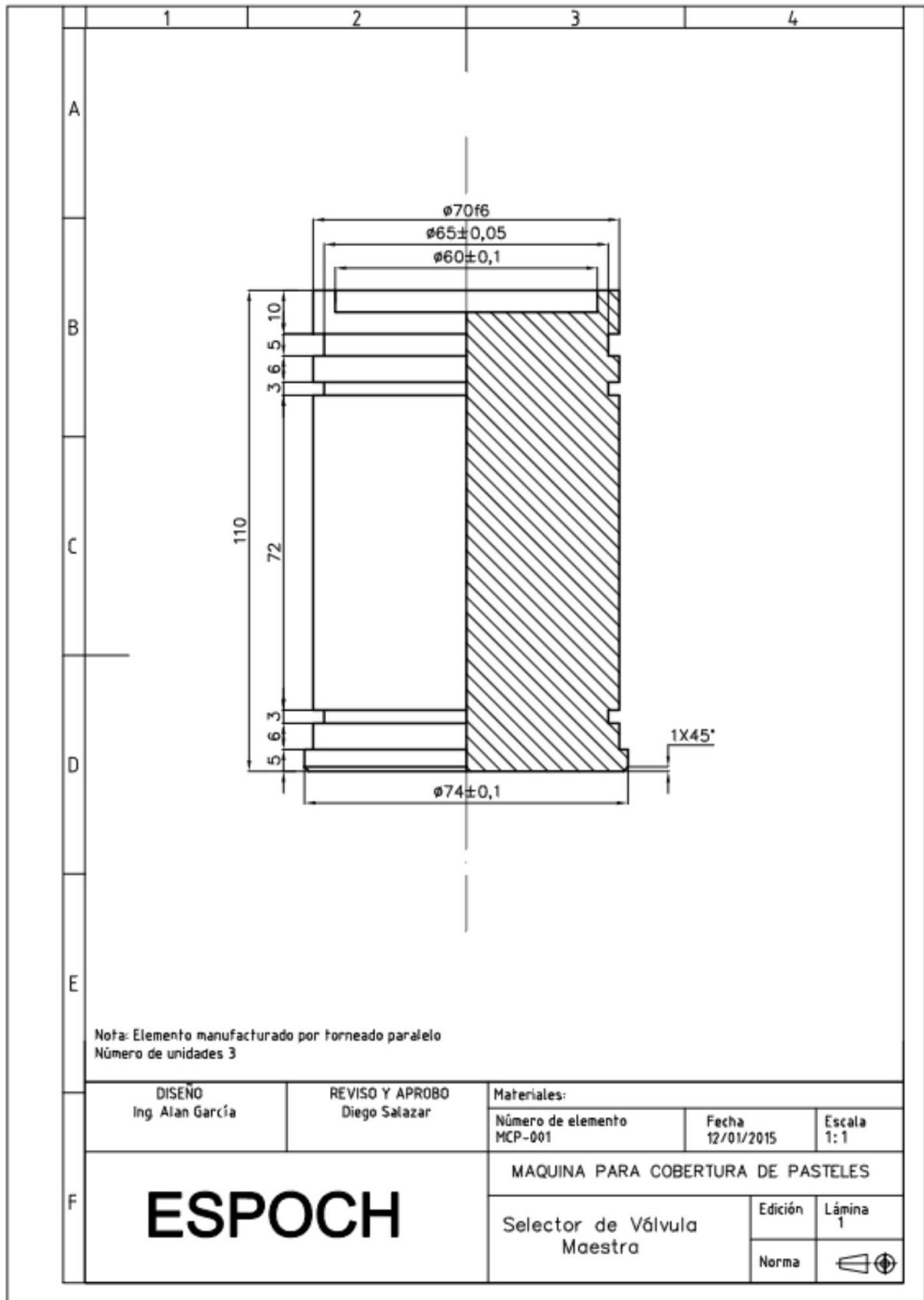
**Selector de válvula secundaria**





# **ANEXO 9**

**Selector de válvula  
maestra**



Nota: Elemento manufacturado por torneado paralelo  
Número de unidades 3

F	DISEÑO Ing. Alan García	REVISO Y APROBO Diego Salazar	Materiales:		
			Número de elemento MCP-001	Fecha 12/01/2015	Escala 1:1
<b>ESPOCH</b>			MAQUINA PARA COBERTURA DE PASTELES		
			Selector de Válvula Maestra		Edición 1
			Norma		

# **ANEXO 10**

**Programación  
Arduino**

```

// LIBRERIAS
//-----
#include <Keypad.h>
#include <LiquidCrystal.h>
//-----
// DECLARACIONES
//-----
LiquidCrystal lcd(A8, A9, A10, A11, A12, A13);
const byte ROWS = 4; //4 filas const byte COLS = 4; //4 columnas char keys[ROWS][COLS] = {
{'1','2','3','A'},
{'4','5','6','B'},
{'7','8','9','C'},
{'*','0','#','D'}
};
byte rowPins[ROWS] = {A7, A6, A5, A4}; //pines de las filas del teclado
byte colPins[COLS] = {A3, A2, A1, A0}; //pines de las columnas del teclado
Keypad keypad = Keypad( makeKeymap(keys), rowPins, colPins, ROWS, COLS );
//VARIABLES
unsigned long loopCount; unsigned long startTime; string msg;
bool band_saludo;
char key; int valor; int valorr1;
int sen_a0;
int sen_a1;
int sen_val_a0; int sen_val_a1; int sen_b0;
int sen_b1;
int sen_val_b0; int sen_val_b1; int sen_c0;
int sen_c1;
int sen_val_c0;
int sen_val_c1;
int sen_fin_superior; int sen_fin_inferior; int sen_fin_giro;
//SALIDAS
const int C_A1= 22; const int C_A0= 24; const int C_C0= 26; const int C_C1= 28; const int C_B0= 30; const int C_B1= 32; const int
C_VAL_C= 34; const int C_VAL_B= 36; const int sal_9= 38; const int sal_10= 40; const int sal_11= 42; const int sal_12= 44; const int
sal_13= 46; const int C_VAL_A= 48;
const int SOLEN_B= 50;
const int SOLEN_C= 52;
const int pul_vert= 13; const int pul_giro= 10; const int dir_vert= 12; const int dir_giro= 9; const int ena_vert= 11; const int ena_giro= 8;

// ENTRADAS
const int E_A0 = 49; const int E_A1 = 47; const int VAL_A0 = 45; const int VAL_A1 = 43; const int VAL_B1 = 41; const int VAL_B0 = 39;
const int E_B1 = 25; const int E_B0 = 37; const int VAL_C1 = 33; const int VAL_C0 = 31; const int E_C1 = 29; const int E_C0 = 27;
const int emergencia = A15;
const int inicio = 53;
const int paro = 51;
const int fin_superior = 20; const int fin_inferior = 21; const int fin_giro = 19;
//-----
// FUNCIONES
//-----

void reset_salidas();

char teclado(); void prueba_sal(); void modo_manual(); void decorado();
void mesa_giro_derecha(); void mesa_giro_izquierda(); void mesa_vert_sube();
void mesa_vert_baja();
void entradas();
void mesa_pos_ini();
void mesa_vert_ini();
//-----
// FUNCION SETUP
//----- void setup()
{
Serial.begin(9600);
Keypad.addEventListener(keypadEvent);
loopCount = 0; startTime = millis(); msg = ""; lcd.begin(16, 2); band_saludo = 0; key=' ';
pinMode(C_A1, OUTPUT); pinMode(C_A0, OUTPUT); pinMode(C_C0, OUTPUT); pinMode(C_C1, OUTPUT); pinMode(C_B0,
OUTPUT); pinMode(C_B1, OUTPUT); pinMode(C_VAL_C, OUTPUT); pinMode(C_VAL_B, OUTPUT); pinMode(sal_9, OUTPUT);
pinMode(sal_10, OUTPUT); pinMode(sal_11, OUTPUT); pinMode(sal_12, OUTPUT); pinMode(sal_13, OUTPUT); pinMode
(C_VAL_A, OUTPUT); pinMode(SOLEN_B, OUTPUT); pinMode(SOLEN_C, OUTPUT); pinMode(dir_vert, OUTPUT); pinMode
(dir_giro, OUTPUT); pinMode(ena_vert, OUTPUT); pinMode(ena_giro, OUTPUT);

pinMode(E_A0, INPUT_PULLUP); pinMode(E_A1, INPUT_PULLUP); pinMode(VAL_A0, INPUT_PULLUP); pinMode
(VAL_A1, INPUT_PULLUP); pinMode(VAL_B1, INPUT_PULLUP); pinMode(VAL_B0, INPUT_PULLUP); pinMode(E_B1,
INPUT_PULLUP); pinMode(E_B0, INPUT_PULLUP); pinMode(VAL_C1, INPUT_PULLUP); pinMode(VAL_C0, INPUT_PULLUP);
pinMode(E_C1, INPUT_PULLUP);
pinMode(E_C0, INPUT_PULLUP); pinMode(fin_superior, INPUT_PULLUP); pinMode(fin_inferior, INPUT_PULLUP); pinMode
(fin_giro, INPUT_PULLUP); pinMode(inicio, INPUT_PULLUP); pinMode(paro, INPUT_PULLUP); pinMode
(emergencia, INPUT_PULLUP); pinMode(pul_giro, OUTPUT); pinMode(pul_vert, OUTPUT);
digitalWrite(dir_vert, HIGH); digitalWrite(dir_giro, HIGH); digitalWrite(ena_vert, LOW); digitalWrite(ena_giro, LOW);

```

```

reset_salidas();
}

//-----
// FUNCION PRINCIPAL
//-----

void loop()
{
//prueba_sal(); entradas(); delay (1000);
if (band_saludo ==0)
{
lcd.clear();
lcd.print(" Bienvenido");
delay (1000); lcd.clear(); lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(" COMPROBANDO"); lcd.setCursor(0,1); lcd.print("ENTRADAS-SALIDAS"); delay (500);
//prueba_sal();
band_saludo =1;
}
lcd.clear(); lcd.setCursor(0,0); lcd.print("Ingrese Comando"); lcd.setCursor(0,1); lcd.print(key);
delay (1000);
key = teclado();

if (key == 'A')
{
lcd.clear(); lcd.setCursor(0,0); lcd.print("Ingrese Valor"); lcd.setCursor(0,1); lcd.print("");
lcd.print(key);
delay (1000);
key = teclado();
modo_manual(key);
}
valor = digitalRead (inicio);
if ( valor == 1)
{
lcd.clear(); lcd.setCursor(0,0); lcd.print("Coloque Pastel"); lcd.setCursor(0,1); lcd.print("En Posicion"); lcd.print(key);
delay (1000);
decorado();
}
valor = digitalRead (emergencia);
if ( valor == 1)
{
lcd.clear(); lcd.setCursor(0,0); lcd.print("Mesa"); lcd.setCursor(0,1); lcd.print("En Posicion"); lcd.print(key);
delay (1000);
mesa_vert_baja();
}
}

```

```

mesa_vert_sube();
}
}
void reset_salidas()
{
digitalWrite (C_A1, HIGH); digitalWrite (C_A0, HIGH); digitalWrite (C_C0, HIGH); digitalWrite (C_C1, HIGH); digitalWrite
(C_B0, HIGH); digitalWrite (C_B1, HIGH); digitalWrite (C_VAL_C, HIGH); digitalWrite (C_VAL_B, HIGH); digitalWrite (sal_9,
HIGH); digitalWrite (sal_10, HIGH);
digitalWrite (sal_11, HIGH); digitalWrite (sal_12, HIGH); digitalWrite (sal_13, HIGH); digitalWrite (C_VAL_A, HIGH);
digitalWrite (SOLEN_B, HIGH);
digitalWrite (SOLEN_C, HIGH);
}
char teclado()
{
key = keypad.getKey();
while (key == ' ')
{
key = keypad.getKey();
}
return key;
}
//-----
// FUNCION PROBAR SALIDAS
//----- void prueba_sal()
{
valor = 0;
if(digitalRead (E_A1)==0 || digitalRead (E_B1)==0 || digitalRead (E_C1)==0)
{

while (digitalRead (E_A1)==0 || digitalRead (E_B1)==0 || digitalRead (E_C1)==0)
{
digitalWrite (C_A1, LOW); digitalWrite (C_B1, LOW); digitalWrite (C_C1, LOW);
}
}
digitalWrite (C_A1, HIGH); digitalWrite (C_B1, HIGH); digitalWrite (C_C1, HIGH);
delay (300);
valor = digitalRead (E_A0);
delay (10);

valor = digitalRead (E_A0);
delay (10);
if (valor ==0)
{
valor = digitalRead (E_A0);
delay (10);
while(valor== 0)
{
digitalWrite (C_A0, LOW); valor = digitalRead (E_A0); delay (10);
}
digitalWrite (C_A0,HIGH);
delay (1000);
valor = digitalRead (E_A1);
delay (10);
while(valor == 0)
{
digitalWrite (C_A1, LOW); valor = digitalRead (E_A1); delay (10);
}
digitalWrite (C_A1, HIGH);
delay(1000);
valor = digitalRead (E_A0); valor1 = digitalRead (E_A1); delay (10);
}
}
/////
valor = digitalRead (E_B0); lcd.setCursor(0,1); lcd.print(valor);
delay (1000);
valor = digitalRead (E_B0);
delay (10);
if (valor ==0)
{

```

```

valor = digitalRead (E_B0);
delay (10);
while(valor== 0)
{
    digitalW rite (C_B0, LOW); valor = digitalRead (E_B0); delay (10);
}
digitalW rite (C_B0,HIGH);
delay (1000);
valor = digitalRead (E_B1);
delay (10);
while(valor == 0)
{
digitalW rite (C_B1, LOW); valor = digitalRead (E_B1); delay (10);
}
digitalW rite (C_B1, HIGH);
delay(1000);
valor = digitalRead (E_B0); valor1 = digitalRead (E_B1); delay (10);
///  

valor = digitalRead (E_C0);
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(valor);
delay (1000);
valor = digitalRead (E_C0);
delay (10);
if (valor ==0)
{
valor = digitalRead (E_C0);
delay (10);
while(valor== 0)
{

digitalW rite (C_C0, LOW);
valor = digitalRead (E_C0);
digitalW rite (C_C0,HIGH);
delay (1000);
valor = digitalRead (E_C1);
delay (10);
while(valor == 0)
{
digitalW rite (C_C1, LOW); valor = digitalRead (E_C1); delay (10);
}
digitalW rite (C_C1, HIGH);
delay(1000);
valor = digitalRead (E_C0); valor1 = digitalRead (E_C1); delay (10);
if (valor == 0 && valor1 ==1)
///  

valor = digitalRead (VAL_A0); lcd.setCursor(0,1); lcd.print(valor);
delay (1000);

valor = digitalRead (VAL_A0); valor1 = digitalRead (VAL_A1); delay (10);
}
///  

valor = digitalRead (VAL_B0); lcd.setCursor(0,1); lcd.print(valor);
delay (1000);
valor = digitalRead (VAL_B0);
delay (10);
if (valor ==0)
{
valor = digitalRead (VAL_B0);
delay (10);
while(valor== 0)
{
digitalW rite (C_VAL_B, LOW); valor = digitalRead (VAL_B0); delay (10);
}
valor = digitalRead (VAL_B1);
delay (10);
while (valor == 0)
{
digitalW rite (C_VAL_B, HIGH); valor = digitalRead (VAL_B1); delay (10);
}
valor = digitalRead (VAL_B0); valor1 = digitalRead (VAL_B1); delay (10);

lcd.setCursor(0,0); lcd.print(" CILINDRO C"); lcd.setCursor(0,1); lcd.print(" CORRECTO"); delay (1000);
}
///  

valor = digitalRead (VAL_C0); lcd.setCursor(0,1); lcd.print(valor);
delay (1000);
valor = digitalRead (VAL_C0);
delay (10);
if (valor ==0)
{

```

```

valor = digitalRead (VAL_C0);
delay (10);
while(valor== 0)
{
digitalW rite (C_VAL_C, LOW); valor = digitalRead (VAL_C0); delay (10);
}
valor = digitalRead (VAL_C1);
delay (10);
while (valor == 0)
{
digitalW rite (C_VAL_C, HIGH);
valor = digitalRead (VAL_C1);
delay (10);
}
valor = digitalRead (VAL_C0); valor1 = digitalRead (VAL_C1); delay (10);
}
}
//-----
// FUNCION MODO MANUAL
//-----void modo_manual(char key)
{
lcd.clear();
if (key == '1')
{
lcd.clear(); lcd.print("Cilindro A + "); delay (500);
digitalW rite (C_A1, LOW);
delay (800);
digitalW rite (C_A1, HIGH);
}
if (key == '2')
{
lcd.clear(); lcd.print("Cilindro A - "); delay (500);
digitalW rite (C_A0, LOW);
delay (800);
digitalW rite (C_A0, HIGH);
}
if (key == '3')
{
lcd.clear(); lcd.print("Cilindro B + "); delay (500);
digitalW rite (C_B1, LOW);
delay (800);
digitalW rite (C_B1, HIGH);
}
if (key == '4')
{
lcd.clear(); lcd.print("Cilindro B - "); delay (500);
digitalW rite (C_B0, LOW);
delay (800);
digitalW rite (C_B0, HIGH);
}
if (key == '5')
{
lcd.clear(); lcd.print("Cilindro C + "); delay (500);
digitalW rite (C_C1, LOW);
delay (800);
digitalW rite (C_C1, HIGH);
}
if (key == '6')
{
lcd.clear(); lcd.print("Cilindro C - "); delay (500);
digitalW rite (C_C1, LOW);
delay (800);
digitalW rite (C_C1, HIGH);
}
if (key == '7')

{
lcd.clear(); lcd.print("Valvula A "); delay (500);
digitalW rite (C_VAL_A, LOW);

delay (800);

digitalW rite (C_VAL_A, HIGH);

}
if (key == '8')
{
lcd.clear(); lcd.print("Valvula B "); delay (500);
digitalW rite (C_VAL_B, LOW);
delay (800);
digitalW rite (C_VAL_B, HIGH);
}

```



```

}
if (key == '9')
{
lcd.clear(); lcd.print("Valvula C "); delay (500);
digitalWrite (C_VAL_C, LOW);
delay (800);
digitalWrite (C_VAL_C, HIGH);
}
if (key == '*')
{
lcd.clear(); lcd.print("Solenoide B "); delay (500);
digitalWrite (SOLEN_B, LOW);
delay (800);
digitalWrite (SOLEN_B, HIGH);
}
if (key == '0')
{
lcd.clear(); lcd.print("Solenoide C "); delay (500);
digitalWrite (SOLEN_C, LOW);
delay (800);
digitalWrite (SOLEN_C, HIGH);
}
if (key == '#')
{
lcd.clear(); lcd.print("Meza Arriba "); delay (500);
}
if (key == 'A')
{
lcd.clear(); lcd.print("Meza Abajo "); delay (500);
}
if (key == 'B')
{
lcd.clear(); lcd.print("Meza Giro "); lcd.setCursor (0,1);
lcd.print("Derecha");

delay (500);
}
if (key == 'C')
{
lcd.clear(); lcd.print("Meza Giro "); lcd.setCursor (0,1); lcd.print("Izquierda"); delay (500);
}
if (key == 'D')
{
lcd.clear(); lcd.print("Cilindro D "); delay (500);
digitalWrite (C_A1, LOW);
delay (800);
digitalWrite (C_A1, HIGH);
}
}

//-----
// FUNCION DECORADO
//-----

void decorado ()
{
reset_salidas();
digitalWrite (C_VAL_B, LOW);
delay (500);
digitalWrite (C_VAL_B, HIGH);
delay (500);
int band1=0;

valor = digitalRead (E_A0);
delay (10);
while (valor !=1)
{
digitalWrite (C_A0, LOW); valor = digitalRead (E_A0); delay (10);
if (band1==0)
{
mesa_pos_ini();
band1=1;
}
}
digitalWrite (C_A0,HIGH);
valor = digitalRead (VAL_A0);
delay (10);
while (valor !=1)
{
digitalWrite (C_VAL_A, LOW); valor = digitalRead (VAL_A0); delay (10);
}
digitalWrite (C_A1,LOW);

```

```

delay(900);
mesa_giro();
digitalWrite(C_A1,HIGH);

digitalWrite(C_VAL_A,HIGH);

}

//-----
// FUNCION MESA_GIRO
//-----
void mesa_giro()
{
valor = digitalRead(fin_giro); valor1 =digitalRead (E_A1); delay(10);
while (valor == 1 && valor1 ==0)
{
digitalWrite(pul_giro, HIGH); delayMicroseconds (500); digitalWrite(pul_giro, LOW); delayMicroseconds(25);
valor = digitalRead (fin_giro);
valor1 =digitalRead (E_A1);
}
for (int y=0; y<=400; y++)
{
digitalWrite(pul_giro, HIGH); delayMicroseconds(500); digitalWrite(pul_giro, LOW); delayMicroseconds(25);
}
//-----
// FUNCION MESA_VERT_BAJA
//-----

void mesa_vert_baja()
{
digitalWrite (dir_vert, HIGH); valor = digitalRead (fin_inferior); delay(10);
while (valor != 0)
{
digitalWrite(pul_vert, HIGH); delay (1); digitalWrite(pul_vert, LOW); delayMicroseconds(50);
valor = digitalRead (fin_inferior);
}
//-----

// FUNCION MESA_VERT_SUBE

//-----
void mesa_vert_sube()
{
digitalWrite (dir_vert, LOW);
valor = digitalRead (fin_superior);
delay(10);
while (valor != 0)
{

digitalWrite(pul_vert, HIGH); delay (1); digitalWrite(pul_vert, LOW); delayMicroseconds(50);
valor = digitalRead (fin_superior);
}
}
//-----
// FUNCION ENTRADAS
//-----
void entradas()
{
sen_a0 = digitalRead(E_A0);
sen_a1 = digitalRead(E_A1);
sen_val_a0 = digitalRead(VAL_A0);
sen_val_a1 = digitalRead(VAL_A1);
sen_b0 = digitalRead(E_B0);
sen_b1 = digitalRead(E_B1);
sen_val_b0 = digitalRead(VAL_B0);
sen_val_b1 = digitalRead(VAL_B1);
sen_c0 = digitalRead(E_C0);
sen_c1 = digitalRead(E_C1);
sen_val_c0 = digitalRead(VAL_C0);
sen_val_c1 = digitalRead(VAL_C1);
sen_fin_superior = digitalRead(fin_superior);
sen_fin_inferior = digitalRead(fin_inferior);
sen_fin_giro = digitalRead(fin_giro);
delay (10);
Serial.println ("Sensor A0");
Serial.println (sen_a0);
Serial.println ("Sensor A1");
Serial.println (sen_a1);
Serial.println ("Sensor B0");
Serial.println (sen_b0);

```

```

Serial.println ("Sensor B1");
Serial.println (sen_b1);
Serial.println ("Sensor C0");
Serial.println (sen_c0);
Serial.println ("Sensor C1");
Serial.println (sen_c1);
Serial.println ("Sensor VAL_A0");
Serial.println (sen_val_a0);
Serial.println ("Sensor VAL_A1");
Serial.println (sen_val_a1);
Serial.println ("Sensor VAL_B0");
Serial.println (sen_val_b0);
Serial.println ("Sensor VAL_B1");
Serial.println (sen_val_b1);
Serial.println ("Sensor VAL_C0");
Serial.println (sen_val_c0);
Serial.println ("Sensor VAL_C1");
Serial.println (sen_val_c1);
Serial.println ("Sensor FIN SUPERIOR");
Serial.println (sen_fin_superior);
Serial.println ("Sensor FIN INFERIOR");
Serial.println (sen_fin_inferior);
Serial.println ("Sensor FIN GIRO");
Serial.println (sen_fin_giro);
delay (3000);

//valor = digitalRead (inicio);
//while ( valor ==0)
//{
// valor = digitalRead (inicio);
//}
//}
//-----
// FUNCION MESA_POSICION_INICIAL
//-----
void mesa_pos_ini()
{
valor = digitalRead (fin_giro);
delay(10);
while (valor == 1)
{
digitalWrite(pul_giro, HIGH); delay(10); digitalWrite(pul_giro, LOW); dlay(5);
valor = digitalRead (fin_giro);
}
for (int y=0; y<=95; y++)
{
digitalWrite(pul_giro, HIGH); delay(1); digitalWrite(pul_giro, LOW); delayMicroseconds(50);
}
}
//-----
// FUNCION MESA_VERT_INICIAL
//-----
void mesa_vert_ini()
{
digitalWrite (dir_vert, LOW);
for (int R=0; R<=3200; R++)
{
digitalWrite(pul_vert, HIGH);
delay(1);
digitalWrite(pul_vert, LOW);
delayMicroseconds(50);
}
}
}

```

# **ANEXO 11**

Driver de Motor

## 2-Phase stepper Motor Driver ST-M5045

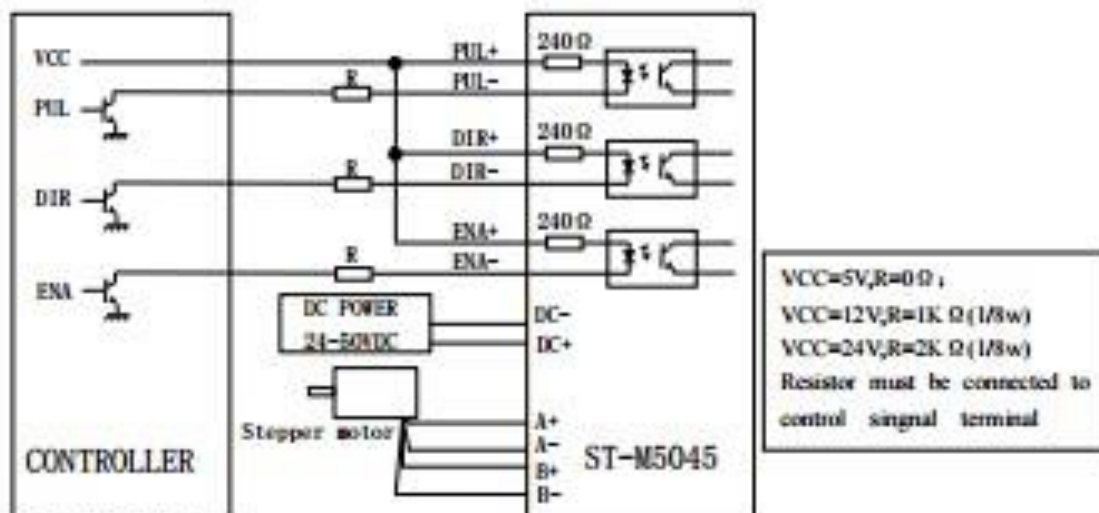
### Characteristics:

1. DC power input type: 24V~50V
2. Output current: 1~4.5A
3. Microstep: 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256 ; 5, 10, 25, 50, 125, 250
4. Protect form: Overheated protect, Short-voltage, over-voltage, over-current protection
5. The maximum pulse rate is 300KHZ.
6. Dimensions: 120mm\*92mm\*33mm
7. Weight: <280g.
8. Working environment: Temperature: -15~40°C Humidity: <90%.

### I/O Ports:

1. DC+: DC power positive pole  
*Note: Must ground against exceeding 50V, so as not to damage the module.*
2. DC-: DC power cathode
3. A+: A-: Stepping motor one winding
4. B+: B-: Stepping motor other winding
5. PUL+: PUL-: Stepping pulse input+5V (Rising edge effective, rising edge duration >10μs)
6. DIR+: DIR-: Stepping motor direction input, voltage level touched off, high level forward, low level reverse
7. ENA+: ENA-: motor free

### Typical Connection



### Switch Choice:

#### 1. Microstep choice:

Microstep	Pulse/rev. (for 1.8° motor)	SW5	SW6	SW7	SW8
2	400	ON	ON	ON	ON
4	800	ON	OFF	ON	ON
8	1600	ON	ON	OFF	ON
16	3200	ON	OFF	OFF	ON
32	6400	ON	ON	ON	OFF
64	12800	ON	OFF	ON	OFF

128	25600	ON	ON	OFF	OFF
256	51200	ON	OFF	OFF	OFF
5	1000	OFF	ON	ON	ON
10	2000	OFF	OFF	ON	ON
25	5000	OFF	ON	OFF	ON
50	10000	OFF	OFF	OFF	ON
125	25000	OFF	ON	ON	OFF
250	50000	OFF	OFF	ON	OFF

#### 2. Current choice<sub>1</sub>

Peak current	Reference current	SW1	SW2	SW3
1.0A	0.71A	ON	ON	ON
1.5A	1.07A	OFF	ON	ON
2.0A	1.43A	ON	OFF	ON
2.5A	1.79A	OFF	OFF	ON
3.0A	2.14A	ON	ON	OFF
3.5A	2.50A	OFF	ON	OFF
4.0A	2.86A	ON	OFF	OFF
4.5A	3.21A	OFF	OFF	OFF

#### 3. Full current or half current choice<sub>1</sub>

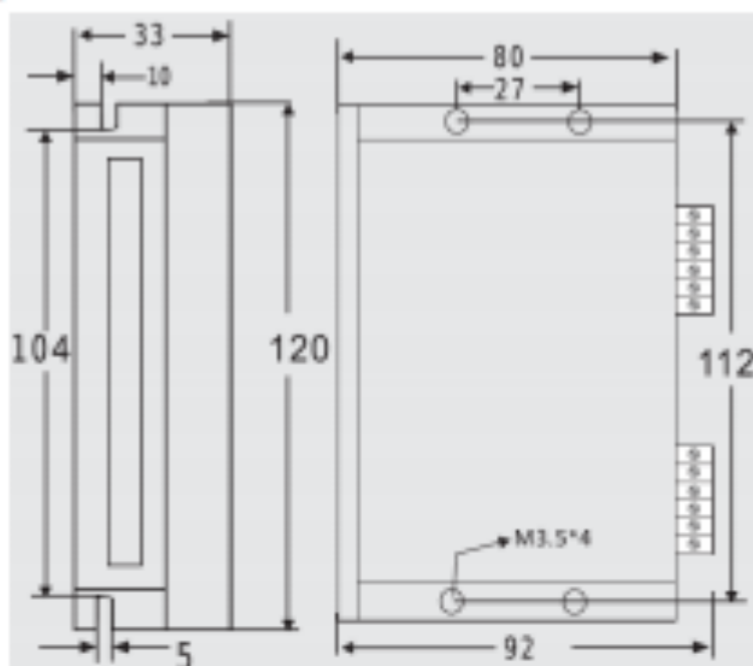
SW4: OFF=Half current ; ON=Full current<sub>1</sub>

#### 4. Pulse choice<sub>1</sub>



Usually default setting is step + direction.

#### Dimension



# **ANEXO 12**

Manual de usuario



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES**  
**INDUSTRIALES**

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA  
DECORACIÓN DE PASTELES EN PRODUCCIONES A GRAN ESCALA”

**MANUAL DE USUARIO**

Previo a la obtención del título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES INDUSTRIALES**

**PRESENTADO POR:**

SALAZAR ARELLANO DIEGO ALBERTO

ESCOBAR TAPIA MARÍA ANGÉLICA

Riobamba – Ecuador

2015

**1. INTRODUCCIÓN.**

Este documento contiene la información detallada de cómo operar el sistema automático para decoración de pasteles y describe su funcionamiento.



El sistema de decoración de pasteles fue creado con la finalidad de agilizar el proceso de producción de pasteles interviniendo directamente en el decorado del mismo.

Para la correcta operación del sistema es de suma importancia consultar este manual antes y/o durante la utilización del sistema.

Este documento va dirigido al usuario final, a la persona encargada de operar el sistema quien debe tener conocimientos básicos de computación.

## **2. GENERALIDADES DEL SISTEMA.**



El sistema cuenta con un módulo para cobertura, dos módulos para decoración y una mesa de posicionamiento.

Todos los elementos que tienen contacto con los alimentos que intervienen en el proceso están contruidos en acero inoxidable AISI 304 para garantizar la higiene del proceso y la durabilidad de la máquina.

El sistema tiene un tablero en donde se encuentra montado todo el sistema eléctrico como fuente de poder, drivers de motores y el controlador general del sistema. El sistema eléctrico funciona a 110 VAC. También tiene un tablero donde se encuentra el sistema de válvulas neumáticas. Estos dos tableros se encuentran en la base de

montaje del módulo de cobertura o módulo A. La presión de aire de trabajo máxima es de 8 bar.


Para la operación de la máquina se tiene un tablero de control con los botones de inicio, paro y paro de emergencia así como un teclado y pantalla para el ingreso y lectura de datos.

### 3. SEGURIDADES

### 4. DESCRIPCION DEL SISTEMA

#### 4.1. Partes del Sistema

El sistema cuenta con cuatro partes principales claramente diferenciables.

Parte	Descripción	Imagen
<b>Mesa de Posicionamiento</b>	Se encarga de posicionar el pastel a la altura correcta y en el punto correcto de la revolución para su decoración.	

<b>Módulo de Cobertura o Módulo A</b>	Se encarga de cubrir con crema todo el pastel.	
<b>Módulo de Decorado B o Módulo B</b>	Se encarga de la decoración del pastel con un color.	
<b>Módulo de Decorado C o Módulo C</b>	Se encarga de la decoración del pastel con un color.	

### 7.1.1 Mesa de Posicionamiento.

La mesa de posicionamiento cuenta con dos partes móviles, la plataforma de desplazamiento vertical que permite colocar al pastel a la altura deseada y la plataforma giratoria que permite colocar al pastel en un punto deseado en ángulos. En el menú de configuración se deberá configurar el valor de altura del pastel que sirve únicamente para los módulos B y C puesto que la boquilla del módulo A está diseñada para cubrir pasteles de un tamaño determinado por construcción, al cambiar el valor por defecto el módulo A dejará de funcionar hasta que se cambie la boquilla y se configure por defecto el valor adecuado.

Nota.- Cuando se monte la máquina en el lugar de trabajo el técnico encargado deberá colocarla a la distancia adecuada con referencia a las boquillas de trabajo para evitar golpes entre estas y la mesa de posicionamiento.

### **7.1.2 Módulo de Cobertura o Módulo A.**

El módulo de cobertura es el encargado de dar al pastel el recubrimiento principal, por medio de la boquilla de cobertura que es la encargada de distribuir uniformemente la crema por el pastel mientras este gira.



### **7.1.3 Módulos de Decorado o Módulos B y C.**

Estos módulos son exactamente iguales, funcionan de la misma manera, la finalidad de tener dos módulos de decorado iguales es que se pueda trabajar con dos colores de crema distintos, al final del expulsor de crema de estos módulos se puede colocar diferentes boquillas de acuerdo al decorado que se quiera lograr, tal como si fuera una manga de decoración.



#### 7.1.4 Tablero de Control.

El sistema puede ser controlado por medio del tablero de control en el que se encuentran ubicados un botón de paro de emergencia, un botón de inicio, un botón de paro, un teclado para ingresar comandos y un display para visualizar información.



Adicionalmente se puede conectar el sistema por medio del cable USB a una PC, con ello se podrá verificar el estado de las entradas de toda la máquina en el monitor serial.

#### 4.2. Poniendo el Sistema en Marcha.

Para poner el sistema en funcionamiento se lo ha de conectar a una fuente de alimentación de 110 VAC. Presionar el botón ON que se encuentra ubicado bajo la unidad de mantenimiento neumático.

En el display del tablero de control previo a un saludo de bienvenida se encontrará con el menú general.

### 7.2.1 Menu General

Dentro del menu general se encuentran 2 opciones.

- Máquina
- Proceso

#### 7.2.1.1 Submenu máquina.

Para acceder al menu máquina se debe pulsar el boton "1" del teclado del tablero de control, en este menu se podrá ingresar a 5 opciones diferentes.

- Estado
- Modo Manual
- Configuración
- Entradas
- Depuración

La opción **Estado** (ingrese digitando "1") realiza una comprobación de entradas y salidas una por una imprimiendo el resultado del funcionamiento de cada uno de los cilindros y del movimiento de la mesa de posicionamiento. Si esta todo correcto al final de todo el proceso se imprimira el mensaje "Estado Correcto" y regresará al submenu máquina.

La opción **Modo Manual** (ingrese digitando "2") permite el accionamiento de todos los elementos de la maquina uno por uno mediante el teclado digitando cada una de las teclas.

Tecla	Movimiento
"1"	Cilindro A +
"2"	Cilindro A -
"3"	Cilindro B +
"4"	Cilindro B -

"5"	Cilindro C +
"6"	Cilindro C -
"7"	Válvula A
"8"	Válvula B
"9"	Válvula C
"*"	Solenoide B
"0"	Solenoide C
"#"	Mesa Sube
"A"	Mesa Baja
"B"	Mesa Gira

La opción **Configuración** (ingrese digitando "3")

La opción **Entradas** (ingrese digitando "4") realiza una lectura del estado de todas las entradas de la máquina y las imprime por el puerto USB, estas pueden ser leídas en el monitor serial de una PC. Esta opción será utilizada principalmente para el mantenimiento de la máquina.

La opción **Depuración** (ingrese digitando "5") está diseñada para realizar un proceso de succión y expulsión de crema de la bomba de cada uno de los módulos dependiendo del seleccionado, esto permite eliminar el aire dentro del sistema de los módulos.

Tecla	Módulo
"1"	A
"2"	B
"3"	C

### 7.2.1.2 Submenu Proceso

Permite seleccionar entre los procesos que se desean realizar

- Cobertura

- Decorado
- Cobertura y Decorado

La opción **Cobertura** (ingrese digitando “1”) realizará únicamente la cobertura del pastel cada vez que se presione la tecla inicio.

La opción **Decorado** (ingrese digitando “2”) realizará únicamente el decorado del pastel con los módulos A y B.

La opción **Cobertura y Decorado** (ingrese digitando “3”) realizará el proceso de cobertura y al finalizar el mismo realizará el decorado.

La tecla utilizada para regresar al menú anterior es la tecla “**D**”.

#### **4.3. Soporte Técnico.**

En caso de consultas y/o inconvenientes comunicarse con Diego Salazar [das\\_diego88@hotmail.com](mailto:das_diego88@hotmail.com) o Angelica Escobar [angie.esc@hotmail.es](mailto:angie.esc@hotmail.es)

#### **5. Recomendaciones**

Se recomienda que cada vez que se realice la carga de crema a una de las tolvas se realice el proceso de depuración de las mismas y repetirlo hasta que el aire sea purgado del sistema.

Antes de poner en marcha el sistema se recomienda revisar que la presión de aire en la unidad de mantenimiento este bien seleccionada.

La instalación de la mesa de posicionamiento con referencia a las boquillas de decoración deberá estar bien realizada al momento del montaje de la máquina en el lugar de trabajo, para evitar golpes entre las boquillas y la mesa de posicionamiento.



# **ANEXO 13**

Manual técnico de mantenimiento



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES**  
**INDUSTRIALES**

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA  
DECORACIÓN DE PASTELES EN PRODUCCIONES A GRAN ESCALA”

**MANUAL DE MANTENIMIENTO**

Previo a la obtención del título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES INDUSTRIALES**

**PRESENTADO POR:**

SALAZAR ARELLANO DIEGO ALBERTO

ESCOBAR TAPIA MARÍA ANGÉLICA

Riobamba – Ecuador

2015

**Mantenimiento Preventivo.**

La máquina deberá ser limpiada con agua hirviendo después de cada jornada de trabajo.

Parte	Tiempo	Comentarios
<p><b>Mantenimiento Sistema Neumático</b></p>	<p>Cada mes</p>	<p>Se deber verificar el estado de las conexiones neumáticas y de los cilindros así como también de la unidad de mantenimiento y el depósito de aceite de la misma.</p>
<p><b>Mantenimiento de Sensores</b></p>	<p>Cada mes</p>	<p>Verificar el estado físico y la correcta posición de cada uno de los sensores en los cilindros y la mesa de posicionamiento, puede utilizar para ello la función entradas en el menú máquina.</p>
<p><b>Limpieza, Tolvas, Bombas de succión, válvulas generales y secundaria. Boquillas y manguera. Superficie mesa de posicionamiento.</b></p>	<p>Después de cada jornada de Trabajo</p>	<p>Se debe lavar con agua hirviendo y detergente para platos todas las partes que tienen contacto con la crema de decoración</p>

<b>Mantenimiento Eléctrico</b>	Cada tres meses	Verificar el estado de las conexiones de la fuente de poder, drivers de motores, borneras etc. Determinando si existe humedad, óxido, polvo o algún otro agente que pueda causar un daño o corto circuito.
<b>Presión de Aire de Trabajo</b>	Antes de utilizar el sistema	Verificar que la presión de trabajo sea la que se encuentra en el manual de usuario.
<b>Mantenimiento Mecánico</b>	Cada 3 meses	Verificar que todos los tornillos estén bien ajustados, y que cada uno este en buen estado.

### Mantenimiento Correctivo

Síntoma	Causa	Solución
<ul style="list-style-type: none"> <li>No funciona mesa de posicionamiento.</li> </ul>	1. Fuente de poder desconectada.	1. Verificar el ingreso de energía eléctrica

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Problemas de posicionamiento en Giro</li> <li>• Problemas de posicionamiento Vertical</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>2. Daño Motores PAP</li> <li>3. Daño Drivers Motores PAP</li> <li>4. Desconexión entre la mesa y el controlador.</li> <li>5. Fallo en los sensores de la mesa de posicionamiento</li> </ol>	<p>hacia la fuente de poder y la salida de la misma hacia los drivers de los motores.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2. Verificar el motor que no funcione correctamente desmontarlo y cambiar por uno nuevo.</li> <li>3. Verificar el driver del motor que no esté funcionando correctamente desmontarlo y cambiar por un elemento nuevo</li> <li>4. Comprobar la conexión entre el tablero eléctrico y el conector DB9 de la placa de la mesa de posicionamiento</li> <li>5. Ingrese a la función entadas en el menú</li> </ol>
---	--	---

		<p>maquina y  compruebe  accionando  manualmente los  finales de carrera y  el sensor óptico de  la mesa para  cambiar los estados  hasta detectar el  sensor que de  error.</p>
<p>Ausencia de crema en las  boquillas de decorado o  cobertura</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fallo en la bomba  de succión y  expulsión</li> <li>2. Válvula de paso  atascada o con  funcionamiento  erróneo.</li> <li>3. Válvula secundaria  de paso atascada o  con funcionamiento  erróneo.</li> <li>4. Error en lectura de  los sensores</li> <li>5. Conductos</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Verificar que la  bomba del módulo  que presenta error  está haciendo el  vacío necesario  para su  funcionamiento de  no suceder esto  cambiar los sellos  del embolo de la  bomba. Verificar  que el pistón que  acciona la bomba  esté funcionando</li> </ol>

	taponados	<p>correctamente.</p> <p>2. Verificar que la válvula general de paso del módulo que presenta el problema esté funcionando correctamente permitiendo el paso de crema.</p> <p>3. Verificar que la válvula secundaria de paso del modulo que presenta el problema esté funcionando correctamente libre de elementos que impidan su movimiento.</p> <p>4. Verificar que la lectura proveniente de los sensores de los cilindros del módulo que presenta el</p>
--	-----------	---

		<p>problema estén trabajando correctamente para ello utilice la función entradas en el menú máquina.</p> <p>5. Verifique que no existe ningún cuerpo extraño dentro de los conductos que impida que la crema fluya con normalidad.</p>
El sistema no enciende	<p>1. No hay energía en el sistema.</p> <p>2. Verifique el disyuntor de protección del sistema</p>	<p>1. Verifique las conexiones de los tomacorrientes utilizando un multímetro.</p> <p>2. Verificar que el disyuntor este permitiendo el paso de energía al sistema</p>





## 6. BIBLIOGRAFÍA

1. MOTT, Robert L. Diseño de elementos de máquinas.

Traducido del Inglés por Virgilio González y Pozo. 4ta ed. México, Pearson Education

2006. 944p.

2. YANEZ SANTANA, Alejandro y QUINTANA SANTANA, Manuel José. Sistemas mecánicos. Resistencia de Materiales. Primera ed., s.l., Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC, 2003. 252p.

3. Gómez Millan, S. (2010). *Procedimientos de Mecanizado*. 2da. ed. Madrid, España: Parainfo S.A. 410 p.

4. CREUS, A. Neumática e hidráulica., 2da. ed. s.l., Marcombo., 2012. 234 p.

5. GUILLÉN, A. Introducción a la neumática., s.l., Marcombo., 1988. v. 156 p.

## **BIBLIOGRAFIA DE INTERNET**

6. ENGRANAJES

<http://www.universosniperairsoft.com/revisiones/engranajesgearbox.htm> Extraído el 2015-08-15

7. RELEVADORES

<http://definicion.de/relevador/>

Extraído el 2015-08-17

## 8. MOTORES

<http://www.info-ab.uclm.es/labelec/Solar/electronica/elementos/Electricos.htm>

Extraído el 2015-08-22

## 9. VALVULAS NEUMATICAS

[http://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/361\\_c  
a.pdf](http://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/361_c<br/>a.pdf)

Extraído el 2015-08-30