

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CODIFICADOR PARA EL  
FECHAMIENTO DE EMPAQUES DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS**

**OSCAR GERARDO DÍAZ DURÁN  
CARLOS ADOLFO FORERO**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA  
LÍNEA DE DISEÑO  
BUCARAMANGA**

**2004 °**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CODIFICADOR PARA EL  
FECHAMIENTO DE EMPAQUES DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS**

**OSCAR GERARDO DÍAZ DURÁN  
CARLOS ADOLFO FORERO**

**Proyecto de grado para optar al título de:  
Ingeniero Mecatrónico**

**Director**

**OMAR LENGERKE PEREZ  
M.S.C Sistemas de Manufactura**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA  
LÍNEA DE DISEÑO  
BUCARAMANGA  
2004**

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Bucaramanga 11 de Junio de 2004

## **AGRADECIMIENTOS**

Mis agradecimientos van primero que todo a Dios por que sin el no podría realizar y cumplir todas las metas que me he propuesto para mi vida.

A mis padres Gerardo Díaz y Edyth Durán, quienes han sido un gran ejemplo de lucha, rectitud, honestidad, y un apoyo constante en mi vida,

A mis amigos, compañeros y familiares por estar siempre apoyándome y colaborándome en todos los aspectos con el fin de lograr que se cumplan mis metas.

Y a todas las personas que de una u otra forma me ayudaron a lo largo de mi formación personal y profesional.

Oscar Gerardo Díaz Durán.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios que ha sido mi apoyo espiritual, y es el que le ha dado un significado a mi vida, y ha estado ahí apoyándome y guiándome en el camino para conseguir día a día los logros que he obtenido.

A mis padres ADOLFO Y NELSI que han sido de gran ayuda sentimental, ejemplo de virtudes y valores, a mis hermanos que me han colaborado y apoyado y que siempre han estado en mi vida.

A mis profesores, compañeros, amigos y familiares, que siempre tuvieron en mi la confianza y el apoyo necesario para alcanzar mis metas.

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma estuvieron presentes durante mi crecimiento profesional y humano.

Carlos Adolfo Forero González.

## CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCIÓN .....	19
1. FUNDAMENTOS DE NEUMÁTICA Y ELECTRONEUMÁTICA .....	22
1.1 SISTEMAS ELECTRONEUMÁTICOS .....	22
1.2 CILINDROS NEUMÁTICOS .....	23
1.3 TIPOS DE CILINDROS .....	23
1.3.1 Cilindro de simple acción.....	24
1.3.2 Cilindro de doble acción .....	24
1.4 CÁLCULO DE FUERZA .....	25
1.5 VELOCIDAD DEL PISTÓN.....	29
1.6 CONSUMO DE AIRE EN CILINDROS .....	29
1.7 FIJACIONES EN LOS CILINDROS.....	32
1.8 CILINDROS DE CARRERA CORTA .....	36
1.9 VÁLVULAS DISTRIBUIDORAS Y DE MANDO .....	37
1.10 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA Y FUNCIÓN	
CARACTERÍSTICA DE LAS VÁLVULAS .....	37
1.10.1 Posición de la válvula .....	38
1.11 TIPOS DE VÁLVULAS .....	41
1.12 ROSCAS DE CONEXIÓN Y PASO NOMINAL.....	44

1.13 ELECTROVÁLVULAS .....	47
2. FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR .....	51
2.1 INTRODUCCIÓN A LA CONDUCCIÓN .....	51
2.2 EL MODELO PARA LA CONDUCCIÓN .....	54
2.3 PROPIEDADES TÉRMICAS DE LA MATERIA .....	56
2.4 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.....	57
2.5 CONDICIONES INICIALES Y DE FRONTERA .....	59
2.6 PARED PLANA.....	60
2.6.1Distribución de Temperatura .....	61
2.6.2Resistencia Térmica .....	62
2.6.3Sólido Semiinfinito .....	62
2.7 SISTEMAS AISLANTES.....	68
3. DISEÑO MECÁNICO Y ELECTRÓNICO DEL CODIFICADOR .....	70
3.1 DISEÑOS PROPUESTOS.....	70
3.2 SELECCIÓN DE ELEMENTOS NEUMATICOS DEL CODIFICADOR ....	75
3.2.1 Necesidades y requisitos del cilindro.....	75
3.2.1.1 Cilindro pequeño y/o compacto (Aprox. 4-8 cm).....	75
3.2.1.2 Cilindro con carrera corta .....	76
3.2.1.3 Cilindro anti giro.....	76
3.2.1.4 Económico y de fácil comercialización .....	77
3.2.2Cálculo y selección del cilindro.....	77
3.2.3Selección de la electroválvula .....	84

3.2.4 Selección de tubos y racores.....	87
3.3 MATERIALES PARA LA ELABORACIÓN DE LAS PARTES DEL CODIFICADOR .....	90
3.3.1 Material para la recepción del estampado .....	94
3.3.1.1 Selección del elastómero a usar.....	96
3.4 SELECCIÓN DEL RODAMIENTO DEL ENCODER.....	98
3.5 DISEÑO ELECTRÓNICO .....	100
3.5.1 Selección del encoder .....	103
3.5.2 Selección del motor .....	106
3.5.3 Cálculos de los componentes para el circuito electrónico .....	108
3.5.3.1 Cálculos de las señales de entrada.....	108
3.5.3.2 Cálculos de las señales de salida.....	108
3.5.4 Circuito electrónico .....	111
3.5.5 Impreso del circuito y esqueleto del circuito .....	113
4. ANÁLISIS Y SELECCIÓN DEL CONTROL DE TEMPERATURA.....	114
4.1 CONTROL DE TEMPERATURA.....	116
4.1.1Control del proceso en el estado de reposo .....	116
4.1.2 Termómetros termoeléctricos (termopar) .....	120
4.1.2.1 Tabla de características de la termocupla J .....	122
4.1.3Diseño del controlador.....	124
4.1.3.1 Ajuste de controladores por retroalimentación.....	124
4.1.3.2 Ajuste de controladores por Ziegler – Nichols .....	129



4.2 CONTROL PARA EL PROCESO DE ESTAMPADO.....	137
4.2.1Cinta de termo transferencia .....	137
4.2.1.1 Estructura de la cinta de transferencia térmica.....	137
4.2.2.1 Ajuste de controladores por retroalimentación.....	143
4.2.2.2 Ajuste de controladores por Ziegler – Nichols .....	147
4.3 SELECCIÓN DEL CONTROLADOR .....	153
5. ALGORITIMOS Y FUNCIONAMIENTO DEL CODIFICADOR.....	154
5.1 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL CODIFICADOR .....	154
5.2 REALIZACIÓN DE BASES DE FUNCIONAMIENTO PARA LA PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR DEL CODIFICAOR.....	157
5.3 MANEJO Y REGLAS PARA UN ÓPTIMO FUNCIONAMIENTO DEL CODIFICADOR .....	158
5.4 ALGORITMO DE FUNCIONAMIENTO DEL MICROCONTROLADOR.....	160
5.5 CÁLCULOS PARA LOS TEMPORIZADOS.....	161
5.6 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL MICROCONTROLADOR.....	161
5.7 PROGAMA DEL MICROCONTROLADOR.....	162
CONCLUSIONES.....	171
RECOMENDACIONES .....	175
BIBLIOGRAFÍA .....	178
ANEXOS .....	214

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Cilindro de simple efecto.....	24
Figura 2. Sección de un cilindro de doble efecto.....	25
Figura 3. Cilindros de doble y de simple efecto.....	28
Figura 4. Consumo de aire en cilindros.....	29
Figura 5. Cilindro de cuerpo básico.....	33
Figura 6. Fijación por placa trasera.....	33
Figura 7. Fijación por placa delantera.....	34
Figura 8. Fijación por escuadras.....	34
Figura 9. Fijación por articulación.....	35
Figura 10. Horquilla hembra.....	35
Figura 11. Fijación por rotula.....	35
Figura 12. Sección descriptiva de la disposición interna de los cilindros neumáticos compactos de doble y simple efecto con imán en él embolo.....	36
Figura 13. Simbología, posicionamiento, y accionamiento de una válvula.....	40
Figura 14. Válvulas de asiento.....	41
Figura 15. Funcionamiento de una válvula de corredera.....	42

Figura 16. Válvulas con distintas funciones.....	43
Figura 17. Electroválvula de accionamiento directo. ....	48
Figura 18. Electroválvula de accionamiento indirecto. ....	49
Figura 19. Asociación de la transferencia de calor por conducción.....	51
Figura 20. Transferencia unidimensional de calor por conducción.....	52
Figura 21. Experimento de conducción de calor de estado estable. ....	54
Figura 22. Relación entre el sistema coordinado, la dirección del flujo de calor y el gradiente de temperatura en una dimensión.....	56
Figura 23. Escala de conductividad térmica para diversos estados de la materia a temperatura y presión normales.....	58
Figura 24. Transferencia de calor a través de una pared plana. ....	60
Figura 25. Distribución de Temperatura transitorias en un sólido semiinfinito para dos condiciones de la superficie: temperatura superficial constante, flujo de calor superficial constante.....	64
Figura 26. Embobinado tipo trinquete. ....	71
Figura 27. Embobinado mediante cilindro neumático.....	71
Figura 28. Embobinado mediante un motor. ....	72
Figura 29. Diseño de estampado tipo solenoide. ....	73
Figura 30. Diseño de la caja de control del dispositivo estampador.....	75
Figura 31. Esquema de sistema anti giro para el cilindro.....	76
Figura 32. Cilindro ADVULQ-20-15-P-A.....	80

Figura 33. Placa base del codificador elaborado con fundición de polietileno y polipropileno.....	94
Figura 34. Vista de los componentes del encoder y recorrido de la cinta para la embobinada.....	99
Figura 35. PIC 16F84A.....	102
Figura 36. Componentes y función de un encoder.....	104
Figura 37. Disco codificado de encoder Sharp de 96 pulsos.....	105
Figura 38. Motor-reductor GM3.....	107
Figura 39. Conexión de los interruptores.....	109
Figura 40. Conexión de los interruptores con led.....	109
Figura 41. Conexión de gobierno de la electroválvula y la alarma.....	110
Figura 42. Conexión de gobierno del motor.....	110
Figura 43. Circuito electrónico.....	112
Figura 44. Circuito impreso.....	113
Figura 45. Esqueleto circuito electrónico.....	113
Figura 46. Codificador de Productos Alimenticios.....	115
Figura 47. Diagrama de bloque del Actuador.....	118
Figura 48. Respuesta al paso de la Función de Transferencia del Actuador.....	119
Figura 49. Diagrama de la termocupla.....	121
Figura 50. Circuito de Conexión de la Termocupla.....	121
Figura 51. Diagrama de bloques Controlador, sensor, planta y actuador.....	125

Figura 52. Respuesta al paso del diagrama de lazo cerrado. ....	126
Figura 53. Respuesta al paso de $W_{LC}(s)$ . ....	128
Figura 54. Diagrama de Nyquist de $W_{LC}(s)$ . ....	129
Figura 55. Respuesta a la planta con ganancia critica. ....	130
Figura 56. Diagrama de bloques actuador, planta y sensor. ....	131
Figura 57. Respuesta de la planta con ganancia critica. ....	131
Figura 58. Diagrama de bloques controlador, actuador, planta y sensor. ....	133
Figura 59. Respuesta al paso del diagrama de lazo cerrado. ....	133
Figura 60. Respuesta al paso de $W_{LC}(s)$ . ....	135
Figura 61. Diagrama de Nyquist de $W_{LC}(s)$ . ....	136
Figura 62. Cinta S-3 de Cera-Resina. ....	137
Figura 63. Capas de la Cinta de Cera-Resina S-3. ....	138
Figura 64. Diagrama de bloques actuador, planta y sensor. ....	141
Figura 65. Respuesta al paso del sistema. ....	142
Figura 66. Diagrama de bloques controlador, sensor, planta y actuador. ....	144
Figura 67. Respuesta al paso del diagrama de lazo cerrado. ....	145
Figura 68. Diagrama de Nyquist de $W_{LC}(s)$ . ....	147
Figura 69. Diagrama de bloques actuador, planta y sensor. ....	147
Figura 70. Respuesta de la planta con ganancia critica. ....	148
Figura 71. Diagrama de bloques controlador, sensor, planta y actuador. ....	149
Figura 72. Respuesta al paso del diagrama de lazo cerrado. ....	150
Figura 73. Diagrama de Nyquist de $W_{LC}(s)$ . ....	152

Figura 74. Resolución Grafcet por el método paso a paso. ....	156
Figura 75. Algoritmo inicio del programa. ....	162
Figura 76. Algoritmo rutina selección numero de líneas y asignación del numero de pulsos. ....	164
Figura 77. Algoritmo rutina selección automático o manual. ....	165
Figura 78 Algoritmo rutina de estampado. ....	166
Figura 79. Algoritmo rutina de embobinado de la cinta. ....	167
Figura 80. Algoritmo rutina de interrupciones (Paro de emergencia o Alarma). ....	170

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Fuerzas teóricas en cilindros de doble efecto. ....	28
Tabla 2. Tabla para elección de una válvula distribuidora.....	46
Tabla 3. Materiales aislantes.....	69
Tabla 4. Características de algunos cilindros festo. ....	79
Tabla 5. Tabla de elección de la válvula distribuidora.....	85
Tabla 6. Características de tubos pan y pun.....	89
Tabla 7. Propiedades físicas y térmicas del aluminio.....	91
Tabla 8. Propiedades mecánicas y térmicas del acero inoxidable aisi 304.....	92
Tabla 9. Propiedades mecánicas y térmicas del bronce. ....	93
Tabla 10. Algunas propiedades de los elastómeros.....	96
Tabla 11. Configuración de puertos del microcontrolador.....	104
Tabla 12. Tabla de características de la termocupla tipo j. ....	121
Tabla 13. Tabla característica de la termocupla tipo j. ....	122
Tabla 14. Parámetros de controladores pid según el método de oscilación de ziegler – nichols.....	130
Tabla 15. Propiedades de la cinta de cera-resina s-3.....	138

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Características del cilindro neumático ADVUL 20-P-A.....	179
Anexo 2. Características de la electroválvula MFH-5-1/8-S.....	181
Anexo 3. Racor rápido en L QSL-1/8-6.....	183
Anexo 4. Racor rápido roscado QS-1/8-6.....	185
Anexo 5. Codimarket modelo CM01.....	186
Anexo 6. Codificador impresor multi-vías.....	187
Anexo 7. Datos estadísticos para el análisis del material a estampar.....	188
Anexo 8. Controlador de temperatura OMRON E5CN.....	191
Anexo 9. Características del motor reductor GM3.....	195
Anexo 10. Pruebas realizadas con el codificador CM01.....	196
Anexo 11. Diagrama conexión circuito neumático.....	198
Anexo 12. Conexión sistema mecánico sistema electrónico.....	199
Anexo 13. Madera plástica.....	200
Anexo 14. Manual de funcionamiento del codificador.....	202
Anexo 15. Planos.....	213



## INTRODUCCIÓN

En la industria Colombiana, especialmente en el sector de los productos alimenticios se ven problemas que conllevan al perjuicio de las personas, esto se hace a través del consumo de productos alimenticios los cuales se encuentran en estado de descomposición y cuyas fechas de vencimiento son adulteradas o no son casi notorias. Es por esto, que en Colombia se han creado entidades que se encargan de todo lo que tiene que ver con la parte sanitaria o sobre los registros de salud como el INVIMA "Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos".

El INVIMA en estos últimos años, ha optado por implementar una serie de registros o normas sanitarias con el fin de que todo producto que salga al mercado para el consumidor cumpla con todas las exigencias sanitarias, para así tener un mejor control sobre estos. De esta forma, se está evitando que el consumidor corra el riesgo de adquirir productos en estado de descomposición. Para ello, el INVIMA creó una normatividad la cual es la base de nuestro caso de estudio y se trata del registro "711 99 INVIMA" la cual hace referencia a la exigencia de la identificación de lotes de fabricación y vencimiento de productos alimenticios perecederos.<sup>1</sup>

Es decir, es obligatorio y necesario que el producto lleve consigo la fecha de elaboración y vencimiento para así evitar sanciones las cuales pueden llegar al cierre de la empresa y al pago de costosas multas. La dificultad que comúnmente

---

<sup>1</sup> Invima.

se observa en las empresas, es que envían a elaborar únicamente la fecha de vencimiento al empaque que compran directamente en la empresa fabricante. Si el empaque tiene poca rotación, a la hora de usarse estos materiales, puede que ya este con menos tiempo para la fecha de vencimiento, lo cual puede llegar a provocar la pérdida del empaque, que significa pérdidas para la empresa, o puede que el tiempo de vencimiento sea tanto, que el producto ya se encuentre en estado de descomposición sin que su fecha de vencimiento diga lo contrario.

Lo que se desea realizar a través de este proyecto es diseñar y elaborar un prototipo de un dispositivo Mecatrónico, dotado con componentes de control de temperatura, dispositivos neumáticos, electrónicos, y sensores todos estos trabajando en conjunto con el fin de realizar la función de estampado de la fecha de elaboración y vencimiento al empaque del producto en el mismo instante en que se está realizando el proceso de empaquetado; esto con el fin de obtener un mayor control de calidad sobre el producto y así cumplir con los requisitos y normas impuestas por el INVIMA.

En el mercado, encontramos dispositivos capaces de realizar esta función, el problema es que tienen un alto costo debido a la tecnología que poseen, por ejemplo, encontramos sistemas de marcación a través de láser o inyección, los cuales producen el marcado a través de un chorro de tinta la cual queda impresa superficialmente en el empaque del producto sin hacer contacto con este. Debido al elevado costo de estos dispositivos de marcación, se hace casi imposible que las microempresas los adquieran, por eso se ha pensado en tomar dispositivos ya elaborados que resulten más económicos que los de tinta a chorro y además mejorar la eficiencia de estos, es decir mejorar su tecnología y rendimiento.

Es por esto, que el prototipo a desarrollar estará constituido por un sistema que llevará una cinta de película plástica, la cual resulta muy económica en el mercado a comparación de la tinta del dispositivo de inyección. Al usar esta cinta también se deberá tener en cuenta una excelente visibilidad de la codificación en los empaques ya que estos mejoran o empeoran la imagen del producto, además conviene ahorrar y controlar la cinta estampadora foil con miras a alcanzar mejores resultados para la codificación del empaque de los productos alimenticios perecederos.

Al ser más económico el dispositivo, las microempresas podrán hacerse acreedoras de este, además satisfacer, y cumplir con las normas propuestas por el INVIMA, para así obtener un excelente desempeño a la hora de su uso.

# 1. FUNDAMENTOS DE NEUMÁTICA Y ELECTRONEUMÁTICA

## 1.1 SISTEMAS ELECTRONEUMÁTICOS

Las combinaciones de la electricidad y la neumática se usan frecuentemente en máquinas e instalaciones. La principal aplicación de los sistemas electroneumáticos se encuentran en aquellos casos en los que el aire comprimido se usa como fuente de energía con la ayuda de cilindros, mientras que los distribuidores son accionados eléctricamente.

La aplicación de la neumática es más ventajosa y es excepcionalmente más adecuada; como argumentos para la utilización de esta, se pueden citar los siguientes:

- Amplia disponibilidad de aire.
- Compresibilidad de aire.
- Facilidad para transportar el aire en recipientes a presión, contenedores, y tubos largos.
- Características del medio de ser a prueba de incendios.
- Construcción sencilla de los elementos neumáticos y facilidad en su manejo.
- Alto grado de facilidad de control de la presión, velocidad y fuerza.
- Posibilidad de un fácil, pero razonablemente confiable, control a distancia.
- Mantenimiento más fácil.
- Características del medio de ser a prueba de explosión.
- Costos comparativamente más bajos en relación con otros sistemas.

En los casos donde existe un gran peligro de incendio o explosión, ambientes mojados, altas temperaturas, radiaciones, campos magnéticos, etc, se prefiere el uso exclusivo de la neumática.

## **1.2 CILINDROS NEUMÁTICOS**

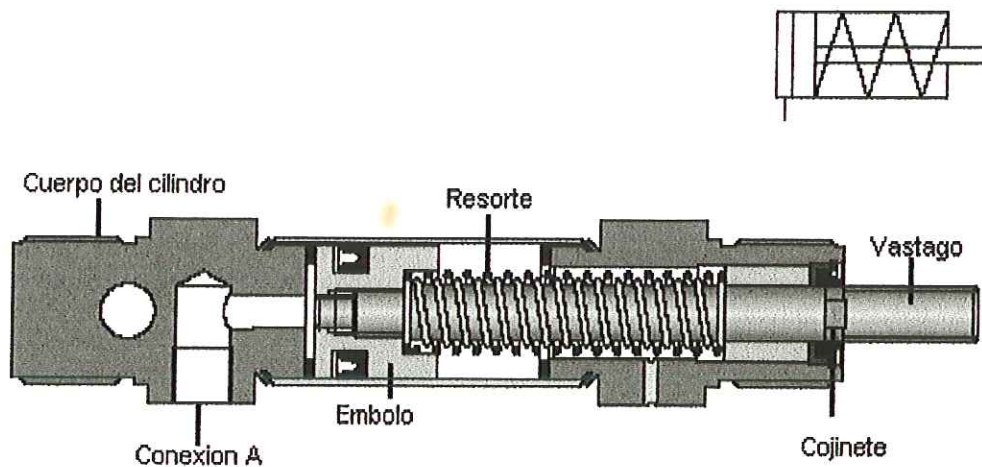
Los cilindros neumáticos ofrecen un movimiento rectilíneo a elementos mecánicos; estos se clasifican como de servicio ligero, mediano o pesado, con respecto a su aplicación. La selección de los materiales para los componentes del cilindro depende en gran parte de este factor. En relación con su funcionamiento, los cilindros pueden ser de simple o de doble acción; además, se pueden clasificar como cilindro de diafragma, duplex, de varilla pasante, etc, en ciertos momentos puede ser máxima importancia el amortiguamiento en la posición final de los cilindros. Sin embargo, si el recorrido de los cilindros no es hasta el final de la carrera, no es necesario que los diseñadores prefieran los cilindros amortiguados. A la varilla del pistón de los cilindros se le da un tratamiento especial, ya que es la parte que recibe esfuerzos intensos. Para la lubricación de los cilindros, la más común es la de *neblina*.

## **1.3 TIPOS DE CILINDROS**

La potencia neumática se convierte en movimientos recíprocos rectilíneos por medio de cilindros neumáticos. Según el principio de operación, los cilindros neumáticos se pueden subdividir como: i) de simple acción y ii) de doble acción.

**1.3.1 Cilindro de simple acción.** En un cilindro de simple acción, el aire comprimido se alimenta solo en uno de sus lados. Por consiguiente, este cilindro puede producir trabajo solo en una dirección. El movimiento de retorno del pistón se efectúa por medio de un resorte ínterconstruido o por la aplicación de una fuerza externa. El resorte está diseñado para regresar el pistón hasta su posición inicial con una velocidad suficientemente alta. En la [Figura 1.] se ilustra un cilindro de simple efecto.

Figura 1. Cilindro de simple efecto.

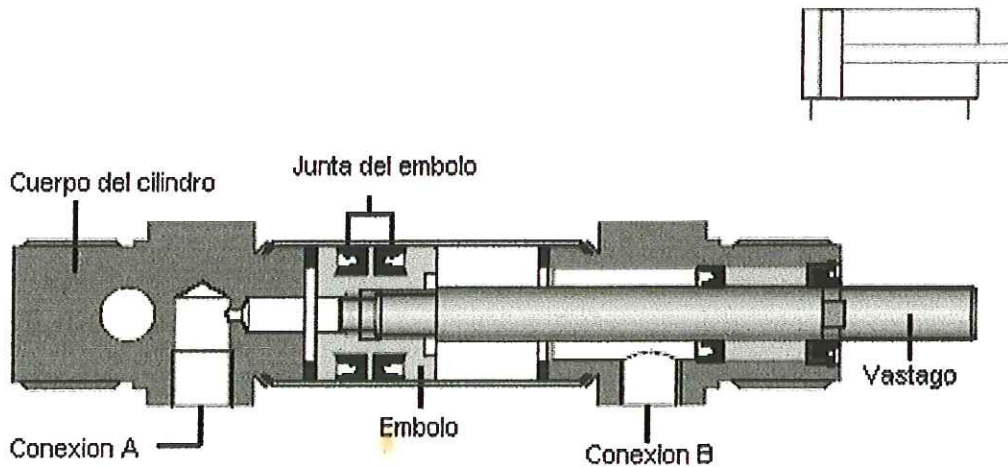


Manual de neumática básica Festo.

**1.3.2 Cilindro de doble acción.** En la [Figura 2.] se tiene la ilustración de un cilindro de doble acción. En un cilindro de doble acción, la fuerza ejercida por el aire comprimido mueve el pistón en las dos direcciones. En particular, se usan cuando se requiere que el pistón realice el trabajo no solo en el movimiento de avance sino también en el de retorno. En principio, la longitud de la carrera no está limitada, aún cuando se deben considerar el pandeo y la flexión antes de

seleccionar el tamaño particular del diámetro del pistón, longitud de la varilla y longitud de la carrera.

Figura 2. Sección de un cilindro de doble efecto.



Manual de neumática básica Festo.

## 1.4 CÁLCULO DE FUERZA

La fuerza desarrollada por un cilindro de doble efecto al avanzar el vástago depende de la presión del aire, de la sección del émbolo y del rendimiento o pérdidas por rozamiento en las juntas dinámicas. En el retroceso será preciso considerar también el diámetro del vástago.

En los cilindros de simple efecto, como el trabajo neumático sólo se realiza en un sentido, será necesario considerar la reacción del resorte de recuperación que se opone al movimiento y por tanto, reduce la fuerza útil.

Generalmente la fuerza de un cilindro se calcula para una presión de aire de unos 6 bares, que es la que normalmente garantiza la red de distribución. Eso significa que puedan ser consideradas otras presiones por encima o por debajo de la mencionada. En todos los casos, y dada la facilidad con que se regula la presión, es conveniente sobredimensionar algo el cilindro por sí accidentalmente, en un momento determinado, la red proporciona una presión inferior a la estimada en principio.

En cuanto al rendimiento de los cilindros, depende del diseño del mismo y, por tanto, del fabricante. Si no se dispone de datos más precisos, y a modo de orientación, basta considerar:

Para cilindros de hasta  $D = 40 \text{ mm}$        $R = 0.85$

Para cilindros superiores a  $D = 40 \text{ mm}$     $R = 0.95$

Donde:

$D$  = Diámetro del cilindro

$R$  = Rendimiento del cilindro

En cilindros de doble efecto, la fuerza efectiva de avance será:

$$F_a = \frac{\pi}{4} (D^2 * p * R) \quad (1.1)$$

$F_a$  = Fuerza del cilindro en daN [*daN: decanewton=10N*] (o en kp)



$p$  = Presión del aire en bar (o  $\text{kp}/\text{cm}^2$ )

La fuerza en el retroceso para estos mismos cilindros será:

$$Fr = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) * p * R \quad (1.2)$$

$d$  = Diámetro del vástago en cm

En cuanto a los cilindros de simple efecto con retorno por muelle, la fuerza de avance, o fuerza efectiva de trabajo será:

$$Fa = \frac{\pi}{4} * D^2 * p * R - Fm \quad (1.3)$$

Siendo:

$Fm$  = Fuerza de resorte dada en daN (o kp)

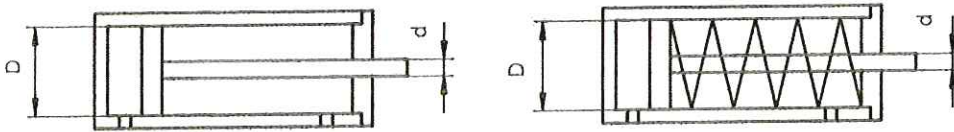
Los fabricantes de cilindros de simple efecto, proporcionan datos de fuerza de empuje para diferentes posiciones del vástago. Como se sabe, la fuerza o resistencia que opone un resorte al ser comprimido depende de la deformación axial a la cual se le somete. La fuerza es directamente proporcional a la deformación, por tanto, en el empuje, la máxima fuerza la realiza el cilindro al iniciar la marcha, y la mínima, al finalizar el recorrido de avance.

En la [Tabla 1.] se indican fuerzas teóricas en daN de avance y retroceso del vástago en cilindros de doble efecto para presiones entre 2 y 8 bar. Para obtener la fuerza real será preciso multiplicar dicha fuerza por el rendimiento. Así pues:

$$F_{ra} = F_a \cdot R \quad \text{Fuerza real para el avance}$$

$$F_{rr} = F_r \cdot R \quad \text{Fuerza real para el retroceso}$$

Figura 3. Cilindros de doble y de simple efecto.



Neumática.

Tabla 1. Fuerzas teóricas en cilindros de doble efecto.

D mm	d mm	Sección cm <sup>2</sup>		Esfuerzos en daN para presión en bar							
				2		4		6		8	
		Sa	Sr	Fa	Fr	Fa	Fr	Fa	Fr	Fa	Fr
10	4	0,80	0,60	1,6	1,2	3,2	2,4	4,8	3,6	6,4	4,8
12	6	1,10	0,80	2,2	1,6	4,4	3,2	6,6	4,8	8,8	6,4
16	6	2,00	1,70	4,0	3,4	8,0	6,8	12,0	10,2	16,0	13,6
20	10	3,10	2,30	6,2	4,3	12,4	8,6	18,6	13,8	24,8	17,2
25	12	4,90	3,80	9,8	7,6	19,6	15,2	29,4	22,8	39,2	30,4
32	12	8,00	6,9	16,0	13,8	32,0	17,6	48,0	41,4	64,0	55,2
40	18	12,60	10,00	25,2	20,0	50,4	40,0	75,6	60,0	100,8	80,0
50	18	19,60	17,00	39,2	34,0	78,4	68,0	117,6	102,0	156,8	136,0
63	22	31,20	27,4	62,4	54,8	124,8	109,6	187,2	164,4	249,6	219,2
80	22	50,30	46,5	100,6	93,0	201,2	186,0	301,8	279,0	402,4	372,0
100	30	78,50	71,5	157,0	143,0	314,0	286,0	471,0	429,0	628,0	572,0
125	30	123,0	115,7	246,0	213,4	492,0	462,8	738,0	694,2	984,0	925,6
160	40	201,0	188,0	402,0	376,0	804,0	752,0	1206,0	1128,0	1608,0	1504,0
200	40	314,0	301,0	628,0	602,0	1256,0	1204,0	1884,0	1806,0	2512,0	2408,0
250	50	491,0	471,0	982,0	942,0	1964,0	1884,0	2946,0	2826,0	3928,0	3768,0

Neumática.

## 1.5 VELOCIDAD DEL PISTÓN

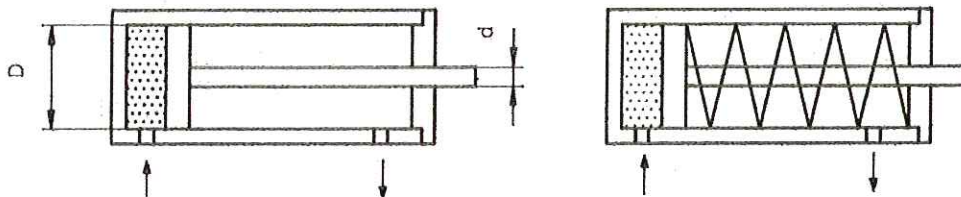
La velocidad del pistón en un cilindro neumático depende de la fuerza contraria, la presión prevaleciente del aire, la longitud del tubo, el área de la sección transversal de la lumbrera de la válvula y el gasto, así como del amortiguamiento en la posición final. La velocidad promedio del pistón es de más o menos 0.1 a 1.5 m/s. Con impacto, la velocidad del cilindro llega hasta 10 m/s.<sup>2</sup>

## 1.6 CONSUMO DE AIRE EN CILINDROS

El consumo de aire en cilindros o en otros actuadores es de vital importancia para evaluar las dimensiones del compresor y del depósito, o simplemente para conocer el gasto energético de los elementos neumáticos.

A diferencia de la oleohidráulica, donde el aceite circula en un circuito cerrado, en la neumática el aire una vez utilizado, es expulsado al exterior.

Figura 4. Consumo de aire en cilindros.



Neumática.

<sup>2</sup> Neumática, Antonio Serrano Nicolás.

El consumo de aire de un cilindro depende de varios factores: sección del cilindro, carrera del mismo, frecuencia del ciclo y presión de trabajo.

Normalmente el consumo de aire en litros se expresa a presión atmosférica o a presión del aire libre. Pero no solamente consume aire el cilindro sino que el resto de componentes, incluidas las tuberías, contribuyen también a aumentar el consumo.

En los cilindros de doble efecto, [Figura 4.], será preciso considerar el ciclo completo, es decir, avance y retroceso del émbolo; en cambio, en los de simple efecto bastará con tener en cuenta el consumo en el avance, que es cuando se alimenta de aire a la presión de trabajo.

En cilindros de doble efecto, el volumen de aire necesario por ciclo completo de ida y vuelta a la presión de trabajo es:

$$V = \frac{\pi}{4}(2D^2 - d^2) * C \quad (1.4)$$

Siendo:

$V$  = Volumen de aire

$D$  = Diámetro interior del cilindro en cm

$d$  = Volumen del vástago en cm

$C$  = Carrera del vástago en cm

El volumen de aire para el mismo cilindro a la presión atmosférica será:

$$V = \frac{\pi}{4}(2D^2 - d^2) * C * p \quad (1.5)$$

Siendo:

$p$  = Presión de trabajo del cilindro en bar

En el caso de consumo de aire o cantidad de aire que circula por una tubería, suele emplearse el término *caudal*, que es la cantidad de aire que circula por una tubería en un determinado tiempo. Normalmente se expresa en litros por minuto.

Si se considera que el cilindro de doble efecto realiza un número de ciclos por minuto, se tendrá que el caudal será:

$$Q = \frac{\pi * C * p * n}{4.000} (2D^2 - d^2) \quad (1.6)$$

Siendo:

$Q$  = Caudal en l/min a la presión atmosférica

$n$  = Numero de ciclos / minuto

En el caso de cilindros de simple efecto, el caudal será:

$$Q = \frac{\pi * C * p * n * D^2}{4.000} \quad (1.7)$$

Las expresiones anteriores indican solamente el caudal consumido por los cilindros. No se tiene en cuenta los consumos de tuberías y resto de elementos neumáticos que, al estar en contacto con la atmósfera en determinadas fases del ciclo, también se pierden. De una forma orientativa, estos consumos adicionales se estima que pueden estar comprendidos entre el 20% y el 30% del consumo de los cilindros. Por tanto, a los valores anteriores es preciso sumar este porcentaje.<sup>3</sup>

## 1.7 FIJACIONES EN LOS CILINDROS

Cuando se proyecta un mecanismo accionado neumáticamente, si éste utiliza cilindro, normalmente es un elemento comercial elegido dentro de la amplia gama que se encuentra en el mercado. Existen cilindros de muy diversas formas y tamaños estudiados para cada uso en particular y con diferentes anclajes.

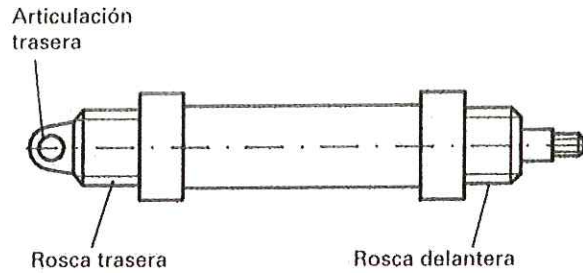
Se han seleccionado los más frecuentes que son por rosca en el cuerpo, por placa base delantera y trasera, por patas o escuadras y por articulación trasera. En todos ellos se parte de un cuerpo básico al cual se le adaptan las distintas fijaciones.

En la [Figura 5.] se muestra un cilindro convencional de cuerpo básico dotado de rosca delantera y trasera en el cuerpo, y de oscilación trasera. Aquí puede emplearse una de las roscas para realizar el anclaje a un soporte roscado también.

---

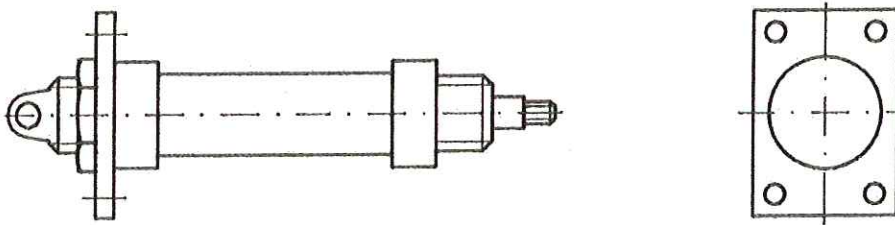
<sup>3</sup> Neumática, Antonio Serrano Nicolás.

Figura 5. Cilindro de cuerpo básico.



Neumática.

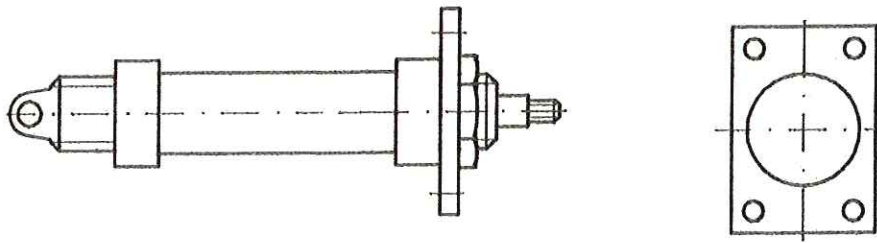
Figura 6. Fijación por placa trasera.



Neumática.

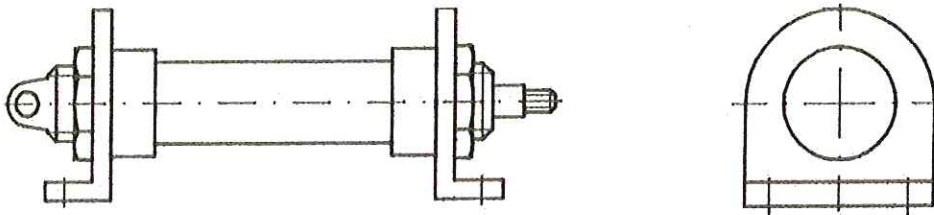
En la [Figura 6.] se representa un anclaje por placa trasera. La fijación de esta placa normalizada se realiza en la propia rosca del cuerpo mediante la correspondiente tuerca. Lo mismo ocurre con la fijación por placa delantera que se muestra en la [Figura 7.]. Ambas fijaciones son rígidas impidiendo cualquier movimiento del cilindro.

Figura 7. Fijación por placa delantera.



Neumática.

Figura 8. Fijación por escuadras.



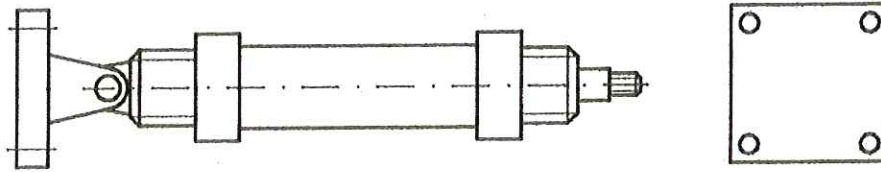
Neumática.

La [Figura 8.] indica una fijación por escuadras o patas, para lo cual se aprovechan también las roscas del cuerpo para sujetarlas al cilindro mediante tuercas. Al igual que los dos casos anteriores, este tipo de fijación evita cualquier movimiento del cilindro.

Para terminar con los tipos más representativos, se muestra en la [Figura 9.] una fijación por articulación trasera. Aquí se fija el soporte al cilindro mediante un bulón que permite un giro del cilindro alrededor del eje de dicho bulón. Es una solución muy empleada en casos de accionamiento de palancas o bielas que describen movimientos rotativos alrededor de un punto.



Figura 9. Fijación por articulación.



Neumática.

Figura 10. Horquilla hembra.

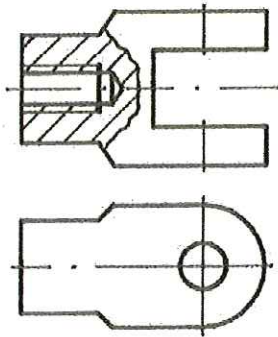
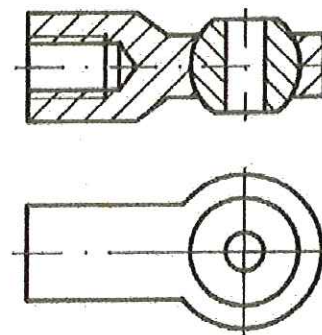


Figura 11. Fijación por rótula.



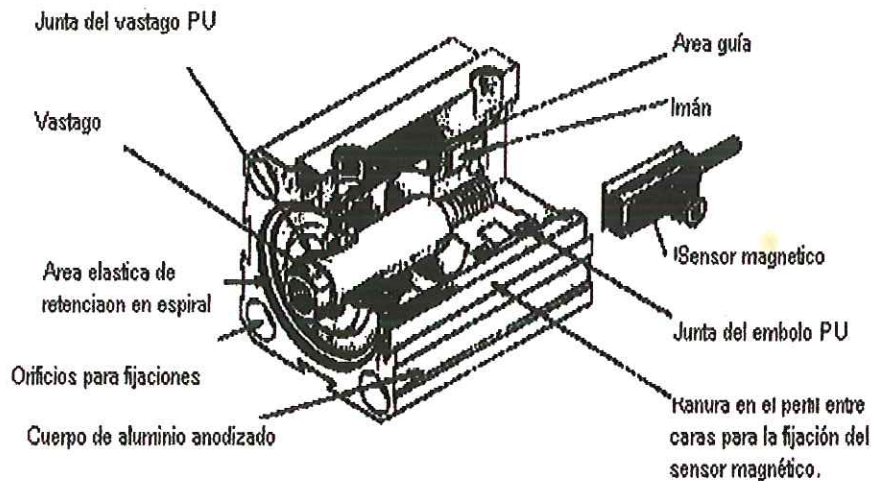
Neumática.

También para los vástagos existen fijaciones normalizadas. La mayoría de los cilindros, sean del tipo que sean, se comercializan con el vástago roscado en el extremo para unirlo al mecanismo por accionar. La fijación por rosca es la más frecuente, pero existen otras soluciones. En la [Figura 10.] se muestra una horquilla con contratuerca, se asegura contra el giro. En la [Figura 11.] se muestra una solución interesante por rótula que permite montajes cuando se prevén ciertas desalineaciones entre el cilindro y la parte solidaria al vástago.

## 1.8 CILINDROS DE CARRERA CORTA

Los cilindros compactos de carrera corta son aquellos cilindros neumáticos de simple o doble efecto de aspecto prismático contruidos a partir de barras de aluminio extruido.

Figura 12. Sección descriptiva de la disposición interna de los cilindros neumáticos compactos de doble y simple efecto con imán en él embolo.



Automatización neumática y electroneumática.

Desprovistos de amortiguación final de carrera regulable, se emplean en operaciones de fijación. No permiten accionamientos de mecanismos que adquieran energía cinética apreciable. Para limitar la velocidad de accionamiento se fabrican con pequeños orificios de alimentación en relación con su diámetro; en general, se fabrican con carreras cortas.

En el émbolo disponen de un imán que permite actuar sobre microinterruptores magnéticos que, situados en el exterior y, ajustados en ranuras longitudinales, puedan dar señales eléctricas a los sistemas eléctricos de control.

## **1.9 VÁLVULAS DISTRIBUIDORAS Y DE MANDO**

Las válvulas son elementos concebidos para controlar el arranque, parada, dirección y sentido del flujo de aire en un circuito neumático. Cumplen la función de válvulas distribuidoras cuando se utilizan para gobernar todo tipo de actuadores, bien sean lineales como los cilindros, rotativos como los motores neumáticos, o pinzas. Como válvulas de mando o pilotaje, se emplean en general para gobernar de forma directa o indirecta, las válvulas distribuidoras anteriores. Estas válvulas de mando o pilotaje, se montan en los circuitos en paneles de mando, para ser manipuladas voluntariamente por el operador de la máquina, o bien se montan cerca de los actuadores, para ser pulsadas mecánicamente por dichos elementos. Unas y otras válvulas funcionan bajo el mismo principio y con la misma representación simbólica. Sólo se diferencian en los circuitos, por la función que cada una de ellas cumple y también, a veces, por el tipo de mando.

## **1.10 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA Y FUNCIÓN CARACTERÍSTICA DE LAS VÁLVULAS**

Las válvulas de control de dirección se usan principalmente para dirigir el flujo del fluido a presión en la dirección deseada. Las funciones principales de estas válvulas es iniciar y suspender el flujo de aire, así como regular su dirección y ayudar a la distribución del aire en la línea deseada. Se pueden accionar, para que

tomen diferentes posiciones, mediante diversos medios de accionamiento: eléctrico, mecánico, neumático u otros modos de control. Esto conduce a la conexión o interrupción correspondientes del flujo entre diversas lumbreras. En general, la válvula de control de dirección tiene dos, tres, cuatro o cinco lumbreras o aberturas. Las aberturas se mencionan como vías o lumbreras. Las vías se designan mediante letras, como:

*P*: Lumbrera de la línea del compresor

*R*: Lumbreras de escape

*A, B*: Lumbreras de trabajo, hacia los cilindros o motores.

**1.10.1 Posición de la válvula.** En general, la válvula de control de la dirección tiene dos o tres posiciones de trabajo. Estas son:

- Posición normal o cero (natural), o bien, posición neutra.
- Posición de trabajo (pueden haber dos o mas posiciones de trabajo).

Las posiciones se numeran principalmente como 0, 1, 2. Las válvulas de control de dirección se designan para indicar tanto el número de vías como el número de posiciones de trabajo, como la válvula de control de dirección 4/2, 3/2, etc. Esto significa que se trata de una válvula de 4 vías / 2 posiciones, una de 3 vías / 2 posiciones, etcétera.

Se necesita diferenciar las posiciones neutra y de operación. En las válvulas de control de dirección con retorno por resorte, la posición neutra se define como aquella a la que la válvula regresa después que se ha retirado la fuerza de accionamiento. En todos los sistemas de control de la energía de fluidos, la posición neutra se indica como "0".

Las válvulas de control sin resorte o posición neutra permanecen en la posición que ya hayan alcanzado después de retirar la fuerza de accionamiento (válvula de impulsos). La posición de arranque o posición inicial se define como la posición tomada por la válvula (debido al encajamiento del resorte de la válvula de control de dirección de resorte) después de la instalación. La válvula toma las posiciones de trabajo cuando se acciona.

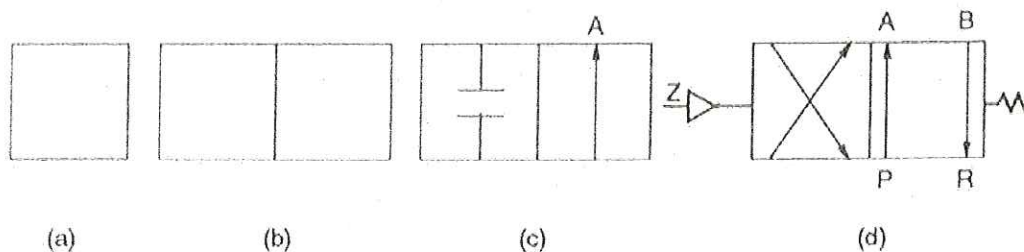
Para representar las válvulas en el diagrama de circuito, se usan símbolos. En el símbolo, cada posición se denota mediante cuadrados. Dos posiciones se representan por dos cuadrados adyacentes. Se debe tener presente que los símbolos solo muestran el aspecto funcional de la válvula y no su principio de diseño o detalles de construcción. En relación con los símbolos, se debe hacer notar la terminología siguiente [Figura 13.]:

1. La posición de una válvula se representa por un cuadrado [Figura 13. (a)].
2. El número de cuadrados es igual al número de posiciones distintas que puede tomar la válvula [Figura 13. (b)].
3. En el interior de un cuadrado, las flechas indican el flujo y las puntas de las flechas, la dirección de ese flujo [Figura 13. (c)].
4. Los cortes del flujo de aire se muestran por medio de cortos segmentos rectilíneos en el interior del cuadrado [Figura 13. (c)].
5. Las conexiones hacia las lumbreras de admisión o de salida solo se trazan hacia una posición de conexión; es decir posición inicial o neutra.

6. Las otras posiciones se obtienen al desplazar el conjunto de cuadrados hasta que las conexiones se hagan coincidir con las líneas correspondientes del cuadrado.
7. Las conexiones se denotan por medio de letras latinas mayúsculas [Figura 13. (d)].
8. Las conexiones de las líneas de trabajo se indican por A, B, C.
9. La conexión a la línea del compresor (la fuente de presión) se indica por P, y a las líneas de retorno por R, S, T.
10. Las líneas piloto se indican por X, Y, Z. La válvula de control de dirección se abre y se cierra, respectivamente, para un flujo de aire y determina la dirección de ese flujo. En las designaciones como 4/2, etc., el primer dígito indica el número de conexiones o aberturas funcionales; por ejemplo, cuatro aberturas.

El segundo dígito en la designación indica el número de posiciones distintas; por ejemplo, dos posiciones.

Figura 13. Simbología, posicionamiento, y accionamiento de una válvula.



Neumática.

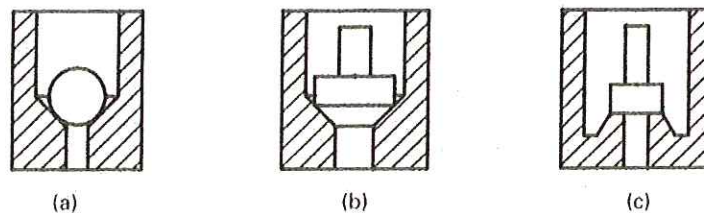
## 1.11 TIPOS DE VÁLVULAS

Los tipos de válvulas pueden dividirse según su forma constructiva, según la función que cumplen y según el tipo de mando que se utiliza para ser accionadas.

En lo que se refiere a la forma constructiva pueden hacerse dos divisiones claramente diferenciadas: válvulas de asiento y válvulas de corredera.

Las válvulas de asiento, a su vez, pueden ser de bola [Figura 14. (a)], de cono [Figura 14. (b)] y de disco plano, [Figura 14. (c)].

Figura 14. Válvulas de asiento.

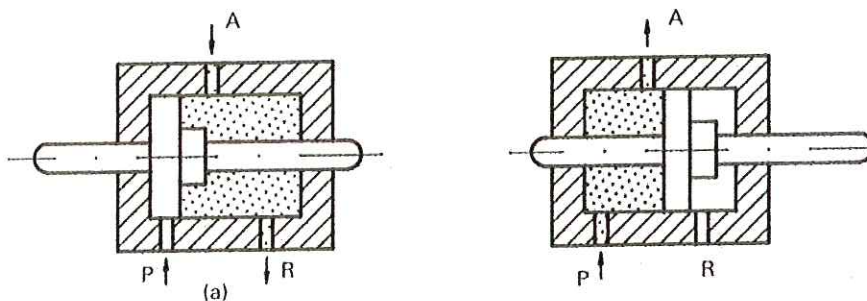


Neumática.

En este tipo de válvulas, los orificios se abren y se cierran utilizando asientos de distintos tipos y emplean en el contacto elementos elásticos que ayudan a asegurar la estanqueidad. Sufren poco desgaste ya que no hay deslizamiento entre las partes de cierre, pero si requieren un cierto grado de apriete axial para vencer la acción de muelles antagonistas y garantizar la hermeticidad. Cuando se produce el cierre por presión neumática, la misma presión ayuda a mantener una mayor fuerza de contacto y, por tanto, un aumento de dicha estanqueidad.

Las válvulas de corredera basan su funcionamiento en un émbolo cilíndrico con diferentes rebajes, que se desplaza axialmente y que reparte el flujo a las distintas conexiones, según se muestra en la [Figura 15.] en el caso (a) la corredera se encuentra en el extremo izquierdo permitiendo que se comunique (A) con (R), mientras que la toma de presión (P), se halla cerrada. Desplazando el pistón hacia la derecha, comunicaría (P) con (A), y (R) se encontraría cerrado. En estas válvulas el esfuerzo para la conmutación de las vías es menor pero, en cambio, el recorrido es más elevado que en las válvulas de asiento. Son también más sensibles a la suciedad y con el tiempo sufren un mayor desgaste por rozamiento.

Figura 15. Funcionamiento de una válvula de corredera.



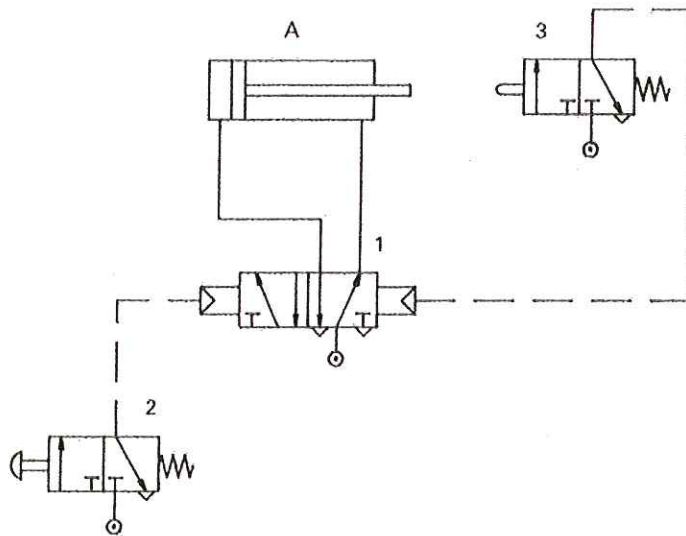
### Neumática.

Según la función que cumplen pueden clasificarse en tres tipos: distribuidoras de flujo a los actuadores o elementos de trabajo, de mando de otras válvulas por accionamiento manual, y captadoras o detectoras de señal o posición. Estas funciones pueden apreciarse en el circuito elemental mostrado en la [Figura 16.] la válvula principal es la (1), que distribuye el caudal a las dos cámaras del cilindro. Son válvulas lo suficientemente dimensionadas como para que a través de ellas circule el caudal que alimenta a los cilindros. No ocurre así con la de mando (2) de puesta en marcha en el sistema, ni con la válvula captadora de posición (3), que



deben ser de reducido tamaño, ya que no circula flujo a través de ellas. Se trata aquí de conseguir que con una pulsación voluntaria de la válvula (2), el vástago del cilindro avance hasta el final, y retroceda a su posición inicial de forma automática una vez accionada la válvula (3) de final de carrera o detectora de esa posición. Como puede verse la (2) y la (3) cumplen una función similar comandando o piloteando el distribuidor principal (1). Pero en el circuito, están ubicadas en lugares diferentes y el accionamiento también es distinto. La (2) puede montarse en cualquier lugar de la máquina, siempre que pueda ser manipulada por el operador de la misma. En cambio, la (3) ha de situarse de forma estratégica, de forma tal que pueda ser accionada mecánicamente por el propio cilindro o por el mecanismo solidario a él.

Figura 16. Válvulas con distintas funciones.



Neumática.

Otra clasificación que diferencia a las válvulas es el tipo de accionamiento, ya que necesitan de alguna fuerza para mover la corredera, o el pistón de las de asiento. Existen las de accionamiento manual por pulsador, palanca o pedal, y las de accionamiento mecánico activadas por algún elemento móvil de la máquina, donde el accionamiento puede ser de palpador, de ruleta normal abatible, varilla elástica, o simplemente de un resorte de recuperación.

Las válvulas de accionamiento neumático son aquellas en las cuales se aprovecha la presión del aire comprimido para lograr la fuerza necesaria para el desplazamiento axial de la corredera. Necesitan de otras válvulas más pequeñas que las gobiernen. Y para terminar esta clasificación, es preciso mencionar a las de accionamiento eléctrico, denominadas también electroválvulas. En estas se aprovecha la fuerza de un electroimán para conseguir el desplazamiento de la corredera. Aquí ha de intervenir la energía eléctrica con su correspondiente circuito además del circuito neumático.<sup>4</sup>

## **1.12 ROSCAS DE CONEXIÓN Y PASO NOMINAL**

Como ya se ha indicado anteriormente, la velocidad de traslación del émbolo de un cilindro para uso industrial normal, puede llegar a ser de hasta 1 m/s. Esta velocidad dependerá de la velocidad del fluido, del diámetro interior de las tuberías y longitud de las mismas, y del paso interior de las propias válvulas.

La elección del tamaño de la válvula es fundamental y es el elemento que primero se elige. Una válvula excesivamente reducida estrangula el caudal y, al ser el caudal insuficiente, la velocidad del pistón se verá disminuida. Por otra parte, las pérdidas de carga que se originen harán también que el rendimiento disminuya.

---

<sup>4</sup> Neumática, Antonio Serrano Nicolás.

Una válvula excesivamente dimensionada supondrá un mayor costo de la instalación. Será, por tanto, necesario elegir el tamaño más razonable y económico. En cuanto a la elección del tubo, de una forma o de otra estará siempre condicionado al tamaño de dicha válvula.

Las formas constructivas de las válvulas hacen que el aire, al pasar por el interior, sea estrangulado y el sentido del flujo continuamente modificado, originando importantes pérdidas de carga que son inevitables. Estas pérdidas son mayores en las válvulas de corredera ya que el fluido pasa con mayores dificultades.

Las velocidades más normales de los cilindros oscilan entre 0.10 y 0.40 m/s. Mayores velocidades no son convenientes debido a desgastes prematuros en vástagos, choques bruscos de los mecanismos y al vencimiento de la inercia al pasar al reposo a elevadas velocidades de trabajo.

La elección de la válvula más conveniente en cada caso no representa problema alguno en neumática. Para las velocidades de los cilindros anteriormente especificados pueden seguirse las recomendaciones dadas en la [Tabla 2.], donde la válvula se elige en función de la rosca de conexión de la diferente toma.

Las conexiones que se han impuesto de forma definitiva en neumática vienen dadas en Roscas Gas que, como se sabe, es rosca de paso fino que contribuye a aumentar la estanqueidad en los racores de unión. La elección depende del diámetro del cilindro que hay que gobernar. El agujero roscado de las tomas es superior al paso nominal interior que, con pequeñas diferencias, varía con el fabricante y con el tipo de la válvula.

Estas diferencias entre el agujero roscado y el paso nominal están justificadas por la disminución de secciones importantes que experimenta el racor, entre la rosca exterior y el paso efectivo interior. Las roscas dadas en la [Tabla 2.] se refieren a

la toma principal de distribución de fluido; las tomas para el pilotaje de las de accionamiento neumático pueden ser de agujero más reducido.

Cuando se desee velocidades mayores en los cilindros, pueden adaptarse válvulas de paso inmediato superior con racores y tuberías aumentadas también. Estas medidas pueden ir acompañadas de la incorporación en las salidas de los cilindros de válvulas de escape rápido, para evitar que en dichas salidas el aire recorra toda la tubería y atraviesa todo el interior del distribuidor.

Para velocidades menores que las recomendadas, puede seguirse el proceso inverso montando una válvula de paso inferior, o bien, como es más frecuente, incorporando en las tomas de los cilindros reguladores de caudal que permitan obtener voluntariamente velocidades mínimas del vástago, estrangulando el caudal.

Tabla 2. Tabla para elección de una válvula distribuidora.

Rosca GAS	Diámetro exterior mm	Diámetro interior mm	Paso en hilos pulgada	Diámetro nominal de paso mm	Caudal normal aproximado l/min	Diámetro del cilindro mm
G 1/8	9,73	8,75	28	3 a 5	Hasta 180	Hasta 50
G 1/4	13,16	11,50	19	6 a 8	Hasta 1150	50 a 80
G 3/8	16,66	15,00	19	10 a 12	Hasta 1500	80 a 125
G 1/2	20,95	19,00	14	12 a 14	Hasta 3000	125 a 200
G 3/4	26,44	24,50	14	16 a 18	Hasta 6000	200 a 250
G 1	33,25	30,50	11	20 a 22	> de 6000	> de 250
G 1 1/4	41,90	39,30	11	40	> de 6000	> de 250
G 1 1/2	47,80	45,25	11	40	> de 6000	> de 250

Neumática.

### 1.13 ELECTROVÁLVULAS

El mando electromagnético de una válvula se utiliza cuando la señal procede de un final de carrera eléctrico, de un presostato o de un dispositivo eléctrico. A través de este tipo de mando la señal eléctrica es transformada en una señal neumática destinada a accionar el mecanismo de cierre o apertura de las distintas vías de las válvulas.

Pueden ser de asiento o de corredera indistintamente y también, de mando directo o indirecto, o servopilotadas.

Las electroválvulas de mando directo, [Figura 17.] son válvulas de pequeño formato con roscas de conexión que llegan normalmente hasta G ¼, y paso nominal hasta los 2.5 mm.

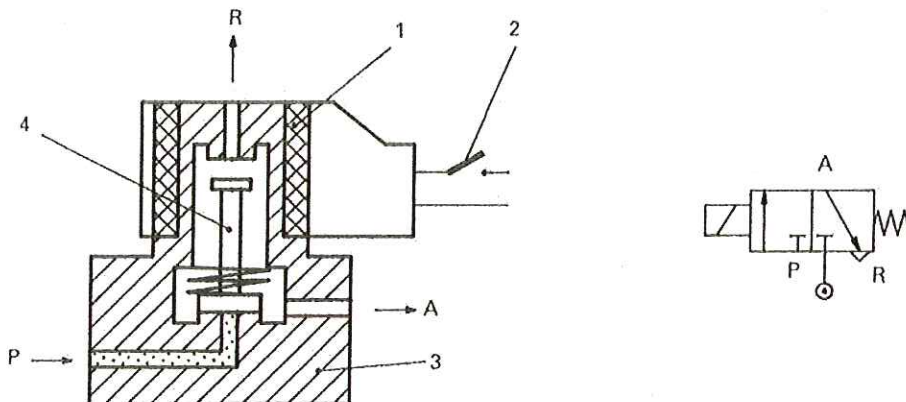
Son elementos que constan esencialmente de un cuerpo de válvula (3), de la bobina electromagnética (1) y del núcleo móvil (4), provisto de los asientos de cierre. Aunque la presentada en la figura es de accionamiento electromagnético por un lado y retorno por muelle, existen también con dos bobinas, tanto para las directas, como para las servo pilotadas, puede hacerse con corriente alterna o con corriente continua. Para las de alterna, las tensiones disponibles son de 24, 48, 110, 220, y 240 v. En corriente continua existen una gama más restringida, limitada a 24, 48, y 110v.

Como puede apreciarse en la [Figura 17.], al cerrar el contacto eléctrico (2) de alimentación de la bobina (1), se crea un campo magnético con una fuerza axial suficiente como para vencer la acción del resorte y atraer el núcleo (4). Se abre así el paso de (P) hacia (A) y se cierra a la vez la salida (R). Al dejar de alimentar la bobina, el resorte hace volver el núcleo a su posición de reposo y se cierra el

paso de (P) a (A), comunicando este último orificio con la salida a la atmósfera de (R).

Aunque para el ejemplo se ha elegido una válvula de 2 posiciones y 3 vías, es evidente que las características del cuerpo de la válvula pueden ser para otra configuración diferente con más vías y más posiciones.

Figura 17. Electroválvula de accionamiento directo.



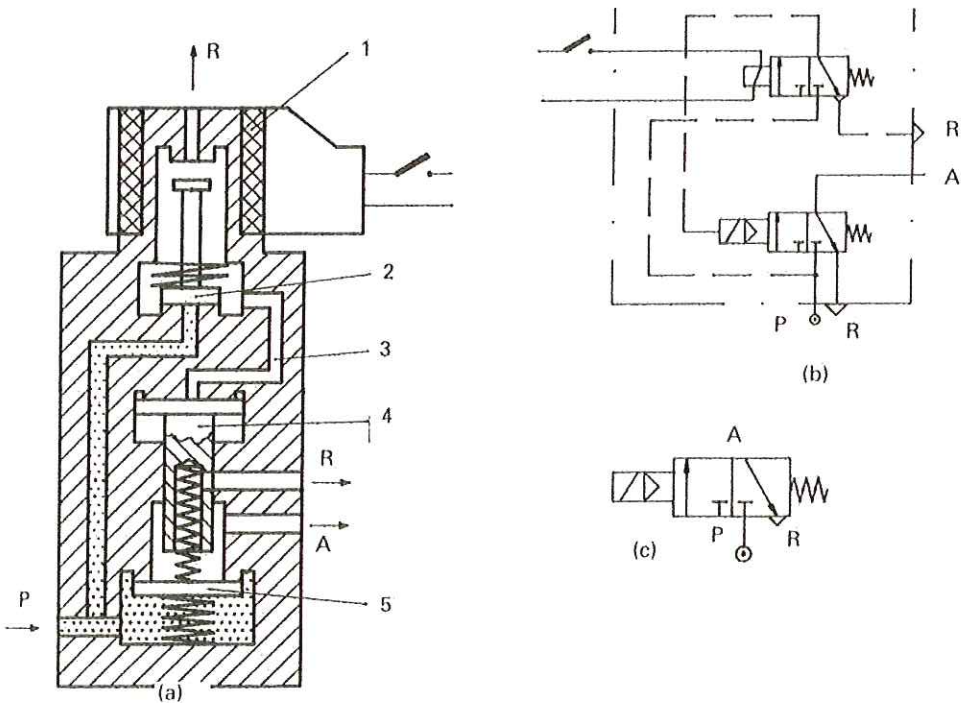
### Neumática.

En la [Figura 18.] se ha representado una válvula de asiento también, con mando indirecto o servopilotado. En estas, en una sola unidad existen dos válvulas diferentes: una para el mando o pilotaje, y la otra para distribuir el fluido a los actuadores.

Se utilizan en general para mayores pasos nominales que llegan a alcanzar los 40mm y roscas de conexión desde G 1/8 hasta G 1 1/2. Con este tipo de solución se logra gobernar en un solo conjunto, una válvula de grandes dimensiones con elementos de mando de reducido tamaño.

Como muestra en la [Figura 18. (a)], en reposo la entrada de aire a presión (P) está bloqueada, comunicando en este caso la conexión de (A) con la salida (R) del cuerpo principal. Al cerrar el circuito eléctrico, la bobina (1) se activa y desplaza el núcleo (2) cerrando (R) de la válvula de mando y comunicándose la entrada de presión (P) con el conducto de pilotaje (3). La presión aquí desplaza el núcleo (4) obstruyendo (R), y abriendo el asiento (5) hasta que comunica (P) con (A). Al cesar la alimentación eléctrica de la bobina electromagnética, los diferentes muelles hacen volver los núcleos a sus respectivas posiciones iniciales.

Figura 18. Electroválvula de accionamiento indirecto.



Neumática.

En la [Figura 18. (b)] se presenta simbólicamente esta válvula donde se aprecian en el mismo bloque las dos válvulas anteriormente descritas. En la parte superior se muestra la electroválvula, comandada por la bobina electromagnética y en la parte inferior, el distribuidor de pilotaje neumático para gobierno del actuador respectivo. El símbolo simplificado de este caso se representa en (c).



## 2. FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

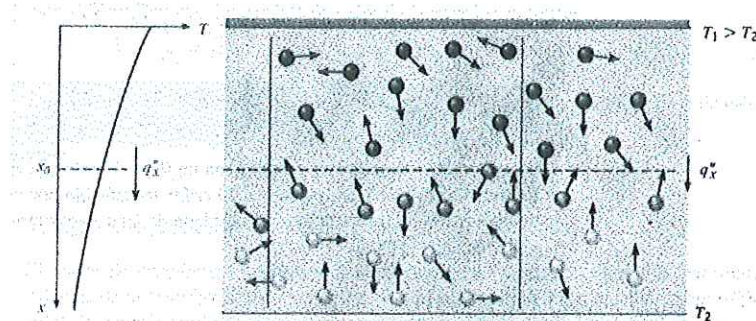
### 2.1 INTRODUCCIÓN A LA CONDUCCIÓN

La conducción se considera como la transferencia de energía de las partículas más energéticas a las menos energéticas de una sustancia debido a las interacciones entre las mismas.

Las temperaturas más altas se asocian con las energías moleculares más altas y, cuando las moléculas vecinas chocan, como lo hacen constantemente, debe ocurrir una transferencia de energía de las moléculas más energéticas a las menos energéticas.

En presencia de un gradiente de temperatura, la transferencia de energía por conducción debe ocurrir entonces en la dirección de la temperatura decreciente.

Figura 19. Asociación de la transferencia de calor por conducción.



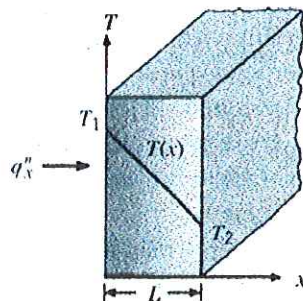
Fundamentos de Transferencia de Calor.

Esta transferencia es evidente en la [Figura 19.] las moléculas, procedentes de arriba y de abajo, cruzan constantemente el plano hipotético en  $x_0$  gracias a su movimiento aleatorio. Sin embargo, las moléculas de arriba están asociadas con una temperatura mayor que la que tiene las de abajo, en cuyo caso debe haber una transferencia neta de energía en la dirección positiva de  $x$ . Se habla de la transferencia neta de energía debida al movimiento molecular aleatorio como una difusión de energía.

Es posible cuantificar los procesos de transferencia de calor en términos de las ecuaciones o modelos apropiados. Estas ecuaciones o modelos sirven para calcular la cantidad de energía que se transfiere por unidad de tiempo. Para la conducción de calor, la ecuación o modelo se conoce como *Ley de Fourier*<sup>5</sup>. Para la pared plana unidimensional que se muestra [Figura 20.], la cual tiene una distribución de temperatura  $T(x)$ , la ecuación o modelo se expresa como

$$q''_x = -k \frac{dT}{dx} \quad (2.1)$$

Figura 20. Transferencia unidimensional de calor por conducción.



Fundamentos de Transferencia de Calor.

<sup>5</sup> Joseph Fourier, Matemático Francés (1768-1830).

El flujo de calor o transferencia de calor por unidad de área  $q_x''$  ( $W/m^2$ ) es la velocidad con que se transfiere el calor en la dirección  $x$  por área unitaria perpendicular a la dirección de transferencia, y es proporcional al gradiente de temperatura,  $dT/dx$  en esta dirección. La constante de proporcionalidad,  $k$ , es una propiedad de transporte conocida como conductividad térmica ( $W/m \cdot K$ ) y es una característica del material de la pared, el signo menos es una consecuencia del hecho de que el calor se transfiere en la dirección de la temperatura decreciente. En las condiciones de estado estable que se muestran en la [Figura 20.], donde la distribución de temperatura es lineal, el gradiente de temperatura se expresa como

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L}$$

Y el flujo de calor entonces es

$$q_x'' = -k \frac{T_2 - T_1}{L}$$

o

$$q_x'' = k \frac{T_1 - T_2}{L} = k \frac{\Delta T}{L} \quad (2.2)$$

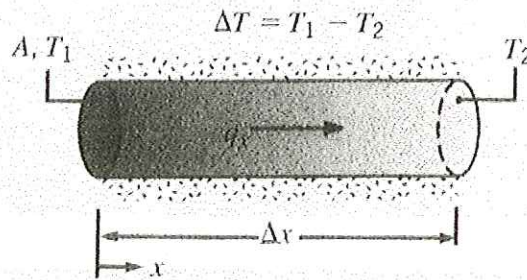
Observe que esta ecuación proporciona un flujo de calor, es decir, la velocidad del calor transferido por unidad de área. El calor transferido por conducción por unidad de tiempo,  $q_x$  (W), a través de una pared plana de área  $A$ , es entonces el producto del flujo por el área,

$$q_x = q_x'' \cdot A \quad (2.3)$$

## 2.2 EL MODELO PARA LA CONDUCCIÓN

Aunque el modelo para la conducción (difusión de energía), la Ley de Fourier, se introdujo en la sección 2.1, es apropiado considerar su origen. La ley de Fourier es fenomenológica, es decir, se desarrolla a partir de los fenómenos observados más que derivarse de los principios básicos. Por ello vemos el modelo como una generalización que se basa en numerosas pruebas experimentales. Por ejemplo, considere el experimento de conducción de estado estable de la [Figura 21.]. Una varilla cilíndrica de material conocido se aísla en la superficie lateral, mientras sus extremos se mantienen a diferentes temperaturas con  $T_1 > T_2$ . La diferencia de temperatura ocasiona una transferencia de calor por conducción en la dirección  $x$  positiva. Podemos medir la rapidez de transferencia de calor  $q_x$ , y buscamos determinar cómo  $q_x$  depende de las siguientes variables:  $\Delta T$ , diferencia de temperatura;  $\Delta x$ , longitud de la varilla; y  $A$ , área de la sección transversal.

Figura 21. Experimento de conducción de calor de estado estable.



Fundamentos de Transferencia de Calor.

Imaginemos primero que mantenemos  $\Delta t$  y  $\Delta x$  constantes y variamos  $A$ . Si hacemos esto, resulta que  $q_x$  varía inversamente con  $\Delta x$ . Finalmente, al mantener

A y  $\Delta x$  constantes, encontramos que  $q_x$  es directamente proporcional a  $\Delta T$ . El efecto colectivo es entonces:

$$q_x \propto A \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (2.4)$$

Al cambiar el material (por ejemplo, de un metal a un plástico), encontraríamos que la proporcionalidad anterior sigue siendo válida. Sin embargo, también encontraríamos que, para valores iguales de A,  $\Delta x$  y  $\Delta T$ , el valor de  $q_x$  sería menor para el plástico que para el metal. Esto sugiere que la proporcionalidad se puede convertir a una igualdad al introducir un coeficiente que es una medida del comportamiento del material. De aquí:

$$q_x = kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (2.5)$$

donde k, la conductividad térmica ( $W/m \cdot K$ ), es una propiedad importante del material. Al evaluar esta expresión en el límite conforme  $\Delta x \rightarrow 0$ , obtenemos para la rapidez de transferencia de calor es:

$$q_x = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.6)$$

o para el flujo de calor:

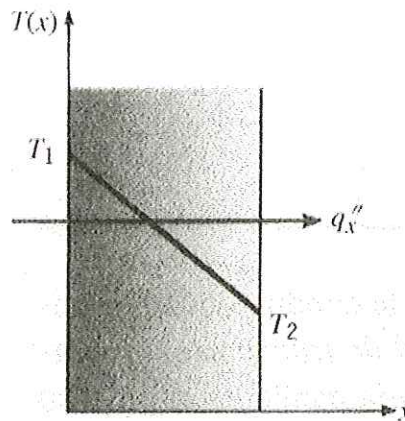
$$q''_x = \frac{q_x}{A} = -k \frac{dT}{dx} \quad (2.7)$$

La ley de Fourier, escrita en la ecuación (2.7), implica que el flujo de calor es una cantidad direccional. En particular, la dirección de  $q''_x$  es normal hacia el área A de

la sección transversal, o de forma mas general, la dirección del flujo de calor siempre será normal hacia una superficie de temperatura constante, denominada superficie *isotérmica*.

La [Figura 22.] ilustra la dirección del flujo de calor  $q_x''$  en una pared plana para que el gradiente de temperatura  $dT/dx$  es negativo. De la ecuación (2.7), se sigue que  $q_x''$  es positiva. Sabiendo que las superficies isotérmicas son planos normales a la dirección  $x$ .

Figura 22. Relación entre el sistema coordenado, la dirección del flujo de calor y el gradiente de temperatura en una dimensión.



Fundamentos de Transferencia de Calor.

### 2.3 PROPIEDADES TÉRMICAS DE LA MATERIA

El uso de la ley de Fourier hace obligatorio el conocimiento de la conductividad térmica. Esta propiedad, a la que se hace referencia como *propiedad de transporte*, proporciona una indicación de la velocidad a la que se transfiere

energía mediante el proceso de difusión, y depende de la estructura física de la materia, atómica y molecular, que se relaciona con el estado de la materia.<sup>6</sup>

## 2.4 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

Por la Ley de Fourier, ecuación (2.7) la conductividad térmica se define como:

$$k = -\frac{q_x}{dT/dx} \quad (2.8)$$

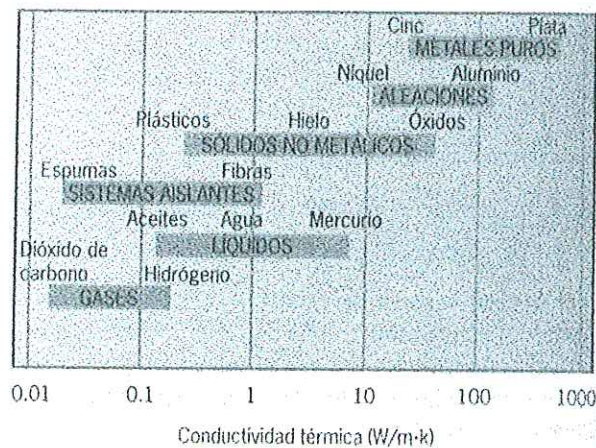
se sigue que, para un gradiente de temperatura establecido, el flujo de calor por conducción aumenta con el incremento de la conductividad térmica, recordando el mecanismo físico asociado con la conducción (sección 2.1), se tiene que, en general, la conductividad térmica de un sólido es mayor que la de un líquido, que a su vez es mayor que la de un gas. Como se ilustra en la [Figura 23.], la conductividad térmica de un sólido puede ser más de cuatro órdenes de magnitud más grande que la de un gas. Esta tendencia se debe en gran parte a la diferencia en el espacio intermolecular para los dos estados.

En la visión moderna de los materiales, un sólido se compone de electrones libres y de átomos unidos en un arreglo periódico denominado estructura cristalina. Por consiguiente, el transporte de energía térmica se debe a dos efectos: la migración de electrones libres y las ondas vibracionales de la estructura cristalina. Estos efectos son aditivos, de modo que la conductividad térmica  $k$  es la suma del componente electrónico  $k_e$  y el componente de la estructura cristalina  $k_l$ .

---

<sup>6</sup> Fundamentos de Transferencia de Calor.

Figura 23. Escala de conductividad térmica para diversos estados de la materia a temperatura y presión normales



### Fundamentos de Transferencia de Calor.

$$k = k_e + k_i$$

En una primera aproximación,  $k_e$  es inversamente proporcional a la resistencia eléctrica  $p_e$ . Para metales puros, que son de baja  $p_e$ ,  $k_e$  es mucho mayor que  $k_i$ . En contraste, para aleaciones, que son sustancialmente de  $p_e$  grande, la contribución de  $k_i$  a  $k$  ya no es insignificante. Para sólidos no metálicos,  $k$  esta determinada principalmente por  $k_i$ , que depende de la frecuencia de las interacciones entre los átomos de la estructura cristalina. La regularidad del arreglo de la estructura cristalina tiene un efecto importante sobre  $k_i$ , en los materiales cristalinos (bien ordenados) como el cuarzo que tiene una conductividad térmica más alta que los materiales amorfos como el vidrio.



## 2.5 CONDICIONES INICIALES Y DE FRONTERA

Para determinar la distribución de temperaturas en un medio es necesario resolver la forma apropiada de la ecuación (2.7). Sin embargo, esta solución depende de las condiciones físicas que existan en las fronteras del medio y, si la situación depende del tiempo, también dependerá de las condiciones que existan en el medio en algún tiempo inicial. Con respecto a las condiciones de frontera, hay varias posibilidades comunes que simplemente se expresan en forma matemática. Como la ecuación de calor es de segundo orden en las coordenadas espaciales, deben expresarse dos condiciones de frontera para cada coordenada necesaria en la descripción del sistema. Sin embargo, dado que la ecuación es de primer orden en el tiempo, debe especificarse solo una condición, denominada *condición inicial*.

Las condiciones se especifican en la superficie  $x = 0$  para un sistema unidimensional. La transferencia de calor es en la dirección  $x$  positiva con la distribución de temperaturas, que puede ser dependiente del tiempo, designada como  $T(x,t)$ . La primera condición corresponde a una situación en que la superficie se mantiene a una temperatura fija  $T_s$ . Esta se denomina normalmente condición de Dirichlet<sup>7</sup>, o condición de frontera de *primera clase*. Se aproxima mucho, por ejemplo, cuando la superficie esta en contacto con un sólido que se funde o con un líquido en ebullición. En ambos casos hay transferencia de calor a la superficie, mientras que la superficie permanece a la temperatura del proceso de cambio de fase. La segunda condición corresponde a la existencia de un flujo de calor fijo o constante  $q_s''$  en la superficie. Este flujo de calor se relaciona con el gradiente de temperatura en la superficie mediante la ley de Fourier, ecuación 2.7, que se expresa como

---

<sup>7</sup> Peter G. L. Dirichlet, Matemático Alemán del siglo XIX.

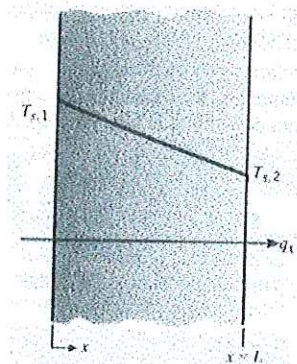
$$q''_x(0) = -k \left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=0}$$

Esta se denomina condición de Neumann<sup>8</sup>, o condición de frontera de *segunda clase*, y se logra uniendo un calentador eléctrico de película delgada o de parche a la superficie. Un caso especial de esta condición corresponde a la superficie perfectamente aislada, o adiabática, para la que  $\partial T / \partial x |_{x=0} = 0$ .

## 2.6 PARED PLANA

Para la conducción unidimensional en una pared plana, la temperatura es una función solo de la coordenada  $x$ , y el calor se transfiere exclusivamente en esta dirección. En la [Figura 24.], una pared plana separa dos fluidos con temperaturas diferentes. La transferencia de calor ocurre por conducción a través de la pared.

Figura 24. Transferencia de calor a través de una pared plana.



Fundamentos de Transferencia de Calor.

<sup>8</sup> Jhon Von Neumann, Matemático Estadounidense (1903 – 1957).

Comenzamos por tomar en cuenta las condiciones dentro de la pared. Primero determinamos la distribución de temperatura, de la que se obtiene la transferencia de calor por conducción.

**2.6.1 Distribución de Temperatura.** La distribución de temperatura en la pared se determina resolviendo la ecuación de calor con las condiciones de frontera apropiadas. Para condiciones de estado estable sin una fuente o sumidero de energía dentro de la pared, la forma apropiada de la ecuación de calor es

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right) = 0 \quad (2.9)$$

en consecuencia de la ecuación (2.7) se sigue que, para la *conducción unidimensional de estado estable en una pared plana sin generación interna de calor, el flujo de calor es una constante, independiente de x*. Si la conductividad térmica del material de la pared se supone constante, la ecuación se integra dos veces para obtener la *solución general*

$$T(x) = C_1 x + C_2 \quad (2.10)$$

Para obtener las constantes de integración,  $C_1$  y  $C_2$ , deben introducirse las condiciones de frontera. Elegimos aplicar condiciones de la primera clase en  $x = 0$  y  $x = L$ , en cuyo caso:

$$T(0) = T_{s,1} \quad \text{y} \quad T(L) = T_{s,2}$$

Al aplicar la condición en  $x = 0$  a la solución general, se sigue que:

$$T_{s,1} = C_2$$

De manera similar, en  $x = L$ ,

$$T_{s,2} = C_1L + C_2 = C_1L + T_{s,1}$$

en cuyo caso

$$\frac{T_{s,2} - T_{s,1}}{L} = C_1$$

Al sustituir en la solución general, la distribución de temperatura es:

$$T(x) = (T_{s,2} - T_{s,1})\frac{x}{L} + T_{s,1} \quad (2.11)$$

**2.6.2 Resistencia Térmica.** De la misma manera que se asocia una resistencia eléctrica con la conducción de electricidad, se asocia una resistencia térmica con la conducción de calor. Al definir la resistencia como la razón de un potencial de transmisión a la transferencia de calor correspondiente, la resistencia térmica para la conducción es:

$$R_{t,cond} \equiv \frac{(T_{s,2} - T_{s,1})}{q_x} = \frac{L}{kA} \quad (2.12)$$

**2.6.3 Sólido Semiinfinito.** Otra geometría simple para la que es posible obtener soluciones analíticas es el *sólido semiinfinito*. Como tal sólido se extiende hasta el infinito en todas direcciones excepto una, se caracteriza por una superficie identificable [Figura 25.]. Si se impone un cambio súbito de condiciones en esta

superficie, ocurrirá una conducción unidimensional dentro del sólido. El sólido semiinfinito proporciona una idealización útil para muchos problemas prácticos. Se aprovecha para determinar la transferencia de calor transitoria cerca de la superficie de la tierra o para aproximar la respuesta transitoria de un sólido finito, como una losa gruesa. En cuanto a esta segunda situación la aproximación sería razonable para la primera parte del transitorio, durante la cual las temperaturas en el interior de la losa (a bastante distancia de la superficie) no son afectadas por el cambio en las condiciones de la superficie.

La ecuación de calor para la conducción transitoria en un sólido semiinfinito esta dada por la ecuación

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.13)$$

La condición inicial se establece mediante la ecuación:

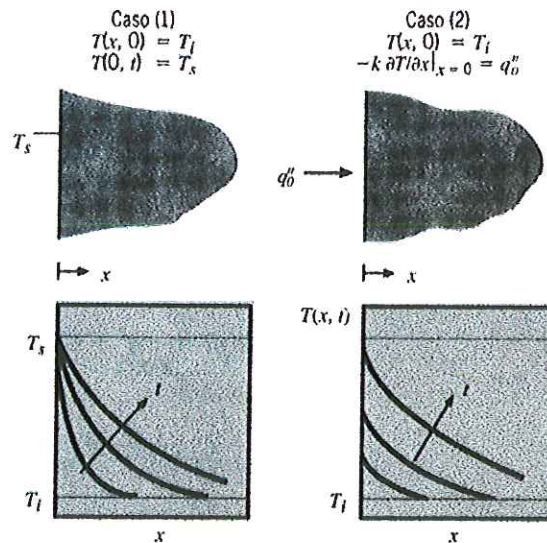
$$T(x, 0) = T_i$$

Y la condición de frontera interior es de la forma

$$T(x \rightarrow \infty, t) = T_i \quad (2.14)$$

Ya se han obtenido soluciones en forma cerrada para tres condiciones superficiales importantes, aplicadas de forma instantánea en  $t = 0$ . Estas condiciones se muestran en la [Figura 25.], incluyen la aplicación de una temperatura superficial constante  $T_s \neq T_i$ , la aplicación de un flujo de calor superficial constante  $q''_0$ , la exposición de la superficie a un fluido caracterizado por  $T_\infty \neq T_i$  y el coeficiente de convección  $\eta$ .

Figura 25. Distribución de Temperatura transitorias en un sólido semiinfinito para dos condiciones de la superficie: temperatura superficial constante, flujo de calor superficial constante.



### Fundamentos de Transferencia de Calor.

La solución para el caso 1, el cual es una de las que se va a aplicar al proyecto, se obtiene al reconocer la existencia de una *variable de similitud*  $\eta$ , mediante la cual se transforma la ecuación de calor de una ecuación diferencial parcial, que incluye dos variables independientes ( $x$  y  $t$ ), a una ecuación diferencial ordinaria expresada en términos solo de la variable de similitud.

Para confirmar que  $\eta = x/(4at)^{1/2}$  satisface este requisito, transformamos primero los operadores diferenciales pertinentes, de modo que

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{dT}{d\eta} \frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{1}{(4\alpha t)^{1/2}} \frac{dT}{d\eta}$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{d}{d\eta} \left[ \frac{dT}{d\eta} \right] \frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{1}{4\alpha t} \frac{d^2 T}{d\eta^2}$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{dT}{d\eta} \frac{\partial \eta}{\partial t} = -\frac{x}{2t(4\alpha t)^{1/2}} \frac{dT}{d\eta}$$

Sustituyendo en la ecuación 2.13

$$\frac{\partial^2 T}{\partial \eta^2} = -2\eta \frac{dT}{d\eta} \quad (2.15)$$

Con  $x = 0$  en correspondencia con  $\eta = 0$ , la condición de superficie se expresa como:

$$T(\eta = 0) = T_s \quad (2.16)$$

Y con  $x \rightarrow \alpha$ , así como  $t = 0$ , que corresponde a  $\eta \rightarrow \alpha$ , la condición inicial y la condición de frontera interior corresponden al único requerimiento:

$$T(\eta \rightarrow \alpha) = T_i \quad (2.17)$$

Como la ecuación de calor transformada y las condiciones inicial y de frontera son independientes de  $x$  y  $t$ ,  $\eta = x/(4\alpha t)^{1/2}$  es, en realidad, una variable de similitud. Su existencia implica que la *forma* de la distribución de temperaturas en el medio,  $T(x)$ , es independiente del tiempo y que, sin tener en cuenta los valores de  $x$  y  $t$ , la temperatura se representa como una función solo de  $\eta$ .

La forma específica de la dependencia de la temperatura,  $t(\eta)$ , se obtiene mediante la separación de variables en la ecuación (2.15), de modo que:

$$\frac{d(dt/d\eta)}{(dt/d\eta)} = -2\eta d\eta$$

Al integrar, se sigue que:

$$\ln (dT/d\eta) = -\eta^2 + C_1'$$

o

$$\frac{dT}{d\eta} = C_1 \exp(-\eta^2)$$

Al integrar una segunda vez, obtenemos:

$$T = C_1 \int_0^\eta \exp(-u^2) du + C_2$$

Donde  $u$  es una variable muda. Al aplicar la condición de frontera en  $\eta = 0$ , ecuación (2.16), se sigue que  $C_2 = T_s$ , y

$$T = C_1 \int_0^\infty \exp(-u^2) du + T_s$$

De la segunda condición de frontera, ecuación (2.17), obtenemos:

$$C_1 = \frac{2(T_i - T_s)}{\pi^{\frac{1}{2}}}$$

De aquí la distribución de temperaturas se expresa como:

$$\frac{T - T_s}{T_i - T_s} = \frac{2}{\pi^{\frac{1}{2}}} \int_0^\eta \exp(-u^2) du \equiv \text{erf } \eta \quad (2.18)$$



Donde la función gaussiana de error, erf  $\eta$ , es una función matemática estandar. El flujo de calor en la superficie se obtiene con la aplicación de la ley de Fourier en  $x = 0$ , en cuyo caso:

$$q_s'' = -k \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = -k(T_i - T_s) \frac{d(\text{erf } \eta)}{d\eta} \frac{\partial \eta}{\partial x} \Big|_{\eta=0}$$

$$q_s'' = k(T_s - T_i) (2/\pi^{1/2}) \exp(-\eta^2) (4\alpha t)^{-1/2} \Big|_{\eta=0}$$

$$q_s'' = \frac{k(T_s - T_i)}{(\pi \alpha t)^{1/2}} \quad (2.19)$$

También se puede obtener una solución analítica para la condición superficial del caso 2, que también se aplicara al proyecto. Los resultados para los dos primeros casos en resumen serán:

**CASO 1      Temperatura superficial constante:  $T(0, t) = T_s$**

$$\frac{T(x, t) - T_s}{T_i - T_s} = \text{erf} \left( \frac{x}{2\sqrt{\alpha t}} \right) \quad (2.18)$$

$$q_s''(t) = \frac{k(T_s - T_i)}{\sqrt{\pi \alpha t}} \quad (2.19)$$

**CASO 2      Flujo de calor superficial constante:  $q_s'' = q_0''$**

$$T(x, t) - T_i = \frac{2 q_0'' (\alpha t / \pi)^{1/2}}{k} \exp \left( \frac{-x^2}{4 \alpha t} \right) - \frac{q_0'' x}{k} \text{erfc} \left( \frac{x}{2\sqrt{\alpha t}} \right) \quad (2.20)$$

## 2.7 SISTEMAS AISLANTES

Los aislantes se componen de materiales de baja conductividad térmica combinados para lograr un sistema de conductividad térmica aun más baja. En aislantes tipo *fibra*, *polvo* y *escamas*, el material sólido se dispersa finalmente en el espacio de aire. Estos sistemas se caracterizan por una conductividad térmica efectiva, que depende de la conductividad térmica y de las propiedades radiactivas de la superficie del material sólido, así como de la naturaleza y fracción volumétrica del aire o espacio vacío.

Un parámetro especial del sistema es su densidad global (masa del sólido / volumen total), que depende en gran medida de la forma en la que se interconecta el material sólido.

Si se forman pequeños vacíos o espacios huecos al pegar o fundir partes del material sólido, se crea una matriz rígida. Cuando estos espacios se sellan, el sistema se denomina aislante celular.

Ejemplos de estos aislantes rígidos son los sistemas de espuma, en particular los que se hacen con materiales plásticos y de vidrio. Los aislantes reflectores se componen de láminas u hojas delgadas multicapa paralelas de alta reflexividad, que están espaciadas para reflejar el calor radiante de regreso a su fuente. El espacio entre las hojas se diseña para restringir el movimiento del aire, y el espacio incluso está al vacío en aislantes de alto rendimiento. En todos los tipos de aislantes, la evacuación del aire en el espacio reduce la conductividad térmica del sistema.

Es importante reconocer que la transferencia de calor a través de cualquiera de estos sistemas aislantes incluye varios modos: conducción por los materiales

sólidos; conducción o convección a través del aire en los espacios vacíos; y, si la temperatura es la suficientemente alta, intercambio de radiación entre las superficies de la matriz sólida.

Tabla 3. Materiales Aislantes.

<b>Descripción / Composición</b>	<b>Temperatura (K)</b>	<b>Densidad <math>\rho</math> (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Conductividad Térmica, k (W/m<sup>2</sup>*K)</b>	<b>Calor Especifico, Cp (J/Kg*K)</b>
Asfalto	300	2115	0.062	920
Baqelita	300	1300	1.4	1465
Magnesita	478	---	3.8	1130
Algodón	300	80	0.06	1300
Pirex	300	2225	1.4	835
Cuero (Suela)	300	998	0.159	---
Parafina	300	900	0.240	2890
Caucho Duro	300	1190	0.16	---
Teflón	300	2200	0.35	---

Fundamentos de Transferencia de Calor.

### 3. DISEÑO MECÁNICO Y ELECTRÓNICO DEL CODIFICADOR

#### 3.1 DISEÑOS PROPUESTOS

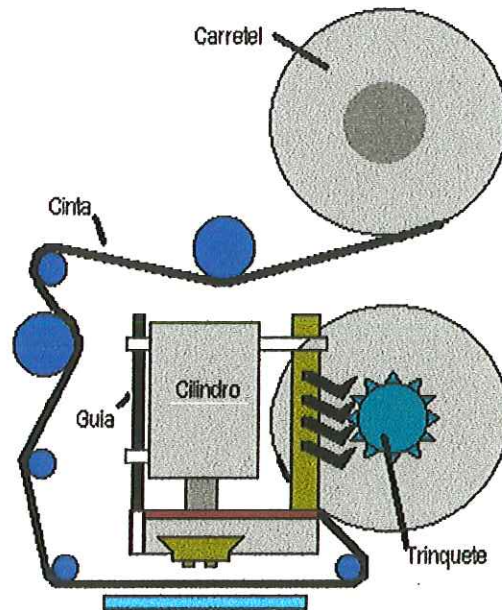
Una vez hecho el análisis de las leyes de transferencia de calor y sistemas neumáticos se continua con la elaboración de diseños del dispositivo a elaborar; esto con el fin de detallar más a fondo como se realizará la distribución de los componentes y el aspecto físico que podrá tener este, además se harán unas pequeñas síntesis sobre la funcionalidad del codificador que se desea elaborar.

A continuación se muestran algunas de estas:

El diseño de la [Figura 26.] consta de un actuador lineal con una guía para hacer el dispositivo anti giro, además este sistema tiene un mecanismo mecánico el cual se encarga de embobinar la cinta en el momento que el cilindro suba después de haber realizado el estampado, aunque su funcionamiento no es 100% efectivo debido a que no se tiene un control de la cinta, lo cual genera un desperdicio de ésta y causará más gastos para la máquina.

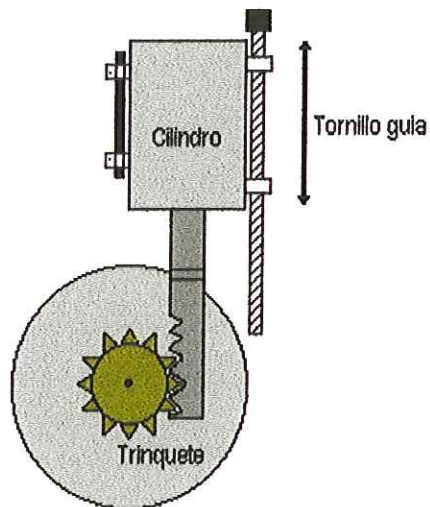
Otro método que se utiliza para embobinar la cinta, es un sistema que usa un cilindro neumático el cual posee una guía y un sistema de desplazamiento lineal vertical que se hace a través de un tornillo, en la unión de la base de la cinta se encuentra un pequeño mecanismo tipo trinquete el cual solo dejará operar el embobinado en una sola dirección del cilindro, que para nuestro caso será en el avance.

Figura 26. Embobinado tipo trinquete.



Diseño por los autores.

Figura 27. Embobinado mediante cilindro neumático.

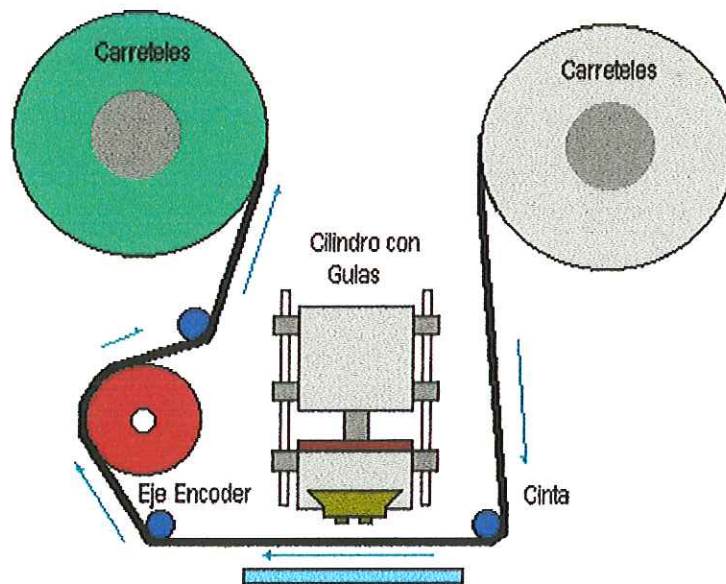


Diseño por los autores.

Mediante el tornillo podemos graduar la carrera del cilindro y así controlar el embobinado de la cinta. Este sistema sería útil pero la dificultad que se encontró fué al realizar un control óptimo para el embobinado de la cinta, ya que este procedimiento se hace manual a través del tornillo y no garantiza que se embobine la cantidad de cinta necesaria al momento de la realización del estampado.

El siguiente diseño [Figura 27.], se basa también de un cilindro neumático, con dos barras las cuales mantendrán en una posición fija los tipos o cuños que estarán tallados en forma de letras adecuados para el grabado, de manera que cuando se realice el estampado, la fecha de vencimiento siempre quedará lineal, esto ayuda a dar una buena presentación al producto al que se le esta realizando este proceso.

Figura 28. Embobinado mediante un motor.

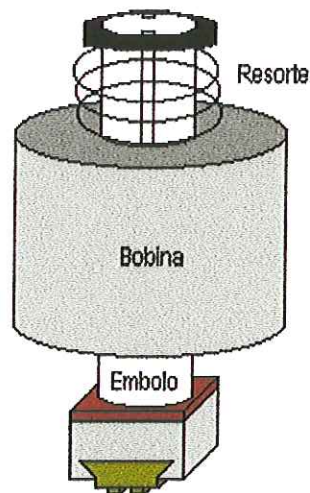


Diseño por los autores.

En el segundo diseño [Figura 28.] también tiene un aislante térmico el cual se va a encargar de evitar que el calor producido por la resistencia pase a través del porta cuños al vástago del cilindro, produciendo daños a este en corto plazo; el sistema de embobinado de la cinta se va a realizar a través de un motor (se ubicará en la zona verde) el cual se va a graduar a través de un micro controlador con el fin de regular el paso de la cinta y así evitar desperdicios de está.

El sistema para el fechado y el cilindro neumático se puede reemplazar por un solenoide [Figura 29.]. Este sistema realiza el estampado energizando una bobina y creando un campo magnético haciendo que el vástago salga y estampe, para el retorno basta con desenergizar la bobina y mediante un resorte se hace el retorno de éste. Este sistema es también funcional sólo que se debe estudiar más a fondo para lograr una buena calibración de la bobina, y a comparación del cilindro es más accesible en el mercado.

Figura 29. Diseño de estampado tipo solenoide.



Diseño por los autores.

De acuerdo a un análisis de viabilidad y funcionamiento se optó por desarrollar el diseño que posee un motor que podrá ser paso a paso o servo; [Figura 28.] como método de embobinado debido a que éste se podrá controlar electrónicamente de manera que el desperdicio de la cinta se hará mínima.

Además se optó por tomar como actuador lineal un cilindro neumático debido a que se presta para las condiciones de uso, es decir, como se trabajará sobre productos alimenticios este no generará contaminación sobre estos, también porque se puede conseguir fácilmente en el mercado.

La elección de este diseño se debe, a que puede ser controlado electrónicamente y así reducir la manipulación de los componentes y evitar daños o desajustes.

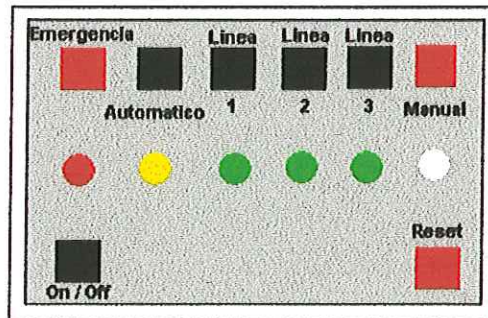
El control del estampador se realizará mediante un microcontrolador. En la caja de control se tendrá una serie de pulsadores y switches, los cuales llevarán consigo unos leds como visualizadores de la función en la que están. La línea de switches y pulsadores se usará para introducir señales necesarias para la realización del estampado.

El pirómetro encargado de la temperatura, estará trabajando en paralelo con la caja de control, este solo controlará la temperatura de la resistencia, la cual será sensada por una termocupla tipo J de acuerdo a la escala de temperaturas a la que fuese a trabajar; para nuestro caso y teniendo en cuenta las propiedades de los empaques la temperatura de trabajo estará en un rango de lo 80 °C a los 120 °C aproximadamente. [Anexo 7]

A continuación podemos ver un esquema de la caja de control del dispositivo estampador.



Figura 30. Diseño de la caja de control del dispositivo estampador.



Diseño por los autores.

Teniendo en cuenta el diseño que se desea elaborar, procedemos a la elección de los componentes que lo conformarán.

### 3.2 SELECCIÓN DE ELEMENTOS NEUMATICOS DEL CODIFICADOR

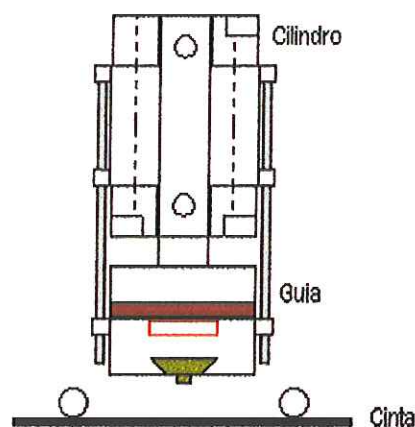
**3.2.1 Necesidades y requisitos del cilindro.** A continuación se hará una pequeña descripción de las necesidades y requisitos que debe cumplir el cilindro para su selección.

**3.2.1.1 Cilindro pequeño y/o compacto (Aprox. 4-8 cm).** El cilindro a seleccionar debe ser un dispositivo pequeño del orden de 4-8cm aproximadamente debido a que se desea elaborar un estampador liviano y a su vez pequeño, se dice esto, porque el dispositivo por lo general se ensambla en maquinaria de producción en línea como por ejemplo empacadoras de café, leche y demás productos que requieran el uso de estas aplicaciones; donde el espacio es reducido y donde además el peso juega un papel importante.

**3.2.1.2 Cilindro con carrera corta.** El cilindro debe poseer una carrera relativamente corta (es decir en el orden de los 10 a 15 mm aproximadamente), esto debido a que el diseño lo requiere, igualmente la carrera tendrá que estar en ordenes de su tamaño, además se debe tener en cuenta que al momento de elegir la carrera del cilindro, esta no sea demasiadamente reducida. Como requisito se debe dejar una distancia considerable entre la cinta y los cuños que en el momento de trabajo estarán calientes, esto con el fin de que la cinta no se deteriore (es decir que no se funda o se derrita).

**3.2.1.3 Cilindro anti giro.** El cilindro deberá poseer un sistema anti giro, es decir que los tipos no podrán moverse de manera que el estampado quede perfectamente recto y así dar una buena presentación en el empaque del producto al que se le está realizando el fechado. Además, al moverse el cabezal donde se encuentran los tipos y la resistencia, se podría presentar la rotura de los cables que alimentan a esta última.

Figura 31. Esquema de sistema anti giro para el cilindro.



Diseñado por los autores.

**3.2.1.4 Económico y de fácil comercialización.** El cilindro deberá ser económico con el fin de reducir los costos en la elaboración del dispositivo para que este sea accesible a los pequeños empresarios, además se debe tener en cuenta que este se localice fácilmente en el mercado; esto debido a que por causas inesperadas se llegase a necesitar repuestos para reemplazarlo, sin necesidad de que se produzcan pérdidas en la empresa debido al detenimiento de la producción por falta de este componente en la maquinaria.

**3.2.2 Cálculo y selección del cilindro.** Según las pruebas realizadas (Anexo 10) con el cilindro de un codificador de otra marca (Anexos 5 y 6), y los datos obtenidos; se decidió que el cilindro para nuestro diseño deberá poseer una fuerza de avance que este en el rango de [20 a 25] Lbf.

La elección del cilindro está basada en el catálogo de la marca Festo debido a que es la más comercial y tiene buenos productos en el mercado. Así mismo los componentes de esta marca ofrecen un óptimo rendimiento y se puede tener garantía sobre estos.<sup>9</sup>

Una vez realizado el estudio de las funciones de los componentes neumáticos y los cálculos necesarios para la obtención de estos, continuamos con la presentación de los cálculos teóricos de los componentes necesarios para la elaboración del dispositivo.

Para el cilindro, tenemos como referencia una fuerza de avance de:

$$F_a = 23\text{Lbf} = 102.30\text{ N}$$

---

<sup>9</sup> Festo Pneumatic.

Luego con este dato, continuamos con la búsqueda del diámetro del émbolo sabiendo que el cilindro trabajará a cierta presión.

Tenemos entonces:

Superficie del émbolo: 
$$A = \left( \frac{D^2 * \pi}{4} \right)$$

Trabajamos con la unidades de  $F_a[N]$ ,  $P[pa]$ ,  $A[m]$  donde  $F_a$  será la fuerza de avance,  $P$  la presión y  $A$  el área respectivamente; para la presión de trabajo tomamos 3 bar (se toma este valor para lograr una mayor duración de los componentes internos del cilindro, es decir para evitar desgaste de los empaques, émbolo, y paredes interiores).

También tenemos que: 
$$F = P * A_1$$

$$102.30N = 3 \times 10^5 Pa * \left( \frac{D^2 * \pi}{4} \right)$$

Despejamos el diámetro del émbolo para obtener las características del cilindro y así poder elegir mediante catalogo:

$$D = 2.08 \times 10^{-2} m = 20.8mm$$

Para trabajar con normas estándar aproximamos los datos obtenidos de la siguiente manera:

$$F_a = 100 N$$

$$P = 3 \text{ Bar}$$

$$D = 20 \text{ mm}$$

Con los datos obtenidos y las características deseadas del cilindro en el diseño buscamos referencias para su posterior elección.

A continuación podemos ver en la [Tabla 4.] las características más importantes de las referencias de los cilindros de la marca Festo.

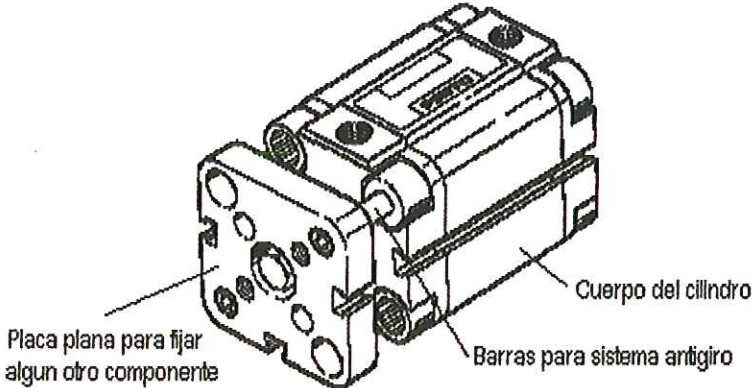
Tabla 4. Características de algunos cilindros Festo referidos a presión de 6 bar.

Tipo	Fuerza de avance	Carrera corta	Compacto y liviano	Tipo de conexión	Sistema anti giro	Accesorio para montaje	Largo total del cilindro
EMM-...P-A	165 N	15 mm	Si	M5	No	-----	81 mm
DMM-...P-A	188 N	15 mm	Si	M5	No	-----	81 mm
AEVULQ-...P-A	179 N	15 mm	Si	M5	Si Vástago cuadrado	Montaje por brida	64.5 mm
ADVU-...P-A	188 N	15 mm	Si	M5	No	Montaje por brida	42.5 mm
ADVULQ-...P-A	188 N	15 mm	Si	M5	Si Vástago cuadrado	Montaje por brida	42.5 mm
ADVUL-...P-A	188 N	15 mm	Si	M5	Si Dos barras de guía	Montaje por brida	50.5 mm
AVL-..	170 N	10 mm	Si	G 1/8	No	-----	33 mm
AV-..	170 N	4 mm	Si	G 1/8	No	-----	21 mm
AV-...A	170 n	4 mm	Si	G 1/8	No	-----	40.5 mm
ADV-...A	175 N	15 mm	Si	M5	No	-----	46.5 mm

Catalogo de componentes Festo 2002.

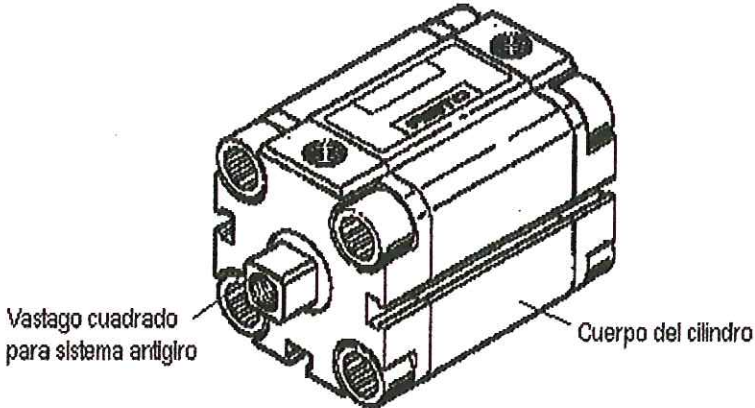
De los cilindros anteriormente nombrados optamos por tomar dos, los cuales cumplen con los requisitos necesarios para nuestro diseño. Estos son:

Figura 31. Cilindro ADVUL-20-15-P-A.



[www.festo.com](http://www.festo.com)

Figura 32. Cilindro ADVULQ-20-15-P-A.



[www.festo.com](http://www.festo.com)

Como podemos ver ambos cilindros cumplen con las características exigidas por el diseño, pero al mismo tiempo el cilindro ADVUL-20-15-P-A [Figura 31.] trae consigo una placa plana en el extremo del vástago, la cual nos sirve para apoyar los cuños fácilmente y a su vez obtener un sistema consistente en el momento de realizar el estampado.

El cilindro ADVULQ-20-15-P-A [Figura 32.] no trae consigo ningún accesorio para apoyar los cuños, esto representaría elaborar una placa plana, pero de igual forma no estaría realizando el estampado consistentemente debido a que solo estará apoyado en el vástago, caso contrario en donde vemos que el otro cilindro trae consigo dos barras de guía en los extremos laterales del cilindro los cuales representan una buena estabilidad al momento de estampar.

Teniendo en cuenta lo anterior, optamos por escoger el cilindro de referencia **ADVUL-20-15-P-A** de la marca FESTO [ver anexo 1] para el desarrollo de nuestro dispositivo estampador.

Para la fijación del cilindro nos basaremos en el método de anclaje por brida trasera, esto debido a que el sistema es apto para montajes que requieran ejercer compresiones.

El consumo de aire en cilindros es de vital importancia para evaluar las dimensiones del compresor y del depósito, o simplemente para conocer el gasto energético de los elementos neumáticos.

Este depende de varios factores: sección del cilindro, carrera del mismo, frecuencia del ciclo y presión de trabajo. En los cilindros de doble efecto, será preciso considerar el ciclo completo, es decir, avance y retroceso del émbolo.

Para obtener el consumo de aire del cilindro se puede observar [Anexo 1] donde se encuentran las principales características del cilindro seleccionado; por otra parte, este dato también puede ser calculado de la siguiente forma:

- Consumo de aire en la salida

$$Q = V_1 * n * \frac{P}{P_{atm}}$$

Donde:

$n$  = número de carreras/minuto.

$P_{atm}$  = Presión atmosférica (1bar).

$P$  = Presión de trabajo

$V_1$  = volumen total de la cámara por el lado pistón.

$$V_1 = S_1 * L$$

Siendo  $L$  la carrera del cilindro,  $D$  el diámetro del émbolo y  $S_1$  la superficie del émbolo que esta dada por:

$$S_1 = \frac{(D^2 * \pi)}{4}$$

Con las características del cilindro seleccionado podemos calcular el consumo que efectuara este; para este cálculo tenemos en cuenta que el cilindro realizará aproximadamente 60 carreras en un minuto (cantidad de estampados que se desea que realice el cilindro).

Tenemos que:



P = 6bar  
D = 2cm  
L = 1cm  
n = 60/min

Reemplazando estos datos en las ecuaciones anteriores tenemos:

$$S_1 = 3.1416cm^2 ; \quad V_1 = 3.1416cm^3$$

$$Q = 3.1416cm^2 * 1cm * 6bar = 18.84cm^3 \cong 0.02L$$

Multiplicando este consumo de aire para 6bar y una carrera de 10mm, por el número de ciclos que realizará el cilindro tenemos:

$$Q = 1.2L/min \cong 4.23 \times 10^{-2} ft^3 / min$$

Los cálculos anteriores indican solamente el caudal consumido por los cilindros. No se tienen en cuenta los consumos de tuberías (fugas) y del resto de elementos neumáticos; se estima que estos consumos adicionales pueden estar comprendidos entre el 20% y el 30% del consumo de los cilindros, por tanto es preciso sumar este porcentaje al dato anterior.

Al consumo de aire del cilindro anteriormente calculado le sumamos el 30% estimado como parte del consumo de aire adicional.

$$Q = 4.23 \times 10^{-2} ft^3 / min * 1.3 = 5.50 \times 10^{-2} ft^3 / min$$

Con base en este valor, se procede a escoger el respectivo compresor; sin embargo la cantidad de aire requerida por el sistema es pequeña en comparación

con las capacidades que pueden suministrar los compresores disponibles en el mercado.

En este caso, el compresor más pequeño estará entregando aproximadamente entre 1.5 ft<sup>3</sup>/min y 2.5 1 ft<sup>3</sup>/min dependiendo del fabricante.

Es importante que el compresor escogido tenga una mayor capacidad a la requerida; esto con el fin de poder ser usado en otras aplicaciones sin necesidad de restringirlo solo para la labor de fechamiento.

Si en la empresa o la maquina a la cual se le va a adaptar el codificador ya posee sistema de aire, es necesario tener en cuenta la presión a la cual se esta trabajando y dependiendo de esto se mira si es factible hacer una conexión directa al dispositivo. Si no es factible se puede adaptar una unidad de mantenimiento en la cual se pueda graduar la presión a la cual se requiere trabajar el codificador o sino conectar una válvula que regule el caudal o la presión a la que puede trabajar el codificador.

**3.2.3 Selección de la electroválvula.** Una vez escogido el cilindro, se procedió a la elección de la electroválvula que necesitaremos para el diseño. Como ya se sabe, para un cilindro de doble efecto es necesario elegir una válvula direccional ya sea 4/2 o 5/2; este es uno de los parámetros funcionales necesarios para la elección de esta.

En la [Tabla 5.] se estiman de forma aproximada los valores y medidas de los agujeros de las válvulas (distribuidores y otros elementos de regulación) de accionamiento en función del diámetro del émbolo del cilindro.

La elección de la válvula depende del diámetro del cilindro a abastecer. Para el dimensionamiento de la válvula tenemos en cuenta la siguiente tabla donde encontramos los datos para realizar la elección de la válvula distribuidora.

Para nuestro caso tenemos que el diámetro del émbolo del cilindro es 20 mm, luego la válvula que necesitamos tendrá las siguientes especificaciones:

Rosca de GAS: G 1/8

Diámetro exterior: 9.73mm

Diámetro interior: 8.75 mm

Paso en hilos: 28 pulgadas

Diámetro nominal de paso: 3 a 5 mm

Caudal normal aproximado: Hasta 180 L/min

Tabla 5. Tabla de elección de la válvula distribuidora.

Rosca GAS	Diámetro exterior mm	Diámetro interior mm	Paso en hilos pulgada	Diámetro nominal de paso mm	Caudal normal aproximado l/min	Diámetro del cilindro mm
G 1/8	9,73	8,75	28	3 a 5	Hasta 180	Hasta 50
G 1/4	13,16	11,50	19	6 a 8	Hasta 1150	50 a 80
G 3/8	16,66	15,00	19	10 a 12	Hasta 1500	80 a 125
G 1/2	20,95	19,00	14	12 a 14	Hasta 3000	125 a 200
G 3/4	26,44	24,50	14	16 a 18	Hasta 6000	200 a 250
G 1	33,25	30,50	11	20 a 22	> de 6000	> de 250
G 1 1/4	41,90	39,30	11	40	> de 6000	> de 250
G 1 1/2	47,80	45,25	11	40	> de 6000	> de 250

Festo Pneumatic.

Con estos datos y sabiendo que la válvula que necesitamos es 4/2 o 5/2 se procede a un catalogo comercial con el fin de buscar una referencia adecuada para tenerla en cuenta en el diseño.

Además de los datos anteriores también se debe tener en cuenta que la válvula será operada mediante una bobina; es decir se busca una electroválvula para operarla mediante un microcontrolador pero que no necesite una fuente adicional para su funcionamiento, por esto se ha decidido trabajar con transistores, optotriacs y que la bobina sea de 110 v de corriente alterna.

La electroválvula a elegir deberá tener una bobina para en avance del cilindro y el retroceso se realizará con muelle, esto con el fin de economizar pines en el microcontrolador y hacer más fácil su programación.

Se busca por el catalogo de FESTO una válvula 5/2 vías con muelle de reposición y conexión G 1/8 para el aire de pilotaje operada a 110v que trabaje con un caudal de 180 L/min o mas, y que trabaje a una presión máxima de 10 bar.

Entonces se obtienen las siguientes referencias de válvulas:

- MYH-5/2-M5-LED
- MYH-5/2-2,3-L-LED
- MVH-5-1/8-B
- MVH-5-1/8-L-B
- MFH-5-1/8-B
- MFH-5-1/8-L-B

De todas las anteriores se escoge la **MFH-5-1/8-B** debido a que puede resistir mucho más en ambiente de trabajo pesado industrial [ver características en anexo 2].

**3.2.4 Selección de tubos y racores.** Los tubos y racores son elementos que sirven para interconectar los distintos componentes que integran un circuito neumático. Estos elementos esencialmente transportan aire a presión de un lugar a otro, con pérdidas de presión mínimas y de la forma más económica posible; las caídas de presión son indeseables y deben ser reducidas al máximo.

Para disminuir las pérdidas, es preciso tener en cuenta ciertos factores en el diseño de tuberías: mínimas longitudes de transporte, diámetros suficientes de paso, tubos con superficies interiores lisas y reducción, en lo posible, de estrangulaciones de tubería y cambios bruscos en la dirección del fluido.

La elección del diámetro del tubo no suele representar problema alguno ya que depende normalmente de la rosca de conexión de los distribuidores que alimentan a los actuadores. El diámetro interior posible del tubo depende a su vez, de los racores montados en dichos distribuidores. En general, la elección del tubo esta condicionada por el tamaño de las válvulas.

Teniendo en cuenta lo anterior, según las características que tiene la electro válvula y cilindro, se busca los racores adecuados para cada uno de los elementos.

Para el caso de la electroválvula, se tiene que las tres conexiones que se necesitan: entradas de aire, de trabajo y la conexión de escape tienen rosca tipo G1/8, entonces se buscan 2 racores en codo y uno recto, esto con el fin de economizar espacio en el montaje, además para la selección se tiene también en cuenta que el diámetro nominal de paso de la electroválvula va de 3 a 5 mm, esto influye en el momento de seleccionar la manguera la cual debe de tener un diámetro interno de los cuales se encuentren en el rango antes mencionado; para

la selección de los racores estudiamos primero que tipo de manguera se usara la cual contenga estos diámetros internos, y la presión a la que trabajará.

Observando los diámetros de mangueras comerciales, se encontró que existen mangueras dentro del rango de requerimientos; la cual tiene un diámetro interno de 4 mm y un diámetro externo de 6 mm ver [Tabla 5.].

Asumiendo ya los diámetros de la manguera se continúa con la selección de los racores.

Una vez determinados los diámetros de la manguera, se procede a buscar los racores de la electroválvula, en la cual se usaran dos racores acodados y uno recto. Los racores acodados serán usados para ubicarlos en las salidas de la electroválvula y el racor recto será ubicado en la entrada de aire. Los racores deben de tener una rosca de conexión de G1/8 y un diámetro exterior de tubo de 6 mm; con estos datos y mediante un catalogo comercial se buscan las referencias de los racores.

Según el catalogo comercial de Festo se tiene:

- Racores acodados (Electroválvula): **QSL-1/8-6**
- Racores rectos (Electroválvula): **QS-1/8-6**

Para el caso del cilindro, según sus características se observa que tiene una rosca de conexión de culata y cojinete de tipo M5; conociendo también que el diámetro exterior de la manguera es de 6 mm, se buscan dos racores rectos que cumplan estas condiciones, la referencia determinada es:

- Racores rectos (Cilindro): **QSM-M5-6**

Para la selección de los tubos, se tiene que hay dos tipos posibles a usar según las condiciones del sistema; los de poliamida (PAN) y el poliuretano (PUN), cada uno de ellos tiene una tabla de valores de presión a las que pueden funcionar:

Tabla 6. Características de tubos PAN y PUN.

TUBOS DE POLIAMIDA				TUBOS DE POLIURETANO			
Diámetro exterior mm	Diámetro interior mm	Presión de trabajo bar	Radio mínimo curvatura mm	Diámetro exterior mm	Diámetro interior mm	Presión de trabajo bar	Radio mínimo curvatura mm
4	2	50	25	4	2.5	10	10
5	3.3	40	25	5	3	11	15
6	4	34	35	6	4	9	15
8	6	24	55	8	5.5	8	20
10	7.5	25	75	10	7	8	25
12	10	15	90	12	8	9	35
14	12	10	100	16	11	10	85
16	13	10	120				

Neumática.

Los anteriores tubos son usados para montarse mediante racores instantáneos, o bien con los racores universales de bicono o anillo mordiente.

Sobre los tubos de poliamida se puede decir que las características mas notables son: peso reducido, amplia gama de temperaturas de utilización, que oscilan entre los  $-20^{\circ}\text{C}$  y los  $+70^{\circ}\text{C}$ , elevada resistencia mecánica y buena resistencia a la humedad y a los ambientes salinos.

En los tubos de poliuretano las temperaturas que soportan son similares a las de los tubos de poliamida, es decir, desde  $-20^{\circ}\text{C}$  hasta los  $+70^{\circ}\text{C}$  aproximadamente. También poseen una buena resistencia a la abrasión y a distintos productos

químicos. Comparadas con las anteriores soportan menores presiones de trabajo pero, en cambio son más flexibles.

Según lo anterior y observando las tablas de estos tubos optamos por escoger que el tubo a usar para nuestro dispositivo sea el de poliuretano (PUN) y teniendo en cuenta los diámetros antes mencionados para el tubo procedemos mediante un catalogo a buscar la referencia para este:

La referencia del tubo a usar será: **PUN-6x1-BL** donde BL es el color del tubo que en este caso es azul de acuerdo a las normas DIN 2403.

### **3.3 MATERIALES PARA LA ELABORACIÓN DE LAS PARTES DEL CODIFICADOR**

Pensando en obtener un dispositivo funcional y liviano se hizo una selección de los materiales aptos para la construcción de este, usualmente para la elaboración de maquinaria para productos alimenticios se busca en los materiales a usar que estos no produzcan corrosión ni algún efecto que pueda provocar daños a la salud humana.

En este diseño se buscaron como materiales apropiados el aluminio, el acero inoxidable, el duralon y materiales plásticos como una fundición de polipropileno con polietileno.

El aluminio es usado para la elaboración de los carretes debido a que es maleable y dúctil, además estos deben ser sumamente livianos para no esforzar al motor el cual se encargará de bobinar la cinta ya utilizada; este material también será usado para la elaboración de la placa porta cuños en la cual se incrustará la



resistencia debido a que tiene buenas propiedades térmicas como se puede ver en la siguiente tabla.

Tabla 7. Propiedades físicas y térmicas del aluminio.

<b><i>Propiedades Físicas</i></b>	
Densidad @20C ( g cm <sup>-3</sup> )	2.70
Punto de Ebullición ( C ).	2467
Punto de Fusión ( C ).	660.4
<b><i>Propiedades Térmicas</i></b>	
Calor Especifico a 25C ( J K <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> )	900
Calor Latente de Evaporación ( J g <sup>-3</sup> )	10800
Calor Latente de Fusión ( J g <sup>-1</sup> )	388
Coefficiente de Expansión Térmica @0-100C (x10 <sup>-6</sup> k <sup>-1</sup> )	23.5
Conductividad Térmica a 0-100C ( W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	237

[www.goodfellow.com](http://www.goodfellow.com)

También se pensó en que los carretes se podían elaborar en ultrapol pero este material produciría un ascenso de costos al proyecto cosa que se quiere evitar.

El acero inoxidable es uno de los materiales más usados en la elaboración del codificador; este se usa para elaborar los ejes donde se van a asentar los carretes, el encoder y demás componentes, así mismo servirá de guías para la cinta.

Este material es fundamental para la construcción de máquinas para la industria alimenticia debido a que otorga una mejor resistencia a la corrosión y posee excelentes propiedades mecánicas, en este dispositivo solo se usó para estos elementos debido a que si se hacen las otras piezas con este, el diseño podría quedar con un peso indeseado.

A continuación podremos ver las propiedades de dicho material:

Tabla 8. Propiedades mecánicas y térmicas del acero inoxidable AISI 304.

<b><i>Propiedades Mecánicas</i></b>	
Alargamiento ( % )	<60
Dureza Brinell	160-190
Impacto Izod ( J m <sup>-1</sup> )	20-136
Módulo de Elasticidad ( GPa )	190-210
Resistencia a la Tracción ( MPa )	460-1100
<b><i>Propiedades Térmicas</i></b>	
Coefficiente de Expansión Térmica @20-100C ( x10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> )	18,0
Conductividad Térmica a 23C ( W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	16,3

[www.goodfellow.com](http://www.goodfellow.com)

El bronce es usado para la elaboración de los tipos y el porta tipos debido a que es una material maleable para la elaboración de pequeñas letras y posee buenas propiedades térmicas, este material es el encargado de transmitir el calor hacia la cinta foil, no se usó el acero debido a que es muy difícil trabajar sobre este y los demás componentes no servirían para soportar la resistencia la impactos al que este estará sometido.

Tabla 9. Propiedades mecánicas y térmicas del bronce.

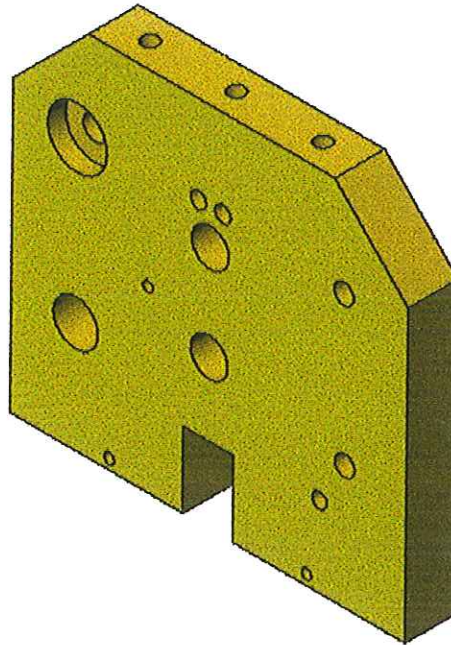
<b><i>Propiedades Mecánicas</i></b>	
Alargamiento ( % )	<65
Dureza Brinell	70-200
Módulo de Elasticidad ( GPa )	80-110
Resistencia a la Cizalla ( MPa )	230-490
Resistencia a la Tracción ( MPa )	300-900
<b><i>Propiedades Térmicas</i></b>	
Coeficiente de Expansión Térmica @20-100C ( $\times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ )	17,0
Conductividad Térmica a 23C ( $\text{W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ )	42-50

www.goodfellow.com

Para la placa base del codificador se pensó usar como material el acero inoxidable pero este debido a su peso y costo no se usó, entonces se pensó en otro tipo de material como el aluminio el cual tiene un peso mas aceptable pero su costo ascendía a un mayor precio para el proyecto, así que se trató de buscar un material plástico el cual pudiese resistir la temperatura a la cual estaría trabajando el foil y se encontró que el teflón también pudiese servir pero su precio era aún mas elevado, así que se optó por buscar una mezcla de materiales plásticos fundidos con la adición de componentes químicos para lograr que este tuviese una excelente resistencia al impacto y a la temperatura [Anexo 13], entonces se llego a una fundición de polietileno y polipropileno el cual es un material nuevo en el mercado.

De este modo, se trabajó con este material debido a que su precio es mas bajo que los otros materiales anteriormente mencionados y ofrecía las características del diseño.

Figura 33. Placa base del codificador elaborado con fundición de polietileno y polipropileno.



Diseño por los autores.

**3.3.1 Material para la recepción del estampado.** El estampado requiere de un material, en donde los tipos puedan golpear y así poder ejercer su función de marcar el empaque, para esto se necesita clasificar un material, el cual pueda cumplir con las siguientes condiciones de trabajo como lo son:

- Resistir altas temperaturas, debido a que los tipos estarán trabajando a una elevada temperatura con el fin de poder realizarse el estampado.
- Tener alta resistencia al impacto; esto es necesario debido a que este material a seleccionar tendrá que estar sometido al golpeteo de un actuador lineal.

- Ser flexible, elástico, y que recupere su forma; esto con el fin de no provocar daños o deformaciones en los tipos.

Según estos requisitos nos enfocamos por tomar materiales de los polímeros. Dentro de los polímeros encontramos que estos se dividen en plásticos y elastómeros.

Los plásticos se pueden dividir en dos clases: termoplásticos, termofraguables, los primeros se funden de manera reversible para convertirse en líquidos de alta viscosidad y, al enfriarse se solidifican para producir, de acuerdo con su estructura, sólidos que son elásticos, dúctiles, tenaces o frágiles. Las temperaturas de fusión van de 100 a 300° C. Los polímeros termofraguables son fusibles sin degradación térmica o mecánica. Muchos polímeros termofraguables se preparan mediante el curado de polímeros termoplásticos o de resinas de etapa B. El curado (una reacción química que enlaza las cadenas) por lo general se inicia con calor. Cuanto más curado está el polímero, mayor será su temperatura de deformación térmica y se volverá más dura y más frágil.

Los elastómeros, son materiales tanto naturales como sintéticos que son elásticos o resilientes y que, en general, se parecen al caucho natural al tacto y en su aspecto.

La utilidad del caucho y los elastómeros sintéticos se aumenta por la composición. En el estado crudo, los elastómeros son blandos y pegajosos cuando están fríos. La vulcanización extiende los límites (rango de temperaturas) dentro de los cuales son flexibles y elásticos. Además de los agentes vulcanizadores, se agregan ingredientes para hacer que los elastómeros sean más resistentes, más tenaces y más duros, para hacerlos envejecer, para colorearlos y en general, para modificarlos de modo que satisfagan las exigencias de las condiciones de servicio.

A continuación, mencionamos algunos elastómeros los cuales encontramos comúnmente en el mercado, estos son: Nitrilo (buna), Neopreno (Cloropreno), Etileno – Propileno, Butilo, Poliacrílico y Silicona.

Tabla 10. Algunas propiedades de los elastómeros.

Elastómero	Resistencia a la tensión x 1.000 psi	Elongación %	Densidad g/cm <sup>3</sup>	Temperatura de operación recomendada	
				°F	°C
Caucho natural*	2.5-3.5	750-850	0.93	-60 a 180	-50 a 82
SBR o Buna S*	0.2-3.5	400-600	0.94	-60 a 180	-50 a 82
Nitrilo o Buna N*	0.5-0.9	450-700	1.0	-60 a 250	-50 a 120
Neopreno*	3.0-4.0	800-900	1.25	-40 a 240	-40 a 115
Silicona	0.6-1.3	100-500	1.1-1.6	-178 a 600	-115 a 315

\*Propiedades del caucho puro vulcanizado

Manual del Ingeniero Mecánico.

**3.3.1.1 Selección del elastómero a usar.** Las características importantes con las que debe cumplir el elastómero a usar son las siguientes:

- Resistencia a altas temperaturas: aprox. 300°C. (dada por la cinta).
- Deformación: aprox. 800%. (con el fin que los tipos no se deformen).
- Excelentes condiciones en el medio ambiente: Intemperie, descomposición con el ozono, oxidación.
- Sin olor.

Observando las necesidades y características antes mencionadas para establecer el material para la recepción del estampado se optó por escoger que el caucho o elastómero necesario para usarse en el diseño es el Polisiloxano o comúnmente llamado **silicona**. A continuación veremos más información sobre esta.

La Silicona tiene una resistencia a la tensión, desgarres, resistencia a la abrasión, resistencia al calor y al punto de compresión. La Silicona posee una resistencia excelente a temperaturas extremas: flexibilidad por debajo de  $-114^{\circ}\text{C}$  y compuestos de silicona resistentes a temperaturas de  $371^{\circ}\text{C}$  por pocos periodos.

La máxima temperatura a la que se recomienda trabajar la Silicona para un continuo servicio en aire seco es de  $232^{\circ}\text{C}$ . La conservación de las propiedades de la Silicona a estas altas temperaturas es superior a otros materiales elásticos. Los compuestos de Silicona no son normalmente recomendados para su aplicación en sellos dinámicos, pues se debe usar una relativa baja resistencia a la abrasión.

La silicona se recomienda para:

- Puntos de aceite de alta anilina.
- Calor.

La silicona estará soportada en una placa de acero o hierro con el fin de darle fijación al momento de realizarse el estampado; si se dejara una capa más delgada los tipos se podrían deformar ya que harían contacto casi con la lámina de hierro, los tipos se deformarían y a su vez provocaría problemas en el cilindro debido al golpeteo.

### 3.4 SELECCIÓN DEL RODAMIENTO DEL ENCODER

Los rodamientos se diseñan para soportar y ubicar las piezas rotatorias de las maquinas; transfieren las cargas entre los elementos rotatorios y los estacionarios, además permiten la rotación relativamente libre con un mínimo de fricción.

Para la selección del rodamiento es necesario tener en cuenta este pueda a atravesar toda la placa para evitar fricción debido a que el encoder es un sensor muy perceptivo y al restringirse esta función no se realizará correctamente el control del embobinado de la cinta, además es necesario que el rodamiento a escoger restrinja el movimiento de rotación en un sentido para evitar problemas de generación de pulsos no deseados al momento de que el cilindro salga y realice el proceso de estampado.

El rodamiento no soportará cargas radiales ni axiales de consideración, solo se usará para eliminar la fricción entre la placa y el eje; además debe restringir el movimiento en un sentido.

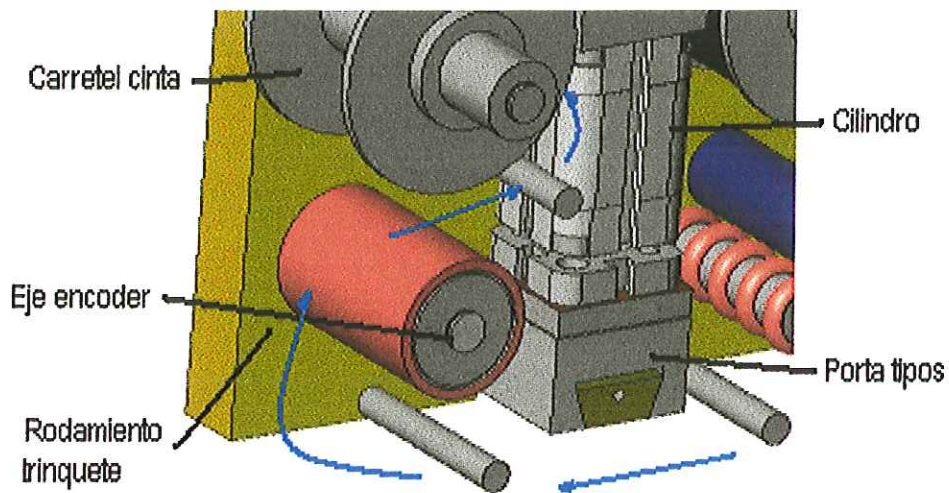
Mediante catálogos se encontró que existen rodamientos que cumplen con la característica de restringir el movimiento en un sentido, ellos son llamados rodamientos de trinquete; estos poseen interiormente rodillos cuya longitud es mayor a su diámetro, son de más utilidad donde el espacio es un factor.

Es por esto que teniendo en cuenta las condiciones y necesidades para adquirir los datos del encoder se usó un rodamiento de trinquete marca INA HF1216 donde HF simboliza la función que cumple que en nuestro caso es de tipo trinquete y 1216 representa el diámetro interno que posee por la longitud del rodamiento.



El eje que contiene el encoder lleva consigo una capa de elastómero siliconado con el fin de hacer posible que la cinta tenga con este un coeficiente de rozamiento para hacerlo girar y a su vez hacer crear los pulsos de desplazamiento de la cinta que fue gastada, la cual tiene que embobinar el motor para no sobre estampar en cinta ya inservible y así poder obtener un estampado óptimo.

Figura 34. Vista de los componentes del encoder y recorrido de la cinta para la embobinada.



Diseño por los autores.

Al realizarse el embobinado, la cinta a través del motor queda tensionada, luego vendría nuevamente un ciclo de estampado, el cual continúa con la salida del cilindro hacia la cinta (que ya esta tensionada y esta haciendo contacto con la capa de elastómero siliconado que es muy sensible) esto provoca que la cinta tienda a regresar en sentido contrario al cual debería embobinarse; esto genera pulsos indeseables los cuales nos provocarían señales erróneas en momentos erróneos.

Por esto, que es necesario usar un rodamiento de trinquete el cual solo permitirá que el eje del encoder solo se desplace en un solo sentido (sentido para embobinar la cinta y saber cuanta cinta ha recorrido) y por consiguiente evitar pequeños desplazamientos en sentido contrario a la embobinada, producidos por la salida del cilindro para la realización del estampado.

### **3.5 DISEÑO ELECTRÓNICO**

Para el diseño electrónico se tienen en cuenta que se requiere controlar en el estampador para el funcionamiento de este, y así identificar cuales serán las señales de entrada (sensores o pulsadores) y cuales serán las señales de salida (actuadores).

El codificador de productos alimenticios tendrá las siguientes señales de entrada:

- Sensor óptico, capacitivo o señal del dosificador.
- Entrada de pulsos (Encoder).
- Sensor Magnético – Inductivo.

Cinco interruptores así:

- Encendido.
- Automático – Manual.
- Una línea.

- Dos líneas.
- Tres líneas.

Tres pulsadores así:

- Entrada Manual.
- Paro de Emergencia.
- Reset.

Y tendrá las siguientes señales de salida:

- Motor de Corriente Continua.
- Electroválvula.
- Alarma (Sonora y visual).

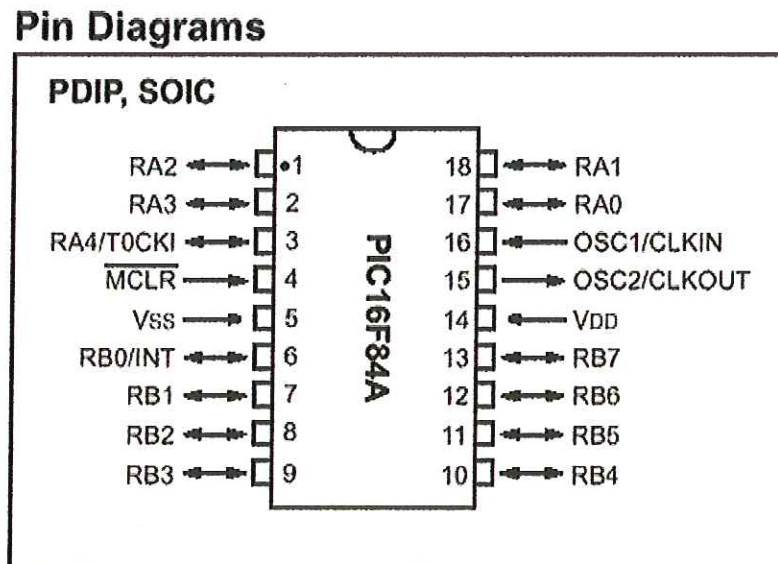
Cinco Leds así:

- Encendido.
- Automático – Manual (On – Off).
- Una Línea.

- Dos Líneas.
- Tres Líneas.

Teniendo en cuenta las entradas y salidas, se ha optado por utilizar un microcontrolador PIC 16F84A [Figura 35.] debido a la cantidad de señales que se van a controlar, y que estas son de tipo digital, el costo de este microcontrolador es muy inferior a otros como los PLCs, también por que es comercial y se consigue en cualquier tienda de electrónica.

Figura 35. PIC 16F84A.



Microcontroladores PIC.

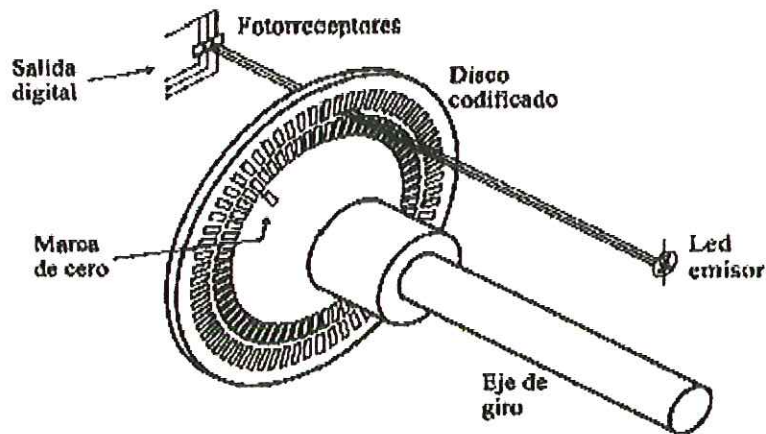
Tabla 11. Configuración de puertos del microcontrolador.

Sensor óptico, capacitivo o señal de inicio.	RA0
Alarma visual.	RA1
Motor.	RA2
Electroválvula.	RA3
Paro de EMERGENCIAS.	RB0
Modo Automático – Manual.	RB1
Una Línea.	RB2
Dos Líneas.	RB3
Tres Líneas.	RB4
Pulsador (Cuando esta en modo manual).	RB5
Alarma sonora	RB6
Entrada de pulsos (Encoder).	RB7

**3.5.1 Selección del encoder.** Para el diseño es necesario usar un sensor de posición con el fin de que este controle la cantidad de cinta que se debe embobinar después de que el cilindro la estampe.

Entre los sensores de posición encontramos los encoders [Figura 38.], los cuales convierten el movimiento en una secuencia de pulsos digitales; estos pulsos se pueden convertir en medidas de posición relativas o absolutas. A medida que el eje gira, el haz de luz interrumpe con las marcas de un disco codificado y se generan pulsos en el receptor, contando estos pulsos es posible conocer la posición del eje.

Figura 36. Componentes y función de un encoder.



#### Automatización y robótica. Sensores

El encoder se encargará de enviar pulsos al microcontrolador de acuerdo a como se hubiese programado; es decir el motor gira y hace que la cinta haga desplazar un eje el cual contiene un disco codificado, este se encarga de cortar un haz de luz generado por un led emisor, y a su vez transmitir esta cantidad de pulsos a través del receptor al microcontrolador.

De acuerdo al programa y a la cantidad de líneas (una, dos, o tres) de texto que se desea imprimir, el receptor enviará la cantidad de pulsos especificados para una línea, el micro al saber que ya se cumplieron con la cantidad de pulsos establecidos por el usuario enviara que señal para así desactivar el motor y hacer que este se detenga y evitar que se embobine cinta que no se ha usado.

El encoder requerido para este diseño debe poseer un disco codificado con gran cantidad de agujeros (de un diámetro grande) con el fin de que envíe una gran cantidad de pulsos en un giro, esto es debido a que las líneas de texto son muy

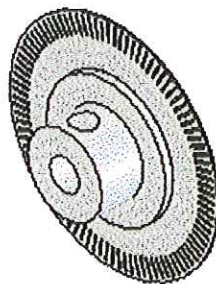
delgadas (cada tipo tiene de grosor 3mm aproximadamente) y al girar este siendo un disco pequeño no alcanzaría a enviar la señal adecuada para que el microcontrolador hiciese detener el motor, además las señales no serian tan exactas para detectar una distancia de 3 mm.

Al tener un disco con mayor cantidad de ranuras mejora la resolución de los pulsos y es más fácil de trabajar que una pequeña. En una pequeña tendríamos por ejemplo que para recorrer una distancia de 3mm la rueda haría enviar 2 pulsos y quizás dando media vuelta mientras con una grande esta enviaría 10 y no giraría casi quizás un cuarto de vuelta.

Al poseer mayor cantidad de pulsos es más estable la lectura de estos en el microcontrolador y esto hace que el sistema sea más eficiente.

A continuación vemos el encoder usado para el diseño.

Figura 37. Disco codificado de encoder Sharp de 96 pulsos.



Diseño por los autores.

**3.5.2 Selección del motor.** Para la selección del motor fué necesario hacer unas pruebas al codificador [Anexo 9], para calcular la fuerza necesaria al empezar a enrollar la cinta, y saber así cual será la potencia requerida del motor con fines de un buen funcionamiento de la máquina.

Se ha seleccionado una velocidad de 30 rpm para el motor, debido a que se necesita cierta velocidad en el dispositivo de estampado, ya que es un sistema relativamente rápido. También se seleccionó esta velocidad para que el motor tenga media revolución cada segundo.

Las pruebas que se realizaron para determinar el torque necesario, se concibieron con un dinamómetro, y de allí se tomó que la fuerza requerida es de 10N, con un radio de 1 cm es decir 0.01 metros.

$$T[Nw * m] = F[Nw] * d[m]$$

$$T = 0.1Nw * m$$

Al saber el torque necesario para el sistema procedemos a encontrar la potencia:

$$P_{mec}[W] = 2 * \pi * n * T[Nw * m] * W[rpm] / 60$$

Donde:

$P_{mec}$  – Potencia [W].

$\pi$  – 3.141592.

$n$  – Factor de seguridad.

$T$  – Torque [Nw \* m].

$W$  – Velocidad angular [RPM]



El factor de seguridad será:

$$n = 2$$
$$P_{mec} = 0.63W$$

Se debe tener en cuenta que existe una eficiencia con respecto a la potencia eléctrica es decir:

$$\eta = \frac{P_{mec}}{P_{elec}}$$

donde:

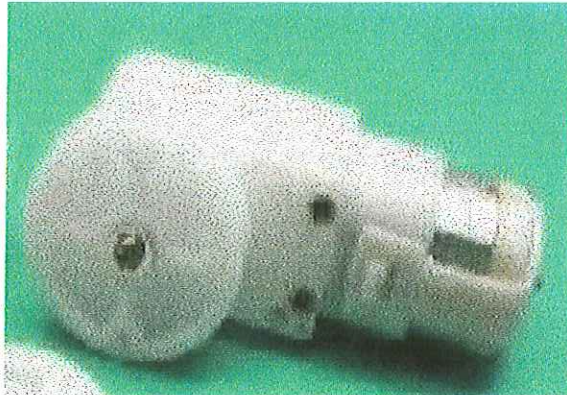
$\eta$  – Eficiencia.

$P_{mec}$  – Potencia mecánica [W].

$P_{elec}$  – Potencia eléctrica [W].

$$P_{elec} = 0.8W$$

Figura 38. Motor-reductor GM3.



[www.robodacta.com](http://www.robodacta.com)

Obteniendo los datos anteriores, como son la potencia, el torque y la velocidad angular, a través de un catalogo, seleccionamos el motor, que se aproxime a las condiciones deseadas.

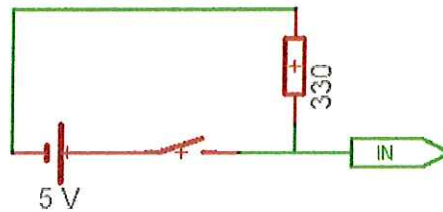
**3.5.3 Cálculos de los componentes para el circuito electrónico.** Para los cálculos de los componentes se debe tener en cuenta lo siguiente:

Las entradas de los pulsadores, switches, el encoder y el sensor son digitales es decir un 0 lógico que será 0 V o un 1 lógico que será 5 V; las salidas como son la alarma y la electroválvula que funcionaran a 110 V, habrá que aislarlas con triacs u optocopladores para separar la parte de control con la potencia, y el motor ya que se selecciono a 5V, se aislara con un transistor.

**3.5.3.1 Cálculos de las señales de entrada.** Debido a que se requieren entradas digitales se opto por alimentar a 5V los switches, pulsadores y sensores, estos cuando son operados, enviarán un 1 lógico a la compuerta del microcontrolador, y cuando estos estén en estado abierto el pin obtendrá el valor de 0 lógico debido a su conexión a través de una resistencia que es dirigida a tierra [Figura 39]; para los pulsadores que a su vez activan un led, es necesario colocar en paralelo al led una resistencia de  $1K\Omega$  para que esta señal sea un 0 lógico [Figura 40]. Las resistencias para todos los casos son de  $330\Omega$ .

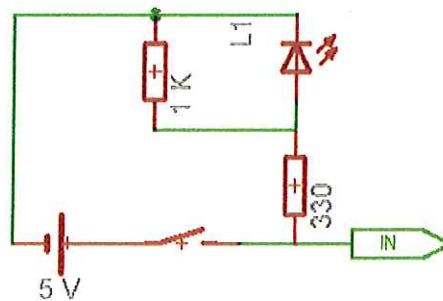
**3.5.3.2 Cálculos de las señales de salida.** Para las señales de salida se deben tener en cuenta cuales dispositivos trabajan a 110V de corriente alterna, y cuales trabajan a 5V de corriente continua. De aquí como la electroválvula y la alarma

Figura 39. Conexión de los interruptores



Diseño por los autores

Figura 40. Conexión de los interruptores con led



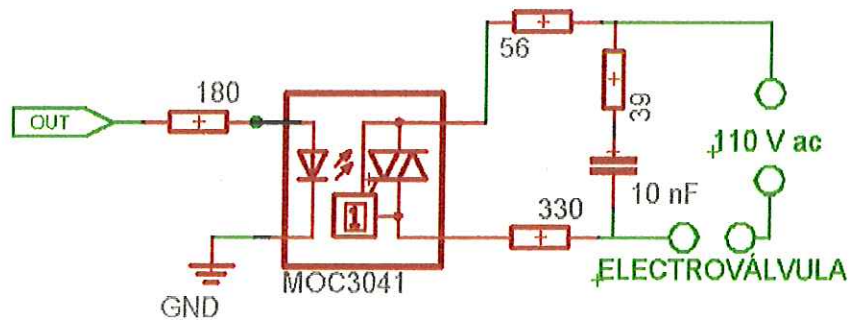
Diseño por los autores

son operadas con voltaje de corriente alterna, hay que hacer un sistema de aislamiento entre el microcontrolador y estos dispositivos; estos dispositivos al tener un consumo de potencia muy bajo, con un optocoplador que resista esta potencia es mas que suficiente para su buen funcionamiento [Figura 41]; por otro lado el motor que se ha seleccionado es a 5V, pero su consumo de corriente en el arranque es muy alto y podría quemar el pin del microcontrolador, pero a su vez como es corriente continua este se puede conmutar a través de un transistor PNP [Figura 42] y para encontrar la corriente de compuerta para la activación de este y la resistencia que debe ir en la compuerta se realizan los siguientes cálculos:

$$I_b = I_{pic} = 150 \text{ mA}$$

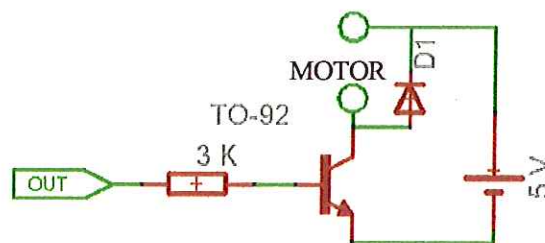
$$R_b = \frac{5 - 0.7}{I_b} = \frac{5 - 0.7}{0.15} \cong 3000 \Omega$$

Figura 41. Conexión de gobierno de la electroválvula y la alarma.



Diseño por los autores.

Figura 42. Conexión de gobierno del motor.



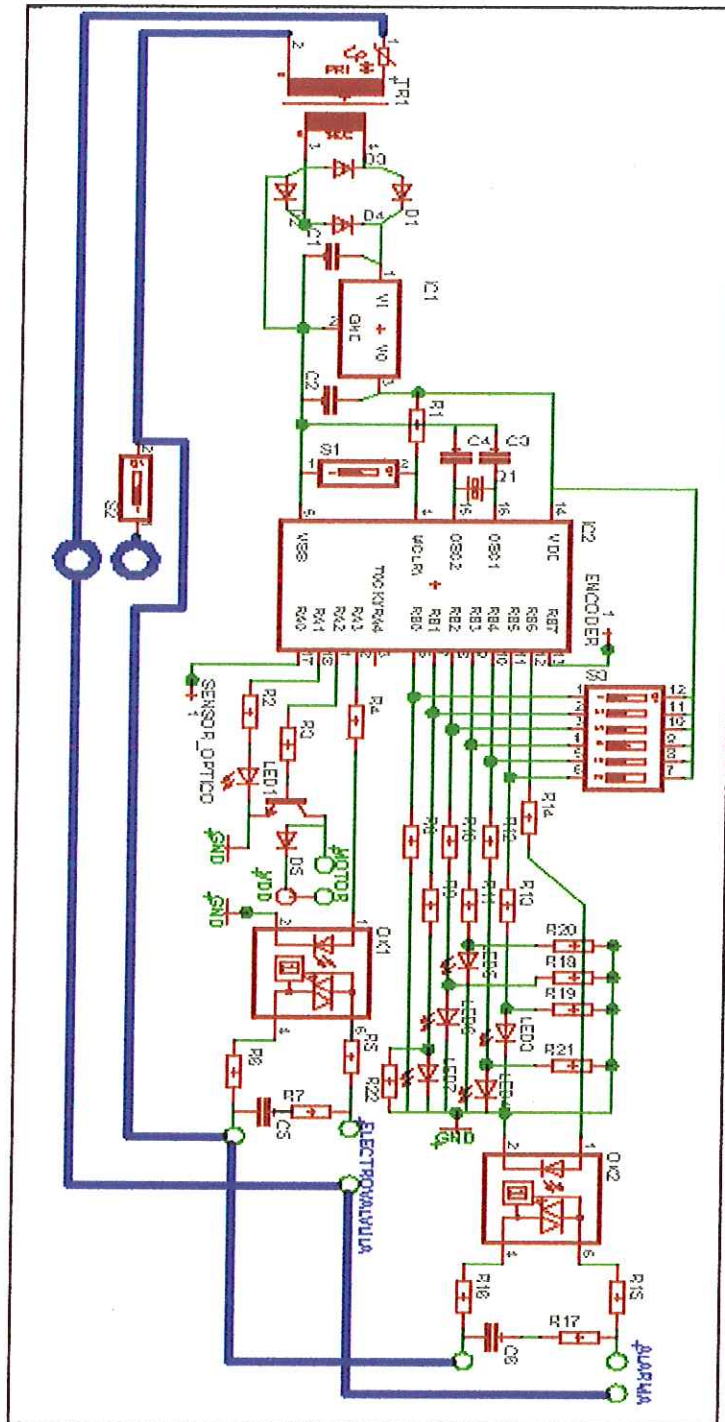
Diseño por los autores.

Para el funcionamiento de los optocopladores se tiene en cuenta según su datasheet la conexión y conmutación de estos.

**3.5.4 Circuito electrónico.** En el circuito electrónico [Figura 43], se pueden observar los elementos que se utilizarán para el control del funcionamiento del estamador, y se detallan así:

- 1 Microcontrolador Microchip PIC 16F84A.
- 1 Transformador 18:1 de Corriente Alterna.
- 1 Sensor Óptico (S.O).
- 1 Encoder.
- 1 Motor.
- 1 Electroválvula.
- 1 Alarma.
- 2 Optocopladores (MOC 3041).
- 1 Transistor (TO-92).
- 1 Rectificador (7805).
- 3 Pulsadores así:
  - Entrada Manual; Paro de Emergencia; Reset.
- 5 Switches así:
  - On – Off; automático – Manual; Una línea; Dos líneas; Tres líneas.
- 5 Diodos.
- 2 Condensadores de 10 nF.
- 2 Condensadores de 100 pF.
- 2 Condensadores de 27 pF.
- 1 Cristal de 4 MHz.
- 1 Resistencias de 100 K $\Omega$ .
- 1 Resistencia de 3 K $\Omega$ .
- 5 Resistencias de 1K $\Omega$ .
- 11 Resistencias de 330  $\Omega$ .
- 2 Resistencia de 56  $\Omega$ .
- 2 Resistencia de 180  $\Omega$ .

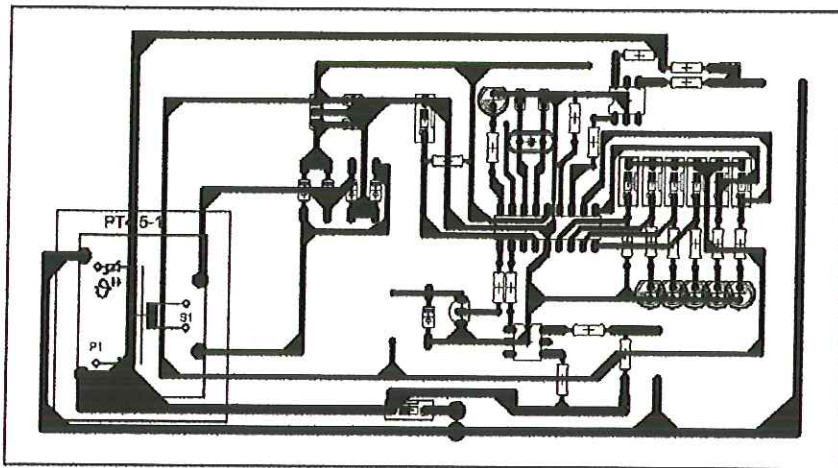
Figura 43. Circuito electrónico



Diseño por los autores.

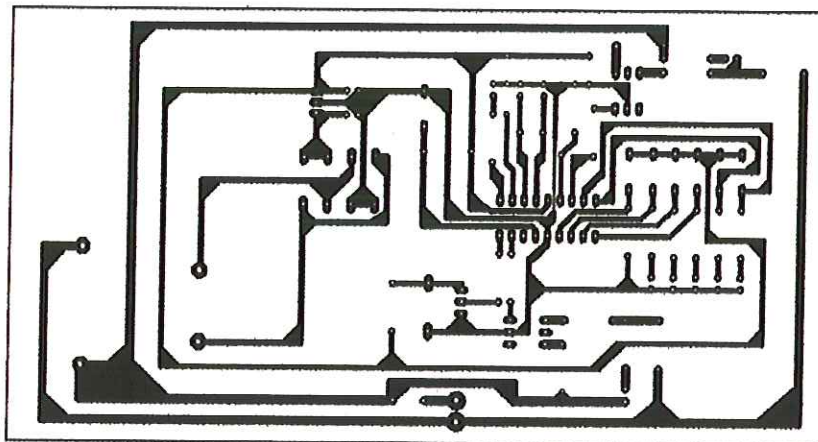
**3.5.5 Impreso del circuito y esqueleto del circuito.** A continuación se puede detallar el circuito impreso con todos sus componentes [Figura 44], y el esqueleto del circuito [Figura 45], el cual será usado para controlar los componentes del codificador.

Figura 44. Circuito impreso.



Diseño por los autores.

Figura 45. Esqueleto circuito electrónico.



Diseño por los autores.

#### 4. ANÁLISIS Y SELECCIÓN DEL CONTROL DE TEMPERATURA

Para el control de temperatura se hicieron pruebas experimentales con otros codificadores y distintos tipos de empaques con el fin de saber si este se podría realizar usando un control on-off, el cual resultaría más económico y sencillo de realizar.

Teniendo en cuenta lo anterior, este sistema se podría realizar mediante un microcontrolador al cual se le asignan valores ya establecidos para cada tipo de materiales obtenidos mediante experimentos como se pueden ver al final [Anexo 7].

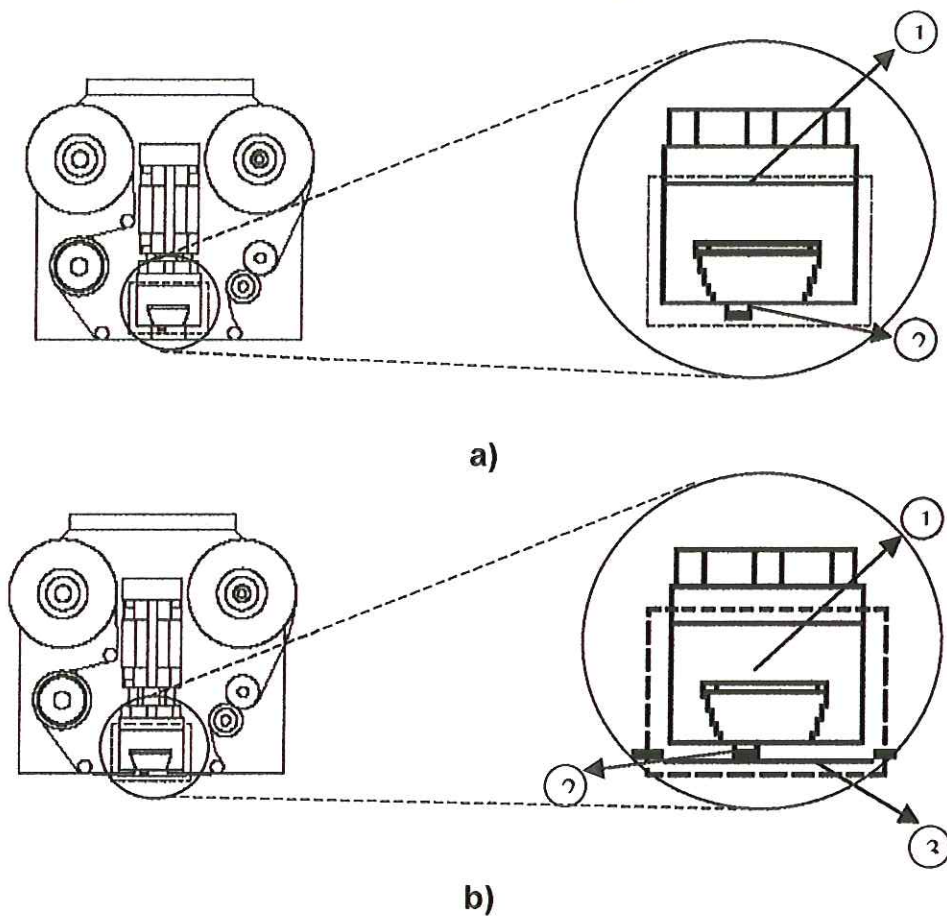
Observando la información técnica de cada material y las pruebas realizadas a cada uno de estos a diferentes temperaturas, se detalló que cada uno de ellos posee sustratos de diferente gramaje, lo que hace inestable el estampado y la temperatura para realizar esta acción también varía según el empaque; es decir no serviría de nada fijar una temperatura para el material específico por que este no tiene un gramaje estándar esto es propiamente dicho por las empresas que lo elaboran (experimentalmente se observó que esto es verdadero), además al elaborar el codificador para una temperatura específica, restringiría que este fuese usado para otras aplicaciones o diferentes clases de maquinaria o empaque.

Por esto se pensó que el control de la temperatura debería ser realizado mediante un controlador de temperatura, el cual tuviese la opción de variar la temperatura en el momento deseado por la persona sin necesidad de requerir cambios en la programación de este.



El presente capítulo hará referencia al diseño y análisis del control de temperatura que será requerido para el funcionamiento del codificador de productos alimenticios. Este se dividirá en dos secciones, una cuando el proceso esta en reposo [Figura 46.a], y la segunda, cuando el proceso se encuentra estampando [Figura 46.b]. Se explicarán los cálculos matemáticos y se analizarán las diferentes graficas que se realizaran con herramientas como Matlab y Simulink.

Figura 46. Codificador de Productos Alimenticios.



a) Estado de reposo

b) Estado de estampado

[1] Resistencia Térmica. [2] Tipos de Impresión. [3] Cinta de termo transferencia.

Diseño por los autores.

## 4.1 CONTROL DE TEMPERATURA

**Ley de Joule.** La cantidad de calor desprendida en un conductor por el paso de una corriente es proporcional al cuadrado de la intensidad de dicha corriente (I) y a la resistencia del conductor (R).

$$Q(J) = R(\Omega) * I^2(A) = POTENCIA(W) \quad (4.1)$$

Se desea controlar a través de la variación de potencia, la temperatura en la resistencia, que es la encargada de la transferencia de calor hacia la cinta para el proceso de estampado. En el proceso se encuentran dos pasos los cuales serán en el momento de estampado y en el momento de reposo.

**4.1.1 Control del proceso en el estado de reposo.** Por medio de la primera ley de la termodinámica, hacemos el balance de energía en la resistencia que es nuestra acción de control y tenemos que:

$$Eg - Esale = Ealmacenada$$

Donde:

$$Eg = P(t)$$

$$Esale = h * A(T - T\alpha) = h * A * \theta$$

$$Ealmacenada = \frac{dU_t}{dt} = \frac{d(pVc\theta)}{dt}$$

$E_g$  – Será la energía generada debido al calentamiento de la resistencia eléctrica. [W].

$E_{sale}$  – Será la energía que pierde el volumen de control por efecto de la convección. [W]

$E_{almacenada}$  – Será el cambio en el almacenamiento de energía debido al cambio de temperatura. [W]

$$P(t) - (h * A * \theta) = \frac{d}{dt} \rho * V * c * \theta \quad (4.2)$$

Las propiedades de las resistencias son las siguientes:

$$L = 38 * 10^{-3} m; h = 200 \frac{W}{m^2 * ^\circ K}; A = 5 * 10^{-3} m^2; \rho = 8900 \frac{Kg}{m^3};$$

$$V = 34.295 * 10^{-6} m^3; c = 444 \frac{J}{Kg * ^\circ K}$$

L- Longitud de la resistencia [m].

h-Coeficiente de convección del aire  $\left[ \frac{W}{m^2 * ^\circ K} \right]$ .

A-Área de la resistencia [m<sup>2</sup>].

$\rho$  -Densidad de la resistencia  $\left[ \frac{Kg}{m^3} \right]$ .

$\theta$ -Transferencia de caloren la resistencia [ $^\circ K$ ].

c-Calor especifico  $\left[ \frac{J}{Kg * ^\circ K} \right]$ .

$P$  -Potencia suministrada a la resistencia  $[W]$ .

$$P(t) - \theta(t) = 135.5 \frac{d\theta(t)}{dt}$$

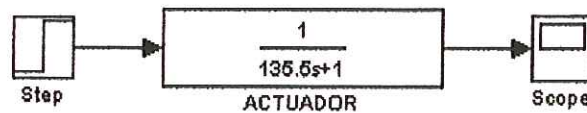
Aplicando la transformada de Laplace para valores de la frontera  $\theta(0) = 0$  tenemos:

$$\frac{\theta(s)}{P(s)} = \frac{1}{[135.5*s + 1]} \quad (4.3)$$

A continuación, con la ecuación 4.3 a través de Simulink, se observará la respuesta a una perturbación de paso, para la variable manipulada.

El diagrama de bloques del Actuador, que es la resistencia será:

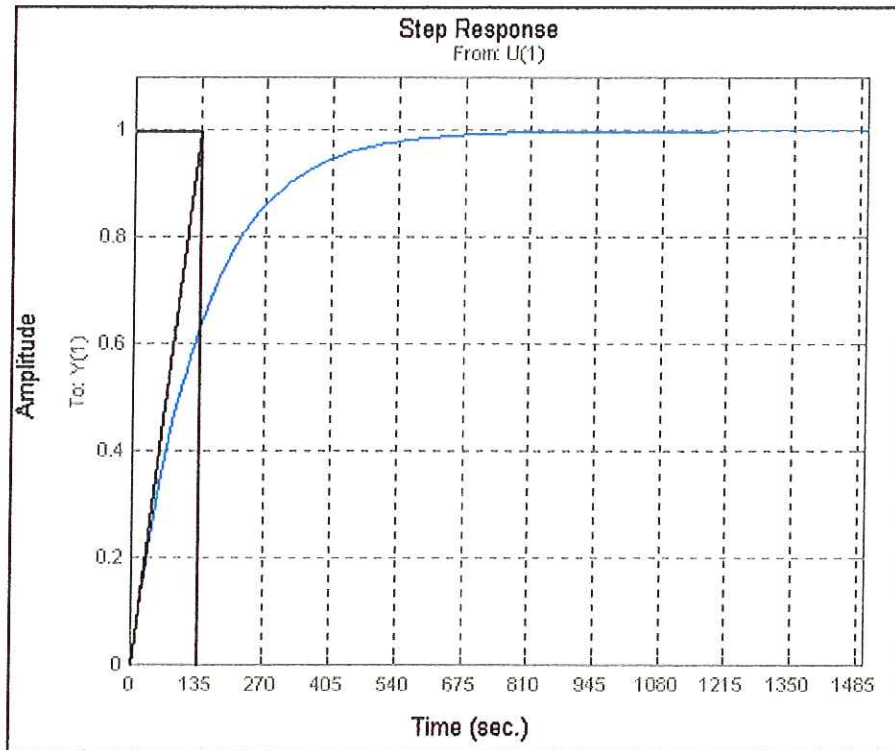
Figura 47. Diagrama de bloque del Actuador.



Simulink, Matlab.

Y su grafica correspondiente a la respuesta al paso es:

Figura 48. Respuesta al paso de la función de transferencia del actuador.



Matlab.

Por medio de la [Figura 48] se puede observar que el sistema es compensado con una constante de tiempo muy prolongado, aproximadamente los 135.5 segundos, por lo tanto se debe aplicar un sistema de control que agilice este procedimiento, y que a la vez lo mantenga estable.

A continuación de este procedimiento, teniendo la función de transferencia del actuador (resistencia), se dispone a encontrar la función de transferencia del termopar.

**4.1.2 Termómetros termoelectrónicos (termopar).** Los termopares son el sensor de temperatura más común utilizado industrialmente. Estás se hacen con dos alambres de distinto material unidos en un extremo (soldados generalmente).

El principio de medición de temperatura utilizando termopares se basa en tres principios físicos, que son:

- **Efecto Seebeck:** al unir dos cables de materiales diferentes formando un circuito, se presenta una corriente eléctrica cuando las juntas se encuentran a diferente temperatura.
- **Efecto Peltier:** consiste en que cuando una corriente eléctrica fluye a través de una junta de dos metales diferentes, se libera o absorbe calor. Cuando la corriente eléctrica fluye en la misma dirección que la corriente Seebeck, el calor es absorbido en la junta caliente y liberado en la junta fría.
- **Efecto Thomson:** un gradiente de temperatura en un conductor metálico está acompañado por un gradiente de voltaje, cuya magnitud y dirección depende del metal que se esté utilizando.

De esta manera, se obtiene una relación entre la diferencia de temperatura en los conductores y el voltaje generado, este último será directamente proporcional; y su constante depende de la naturaleza de los materiales utilizados.

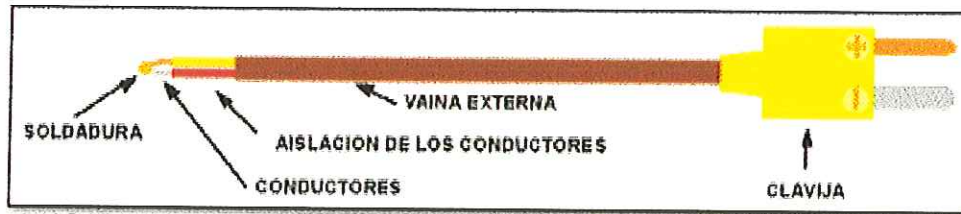
Las termocuplas tipo J se usan principalmente en la industria del plástico, goma (extrusión e inyección) y fundición de metales a bajas temperaturas (Zamac, Aluminio).

Tabla 12. Tabla de características de la termocupla tipo J.

Termocupla	Cable + aleación	Cable- aleación	Rango de Temp. (min, max) [°C]	Tensión max. [mV]	Limite de error [°C]
J	Hiero	cobre/niquel	(0,750)	42.2	+/- 2.2

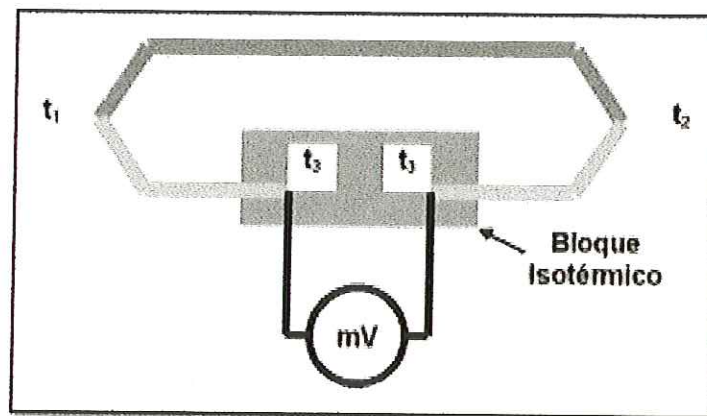
[www.viditec.com.ar/prensa](http://www.viditec.com.ar/prensa)

Figura 49. Diagrama de la termocupla.



[www.viditec.com.ar/prensa](http://www.viditec.com.ar/prensa)

Figura 50. Circuito de Conexión de la Termocupla.



[www.viditec.com.ar/prensa](http://www.viditec.com.ar/prensa)

**4.1.2.1 Tabla de características de la termocupla J.** La dependencia entre la tensión entregada por la termocupla y la temperatura no es lineal (no es línea una recta) es deber del instrumento electrónico destinado a mostrar la lectura, efectuar la linealización, es decir, tomar la tensión y conociendo el tipo de termocupla, ver en tablas internas la temperatura correspondiente a dicha tensión.

Tabla 13. Tabla de característica de la termocupla tipo J.

**TERMOCUPLA J**

Milivoltios

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.000	0.050	0.101	0.151	0.202	0.253	0.303	0.354	0.405	0.456
10	0.507	0.558	0.609	0.660	0.711	0.762	0.813	0.865	0.916	0.967
20	1.019	1.070	1.122	1.174	1.225	1.277	1.329	1.381	1.432	1.484
30	1.536	1.588	1.640	1.693	1.745	1.797	1.849	1.901	1.954	2.006
40	2.058	2.111	2.163	2.216	2.268	2.321	2.374	2.426	2.479	2.532
50	2.585	2.638	2.691	2.743	2.796	2.849	2.902	2.956	3.009	3.062
60	3.115	3.168	3.221	3.275	3.328	3.381	3.435	3.488	3.542	3.595
70	3.649	3.702	3.756	3.809	3.863	3.917	3.971	4.024	4.078	4.132
80	4.186	4.239	4.293	4.347	4.401	4.455	4.509	4.563	4.617	4.671
90	4.725	4.780	4.834	4.888	4.942	4.996	5.050	5.105	5.159	5.213
100	5.268	5.322	5.376	5.431	5.485	5.540	5.594	5.649	5.703	5.758
110	5.812	5.867	5.921	5.976	6.031	6.085	6.140	6.195	6.249	6.304
120	6.359	6.414	6.468	6.523	6.578	6.633	6.688	6.742	6.797	6.852
130	6.907	6.962	7.017	7.072	7.127	7.182	7.237	7.292	7.347	7.402
140	7.457	7.512	7.567	7.622	7.677	7.732	7.787	7.843	7.898	7.953
150	8.008	8.063	8.118	8.174	8.229	8.284	8.339	8.394	8.450	8.505

Tecnomatic.



Ahora de la tabla característica de las termocuplas tenemos que:

$$\begin{aligned} 0^{\circ}C &\rightarrow 0mV \\ 150^{\circ}C &\rightarrow 8.008mV \end{aligned}$$

Conociendo que la pendiente de una curva es su derivada, de aquí:

$$V = 53 * 10^{-6} \theta$$

Aplicando la Transformada de Laplace nos queda :

$$\frac{V(s)}{\theta(s)} = 53 * 10^{-6} \quad (4.4)$$

Debido a que la función de transferencia del sensor ecuación 4.4, es muy pequeña se aplica una amplificación en la señal dado por el controlador, dando como resultado:

$$\frac{V(s)}{\theta(s)} = 53 * 10^{-2} \quad (4.5)$$

$$\frac{\theta(s)}{P(s)} = \frac{1}{[135.5 * s + 1]} \quad (4.3)$$

Ahora para el diseño del controlador, conociendo por la ecuación 4.3 que es una función de primer orden, nos referimos al diseño de sistemas de control por retroalimentación sin tiempo muerto y diseño y ajuste del controlador por el método de ultima ganancia o de oscilación de Ziegler - Nichols.

**4.1.3 Diseño del controlador.** A continuación procedemos a realizar el diseño del controlador.

**4.1.3.1 Ajuste de controladores por retroalimentación.**

Para un proceso de primer orden :

$$G(s) = \frac{K}{[T^*s + 1]} \quad G_c(s) = \frac{[T^*s + 1]}{K} * \frac{1}{T_c * s} \rightarrow G_c(s) = \frac{T}{K * T_c} * \left[ 1 + \frac{1}{T^*s} \right]$$

de aqui :

$$G_c(s) = Kc * \left[ 1 + \frac{1}{T_i * s} \right]$$

$$Kc = \frac{a1}{K} * \left( \frac{T0}{T} \right)^{b1}$$

$$Ti = \frac{T}{a2} * \left( \frac{T0}{T} \right)^{b2}$$

Parámetros de ajuste de integral mínima de error para entrada de perturbaciones:

	ICE	IAE	IAET
<b>a1</b>	1,305	0,984	0,859
<b>b1</b>	-0,959	-0,986	-0,977
<b>a2</b>	0,492	0,608	0,674
<b>b2</b>	0,739	0,707	0,680

<b>K</b>	<b>1,000</b>
<b>T0</b>	<b>1,000</b>
<b>T</b>	<b>135,5</b>

	ICE	IAE	IAET	ICE	IAE	IAET
<b>(T0/T)</b>	<b>Kc</b>			<b>Ti</b>		
0,00738	144,59	124,48	103,97	7,32	6,93	7,14

Tomando como ajuste IAE, la función de transferencia del controlador será:

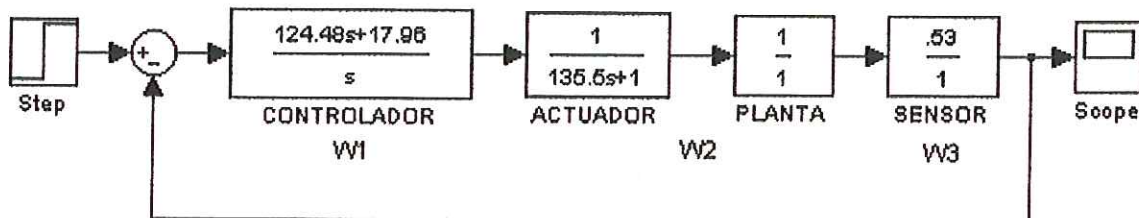
$$G_c(s) = 124.48 * \left[ 1 + \frac{1}{6.93 * s} \right]$$

$$G_c(s) = \frac{124.48 * s + 17.96}{s} \quad (4.6)$$

Obtenidas las cuatro funciones de transferencia (controlador, actuador, planta, sensor), se utiliza la herramienta Simulink para observar de acuerdo al diagrama de bloques como es la respuesta ante una perturbación de paso, a la entrada.

El diagrama de bloques del controlador, sensor, planta y actuador con retroalimentación será:

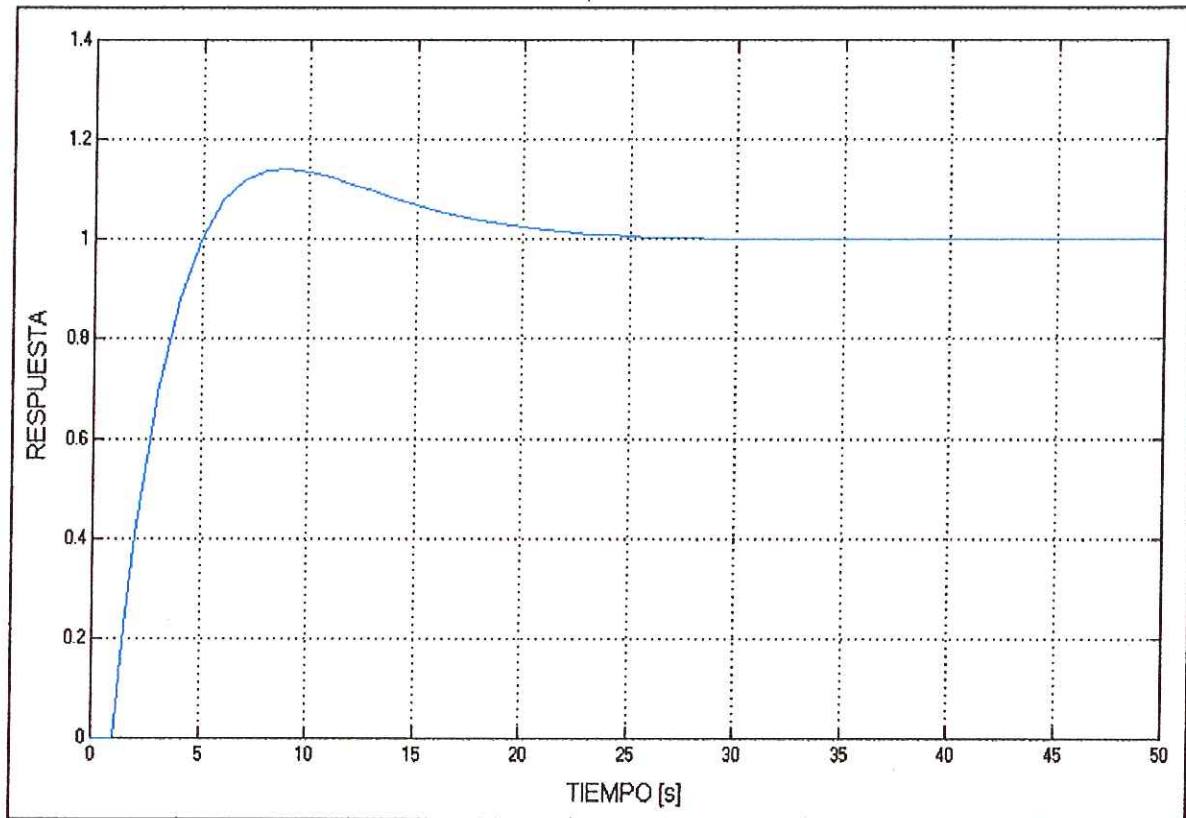
Figura 51. Diagrama de bloques Controlador, sensor, planta y actuador.



Simulink, Matlab.

Y la grafica correspondiente a la respuesta al paso es:

Figura 52. Respuesta al paso del diagrama de lazo cerrado.



Matlab.

Como se puede observar en la grafica [Figura 52], el sistema con retroalimentación se estabiliza ya en un periodo de tiempo más corto.

A continuación se comprueba por el método matemático y se verifica a través de Matlab.

Por último para un sistema de lazo cerrado la función de control será  $W_{LC}(s)$

$$W_{LC}(s) = \frac{W1 * W2 * W3}{1 + W1 * W2 * W3}$$

$$W_{LC}(s) = \frac{\frac{1}{[135.5 * s + 1]} * 53 * 10^{-2} * \frac{124.48 * s + 17.96}{s}}{1 + \frac{1}{[135.5 * s + 1]} * 53 * 10^{-2} * \frac{124.48 * s + 17.96}{s}}$$

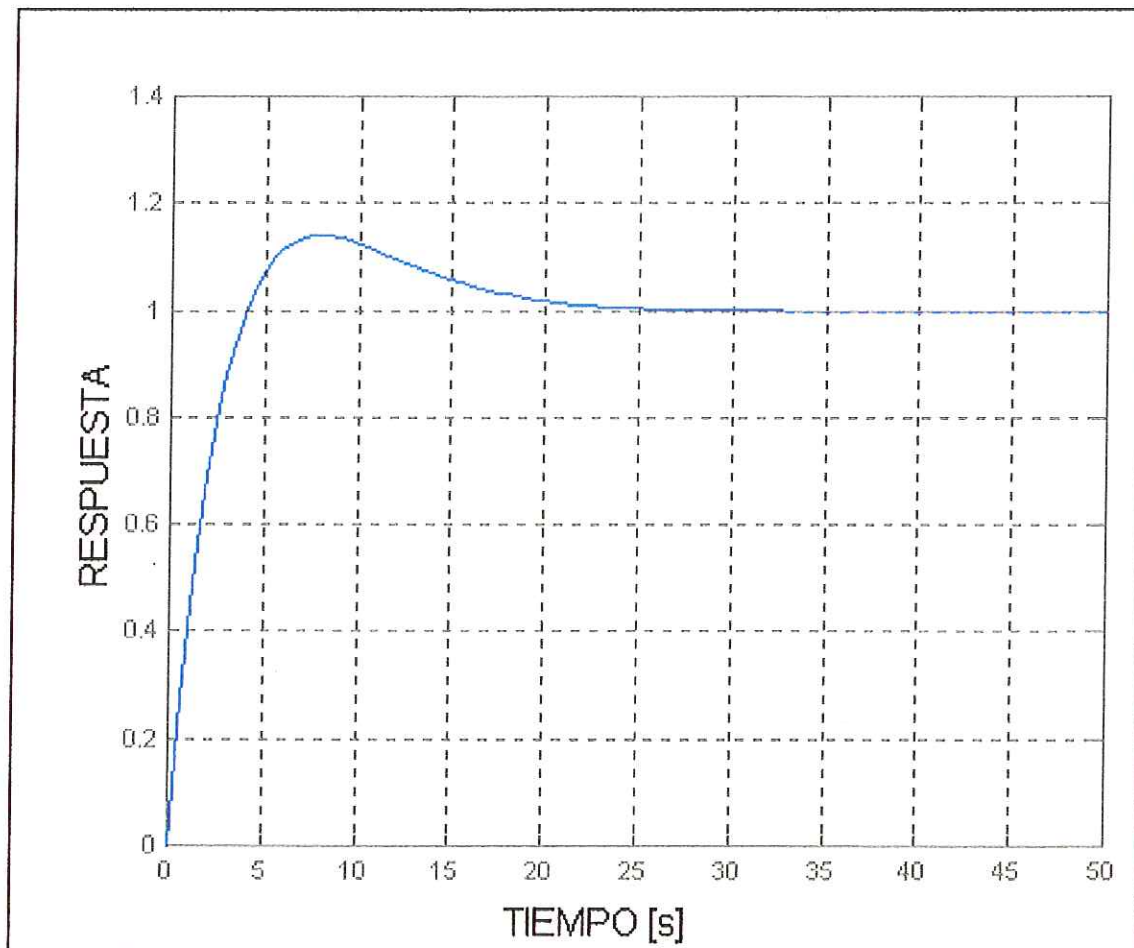
$$W_{LC}(s) = \frac{65.97 * s + 9.52}{135.5s^2 + 66.97 * s + 9.52} \quad (4.7)$$

Se comprueba con una herramienta matemática como es el Matlab, y la gráfica que muestra con respecto a la entrada de paso es:

#### PROGRAMA EN MATLAB.

```
%% Respuesta al paso y diagrama de Nyquist
num = [65.97 9.52]
num =
    65.97    9.52
den = [135.5 66.97 9.52]
den =
    135.5    66.97    9.52
step(num,den,50)
nyquist(num,den)
```

Figura 53. Respuesta al paso de  $W_{LC}(s)$ .

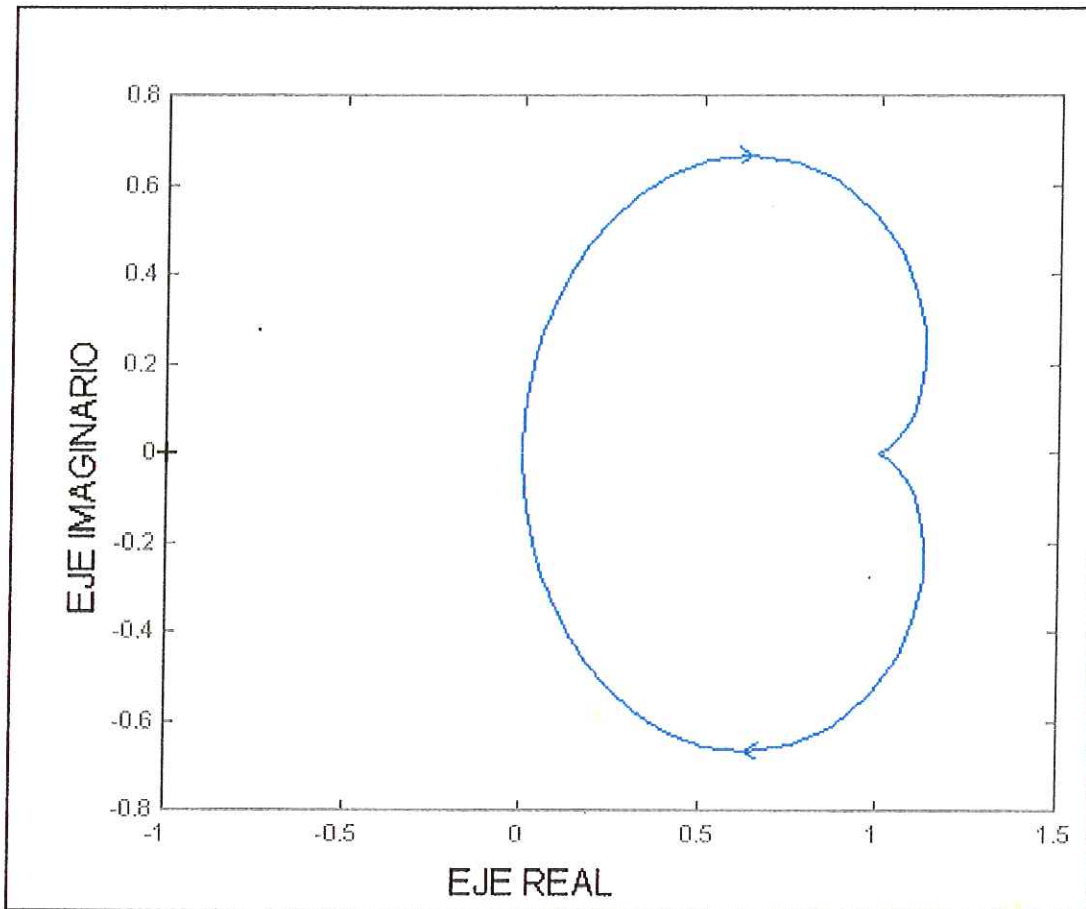


Matlab.

Debido a que no sabemos si el controlador estabiliza la señal para todo el dominio del tiempo, trabajamos también con el diagrama de Nyquist.

Y los resultados son los siguientes:

Figura 54. Diagrama de Nyquist de  $W_{LC}(s)$ .

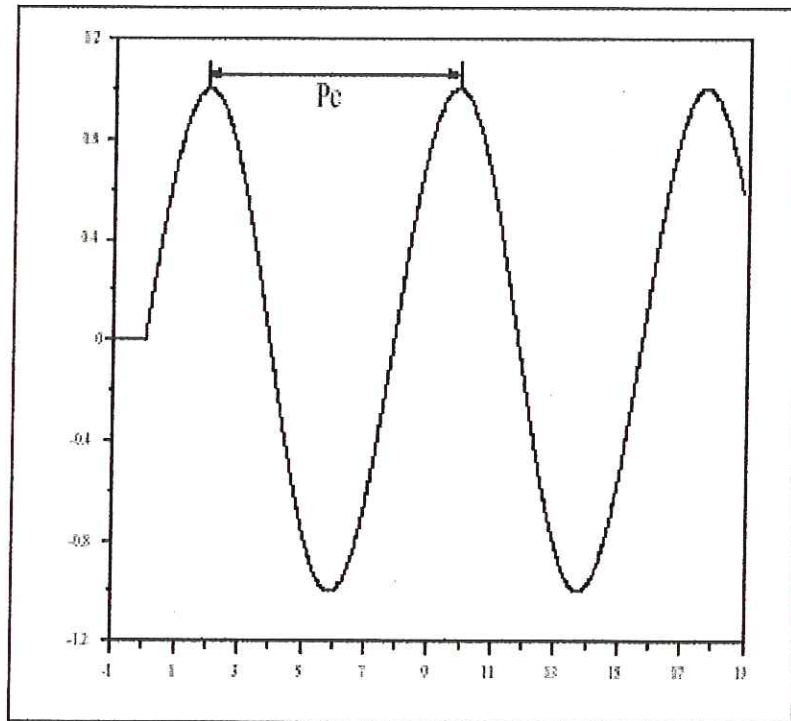


Matlab.

**4.1.3.2 Ajuste de controladores por Ziegler – Nichols.** El ajuste del controlador por el método de última ganancia para lazo cerrado sistema de oscilación de Ziegler – Nichols, se basa en aplicar una perturbación variando solo la componente proporcional del controlador e ir aumentando la ganancia hasta que la señal de salida muestre un comportamiento con oscilaciones sostenidas, y luego

aplicar la tabla de ajuste de los parámetros de control para determinar la función de transferencia del controlador.

Figura 55. Respuesta a la planta con ganancia crítica.



Controladores PID. Virginia Mazzone.

Tabla 14. Parámetros de controladores PID según el método de oscilación de Ziegler – Nichols.

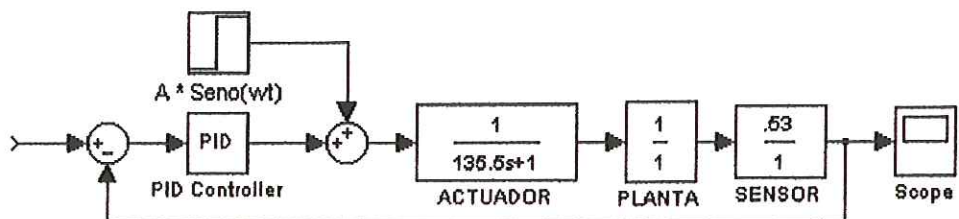
	<b>Kp</b>	<b>Ti</b>	<b>Td</b>
<b>P</b>	<b>0.50 * Kc</b>	-	-
<b>PI</b>	<b>0.45 * Kc</b>	<b>Pc/1.2</b>	-
<b>PID</b>	<b>0.60 * Kc</b>	<b>Pc/2.0</b>	<b>Pc/8</b>

Controladores PID. Virginia Mazzone.



El diagrama de bloques del sensor, planta y actuador con retroalimentación y una ganancia crítica de 50000 será:

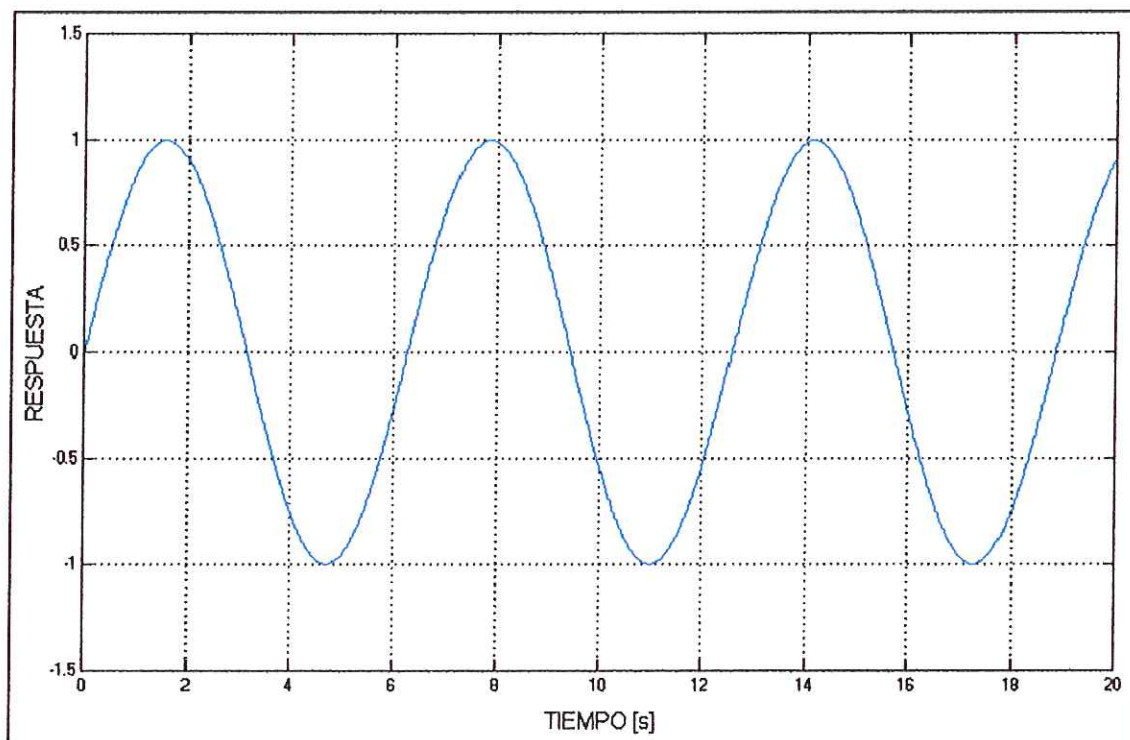
Figura 56. Diagrama de bloques actuador, planta y sensor.



Simulink, Matlab.

Y sus respectivas gráficas son:

Figura 57. Respuesta de la planta con ganancia crítica.



Simulink, Matlab.

Como se puede observar en la grafica [Figura 57], la respuesta de la planta es una función oscilatoria, igual que la función a la entrada del sistema, y de allí se pueden tomar los siguientes datos:

$$P_c = 6.$$

$$K_c = 50000.$$

Aplicando los parámetros Ziegler – Nichols:

$$K_p = 22500.$$

$$T_i = 5.$$

Para un proceso de primer orden :

$$G_c(s) = K_c * \left[ 1 + \frac{1}{Q * s} \right]$$

de aquí :

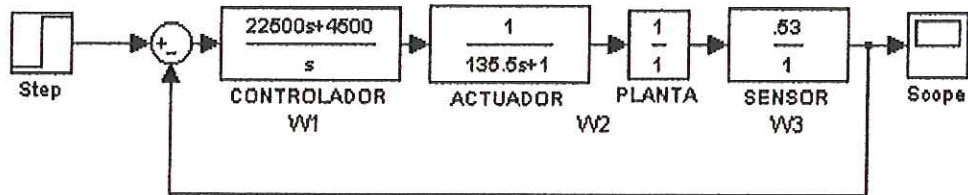
$$G_c(s) = 22500 * \left[ 1 + \frac{1}{5 * s} \right]$$

$$G_c(s) = \frac{22500 * s + 4500}{s} \quad (4.8)$$

Obtenidas las cuatro funciones de transferencia (controlador, actuador, planta, sensor), se utiliza la herramienta Simulink para observar de acuerdo al diagrama de bloques como es la respuesta ante una perturbación de paso, a la entrada.

El diagrama de bloques del controlador, sensor, planta y actuador con retroalimentación será:

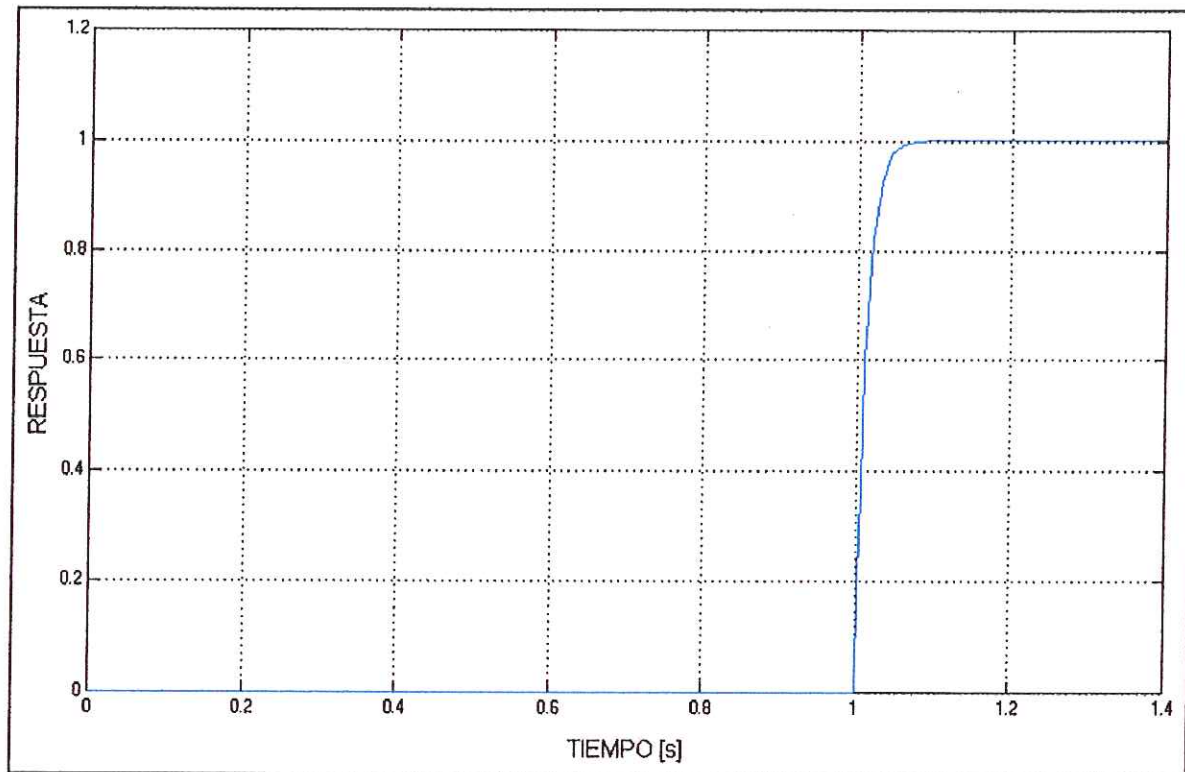
Figura 58. Diagrama de bloques controlador, actuador, planta y sensor.



Simulink, Matlab.

Y la gráfica correspondiente a la respuesta al paso es:

Figura 59. Respuesta al paso del diagrama de lazo cerrado.



Simulink, Matlab.

Como se puede observar en la grafica [Figura 59], el sistema con retroalimentación se estabiliza ya en un periodo de tiempo más corto.

A continuación, se comprueba por el método matemático y se verifica a través de Matlab.

Por último para un sistema de lazo cerrado la función de control será  $W_{LC}(s)$

$$W_{LC}(s) = \frac{W1 * W2 * W3}{1 + W1 * W2 * W3}$$

$$W_{LC}(s) = \frac{\frac{1}{[135.5 * s + 1]} * 53 * 10^{-2} * \frac{22500 * s + 4500}{s}}{1 + \frac{1}{[135.5 * s + 1]} * 53 * 10^{-2} * \frac{22500 * s + 4500}{s}}$$

$$W_{LC}(s) = \frac{11925 * s + 2385}{135.5 * s^2 + 11926 * s + 2385} \quad (4.9)$$

Ahora se comprueba en una herramienta matemática como es el Matlab, y la grafica que muestra con respecto a la entrada de paso es:

#### PROGRAMA EN MATLAB.

```
%% Respuesta al Paso y Diagrama de Nyquist

num = [11925 2385]

num =
    11925    2385

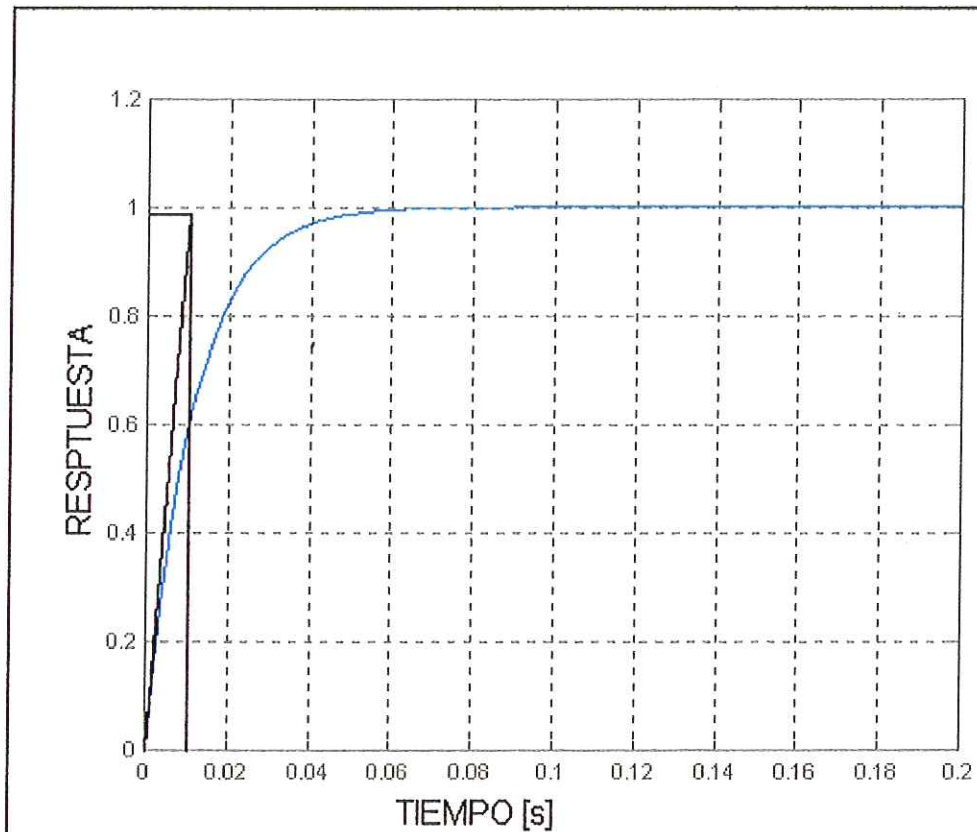
den = [135.5 11925 2385]
```

```
den =  
135.5 11925 2385
```

```
step(num,den,50)
```

```
nyquist(num,den)
```

Figura 60. Respuesta al paso de  $W_{LC}(s)$ .

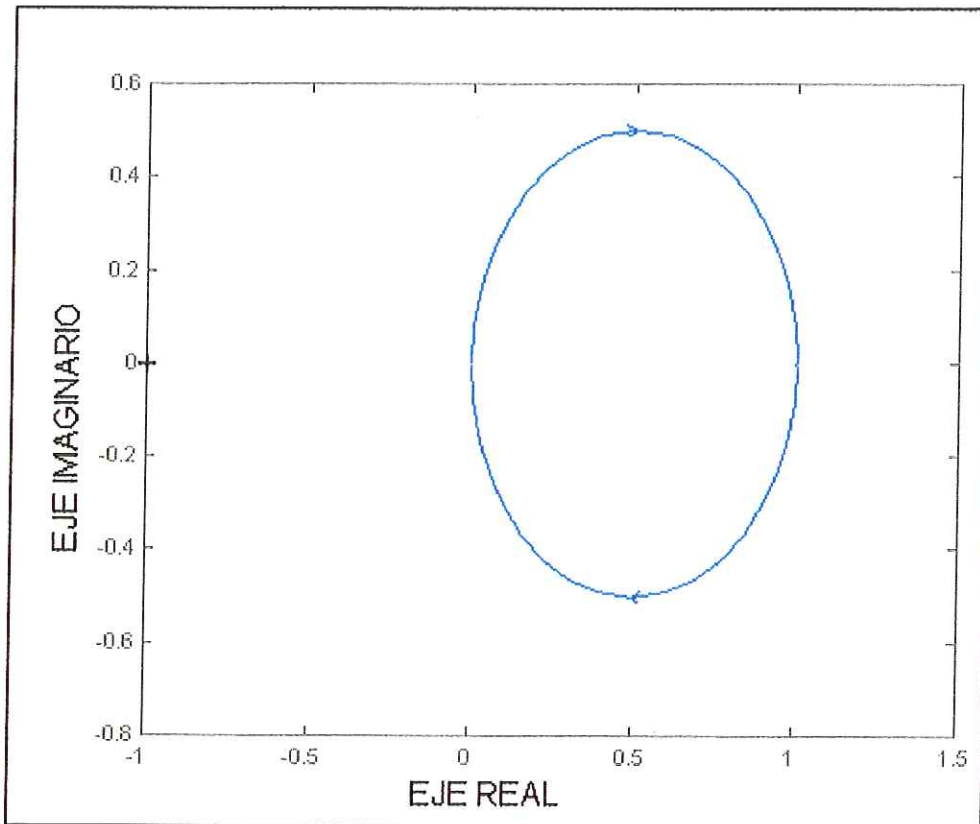


Simulink, Matlab.

Debido a que no sabemos si el controlador estabiliza la señal para todo el dominio del tiempo, trabajamos también con el diagrama de Nyquist.

Y los resultados son los siguientes:

Figura 61. Diagrama de Nyquist de  $W_{LC}(s)$ .



Simulink, Matlab.

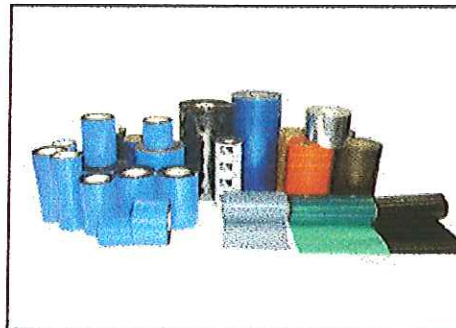
Como se puede observar en ambas graficas [Figura 60] y [Figura 61], el sistema es estable, en todo el dominio del tiempo, y a la vez se puede determinar que tanto matemáticamente como experimentalmente los resultados son los mismos, y el sistema se estabiliza en un periodo de tiempo de 0.01 segundos, aceptable para el proceso. Cabe observar, que las funciones de transferencia tienen como entrada una variación en la potencia, es decir que por cada Watt de consumo que varíe la resistencia el sistema se demora en estabilizarse un lapso de tiempo aproximado de 0.01 segundos, pero si se quisiera saber la variación de potencia

con respecto a la variación de temperatura, sería un procedimiento más complejo e innecesario debido a que la capacidad de potencia de la resistencia es suficiente, y probablemente la variación en la potencia sería casi nula y no se presentaría ninguna perturbación en el sistema de control, por lo tanto daría como resultado que el sistema no variaría.

## 4.2 CONTROL PARA EL PROCESO DE ESTAMPADO

**4.2.1 Cinta de termo transferencia.** Su principio de funcionamiento consiste en el traspaso de una película de carbón depositada en un mylar, a la superficie de papel (etiqueta), por efecto de la temperatura generada en el cabezal impresor. Es utilizada en la codificación por cuño caliente o Hot stamp.

Figura 62. Cinta S-3 de Cera-Resina.

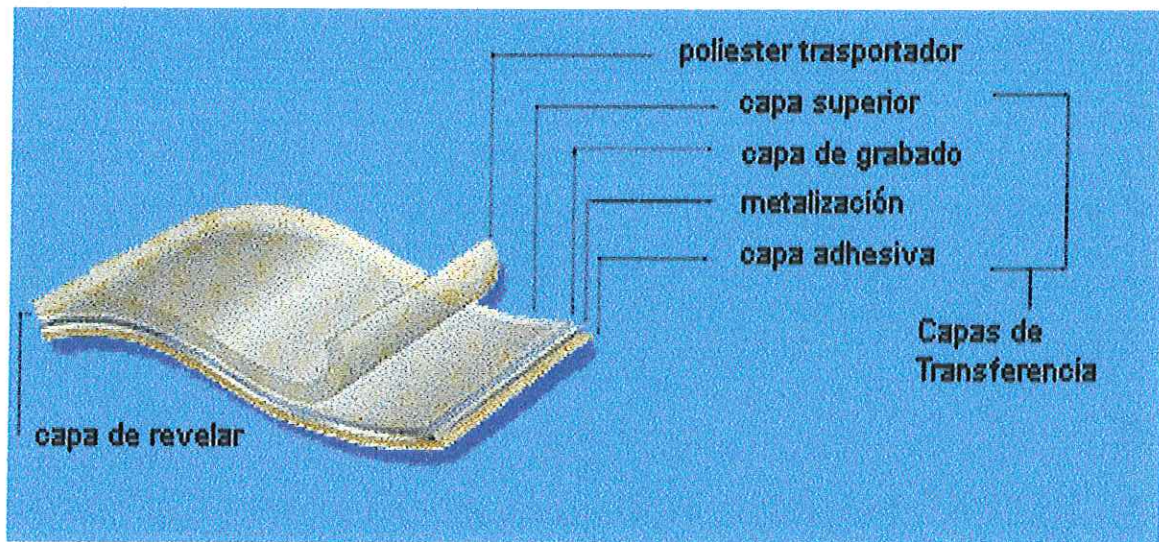


[www.kurz.com](http://www.kurz.com)

**4.2.1.1 Estructura de la cinta de transferencia térmica:** La cinta de transferencia térmica es hecha de un portador de poliéster, varias capas de laca y un adhesivo según el tamaño. Durante el estampado una rueda del timbrado acalorado o el dado del timbrado grabado, activa las capas de laca muy delgadas

por medio del calor y presión. Esto causa las capas de laca para unir permanentemente con el substrato de plástico, papel o papel termal. El portador de poliéster se desprende hacia el empaque.

Figura 63. Capas de la Cinta de Cera-Resina S-3.



[www.kurz.com](http://www.kurz.com)

Tabla 15. Propiedades de la Cinta de Cera-Resina S-3.

Espesor del film	4.5 ±0.5μ
Espesor total	7.0±0.5μ
Espesor de tinta	2.5 ±0.5μ
Punto de fusión	83° C
Velocidades de Impresión	Hasta 300 mm (12")/segundo



## NOTAS:

- Se recomienda que la cinta sea probada independientemente para satisfacer los requerimientos específicos de la etiqueta, y para determinar las condiciones óptimas de impresión.
- Los resultados de las pruebas pueden variar dependiendo de la marca de la etiqueta, lote de la etiqueta, o condiciones de impresión.
- Utilización: 5° C a 35° C; 35% a 85% RH.
- Almacenaje: 5° C a 35° C; 30% a 85% RH.
- Si hay cambio en materia prima, proceso de fabricación, o método de prueba en el producto, puede causar que la especificación del producto cambie.

Por medio de la primera ley de la termodinámica hacemos el balance de energía en la cinta de termo-transferencia que en serie con la función de transferencia de la resistencia en estado de reposo, va a ser nuestra acción de control y tenemos que:

$$E_{entra} - E_{sale} = E_{almacenada}$$

Donde:

$$E_{entra} = K * A_{resistencia} / L_{cinta} * (T - T\alpha) = K * A_{resistencia} / L_{cinta} * \theta$$

$$E_{sale} = h * A_{cinta} (T - T\alpha) = h * A_{cinta} * \theta$$

$$E_{almacenada} = dU_t / dt = d(\rho_{cinta} * V_{cinta} * C_{cinta} * \theta) / dt$$

*Eentra* – Será la energía que debido al calentamiento de la resistencia eléctrica es suministrada a la cinta. [W].

*Esale* – Será la energía que pierde la cinta por efecto de la convección. [W]

*Ealmacenada* – Será el cambio en el almacenamiento de energía debido al cambio de temperatura. [W]

$$K_c * \frac{A_c}{L_c} * \theta_e - (h * A_c * \theta_s) = \frac{d}{dt} \rho_c * V_c * c_c * \theta_s$$

Las propiedades de la resistencia son las siguientes:

$$L_c = 7 * 10^{-6} \text{ m} ; h = 200 \frac{W}{m^2 * ^\circ K} ; A_c = 5 * 10^{-3} \text{ m}^2 ; \rho_c = 900 \frac{Kg}{m^3} ;$$

$$V_c = 35 * 10^{-9} \text{ m}^3 ; c_c = 2890 \frac{J}{Kg * ^\circ K} ; K_c = 0.24 \frac{W}{m * ^\circ K}$$

$L_c$  - Longitud de la cinta. [m]

$h$  - Coeficiente de conveccion del aire.  $\left[ \frac{W}{m^2 * ^\circ K} \right]$

$A_c$  - Área de la cinta. [m<sup>2</sup>]

$\rho_c$  - Densidad de la cinta.  $\left[ \frac{Kg}{m^3} \right]$

$\theta$  - Transferencia de calor. [°K]

$c_c$  - Calor específico de la cinta.  $\left[ \frac{J}{Kg * ^\circ K} \right]$

$K_c$  - Conductividad térmica de la cinta.  $\left[ \frac{W}{m * ^\circ K} \right]$

$$171.43 * \theta_e(t) - \theta_s(t) = 0.091 * \frac{d\theta_s(t)}{dt} \quad (4.10)$$

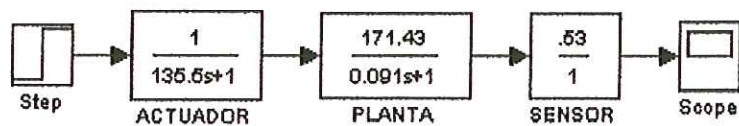
Aplicando la transformada de Laplace para valores de frontera  $\theta(0) = 0$  tenemos:

$$\frac{\theta_s(s)}{\theta_e(s)} = \frac{171.43}{[0.091 s + 1]} \quad (4.11)$$

A continuación, con las ecuaciones No. 4.3, 4.5 y 4.11 a través de Simulink, se observará la respuesta a una perturbación de paso, para el sistema.

El diagrama de bloques del actuador, planta y sensor, será:

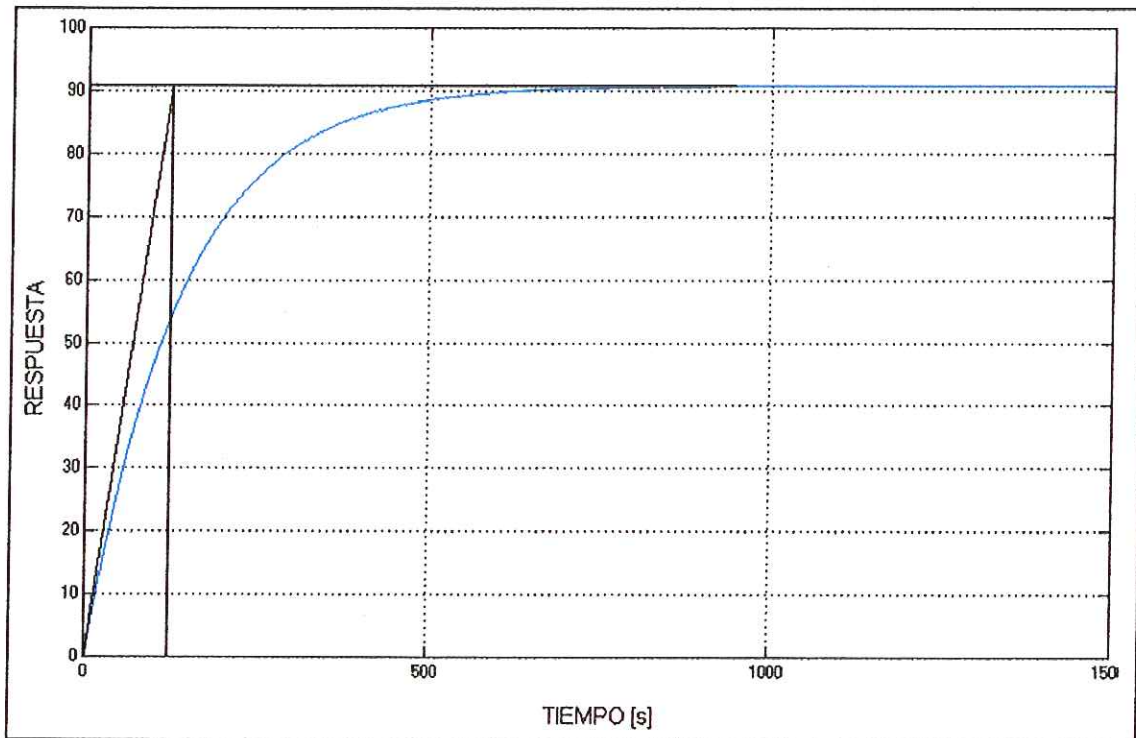
Figura 64. Diagrama de bloques actuador, planta y sensor.



Simulink, Matlab.

Y su gráfica correspondiente a la respuesta al paso es:

Figura 65. Respuesta al paso del sistema.



Simulink, Matlab.

Por medio de la grafica [Figura 65] se puede observar que el sistema es compensado con una constante de tiempo muy prolongado, aproximadamente los 122.5 segundos, por lo tanto se debe aplicar un sistema de control que agilice este procedimiento, y que a la vez lo mantenga estable.

Ahora para el diseño del controlador, conociendo la ecuación 4.3 y 4.11 que son dos funciones de primer orden en serie, nos referimos al diseño de sistemas de control por retroalimentación sin tiempo muerto y diseño y ajuste del controlador por el método de ultima ganancia o de oscilación de Ziegler – Nichols.

#### 4.2.2.1 Ajuste de controladores por retroalimentación.

Para un proceso de segundo orden:

$$G(s) = \frac{K}{[T_1 * s + 1] * [T_2 * s + 1]} \quad G_c(s) = \frac{[T_1 * s + 1] * [T_2 * s + 1]}{K} * \frac{1}{T_c * s}$$

$$G_c(s) = K_c * \left[ 1 + \frac{1}{T_i * s} + T_d * s \right]$$

de aquí:  $T = T_1 + T_2$

$$K_c = \frac{T_1}{K} * \left[ \frac{T_0}{T} \right]^{b1} \quad T_i = \frac{T}{a2} * \left[ \frac{T_0}{T} \right]^{b2} \quad T_d = a3 * T * \left[ \frac{T_0}{T} \right]^{b3} \quad t_0 = 1 \text{ seg}$$

Parámetros de ajuste de integral mínima de error para entrada de perturbaciones:

	ICE	IAE	IAET
<b>a1</b>	1,495	1,435	1,357
<b>b1</b>	-0,945	-0,921	-0,947
<b>a2</b>	1,101	0,878	0,842
<b>b2</b>	0,771	0,749	0,738
<b>a3</b>	0,560	0,482	0,381
<b>b3</b>	1,006	1,137	0,995

<b>K</b>	<b>1,000</b>
<b>t0</b>	<b>1,000</b>
<b>T</b>	<b>135,6</b>

	ICE	IAE	IAET	ICE	IAE	IAET	ICE	IAE	IAET
<b>(t0/T)</b>	<b>Kc</b>			<b>Ti</b>			<b>Td</b>		
<b>0,0073</b>	154,75	132,03	141,85	2,80	3,91	4,30	0,54	0,25	0,39

Tomando como ajuste IAE, la función de transferencia del controlador será:

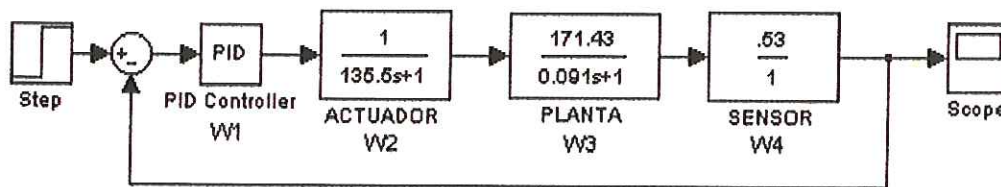
$$G_c(s) = 132.03 * \left[ 1 + \frac{1}{3.91 * s} + 0.25 * s \right]$$

$$G_c(s) = \frac{129.06 * s^2 + 516.23 * s + 132.03}{3.91 * s} \quad (4.12)$$

Obtenidas las cuatro funciones de transferencia (controlador, actuador, planta, sensor), se utiliza la herramienta Simulink para observar de acuerdo al diagrama de bloques como es la respuesta ante una perturbación de paso, a la entrada.

El diagrama de bloques del controlador, sensor, planta y actuador con retroalimentación será:

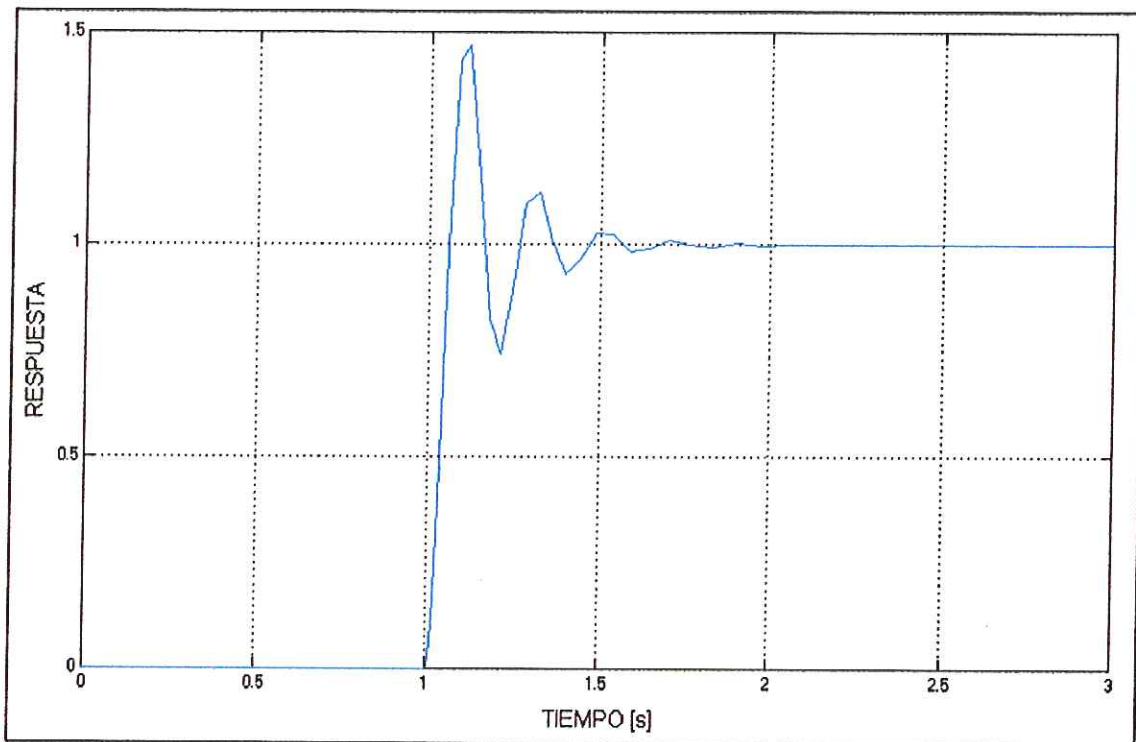
Figura 66. Diagrama de bloques controlador, sensor, planta y actuador.



Simulink, Matlab.

Y la grafica correspondiente a la respuesta al paso es:

Figura 67. Respuesta al paso del diagrama de lazo cerrado.



Simulink, Matlab.

Como se puede observar en la grafica [Figura 66], el sistema con retroalimentación se estabiliza ya en un periodo de tiempo más corto.

A continuación se comprueba por el método matemático y se verifica a través de Matlab.

Por ultimo para un sistema de lazo cerrado la función de control será  $W_{LC}(s)$

$$W_{LC}(s) = \frac{W1 * W2 * W3 * W4}{1 + W1 * W2 * W3 * W4}$$

$$W_{LC}(s) = \frac{\frac{129.1 * s^2 + 516.2 * s + 132}{3.91 * s} * \frac{1}{[135.5 * s + 1]} * \frac{171.43}{[0.09 s + 1]} * 53 * 10^{-2}}{1 + \frac{129.1 * s^2 + 516.2 * s + 132}{3.91 * s} * \frac{1}{[135.5 * s + 1]} * \frac{171.43}{[0.09 s + 1]} * 53 * 10^{-2}}$$

$$W_{LC}(s) = \frac{11726.12 * s^2 + 46903.6 * s + 11996}{48.22 * s^3 + 12256.3 * s^2 + 46907.5 * s + 11996} \quad (4.13)$$

Ahora se comprueba en una herramienta matemática como es el Matlab, y la grafica [Figura 68] que muestra el diagrama de Nyquist es:

Programación en Matlab:

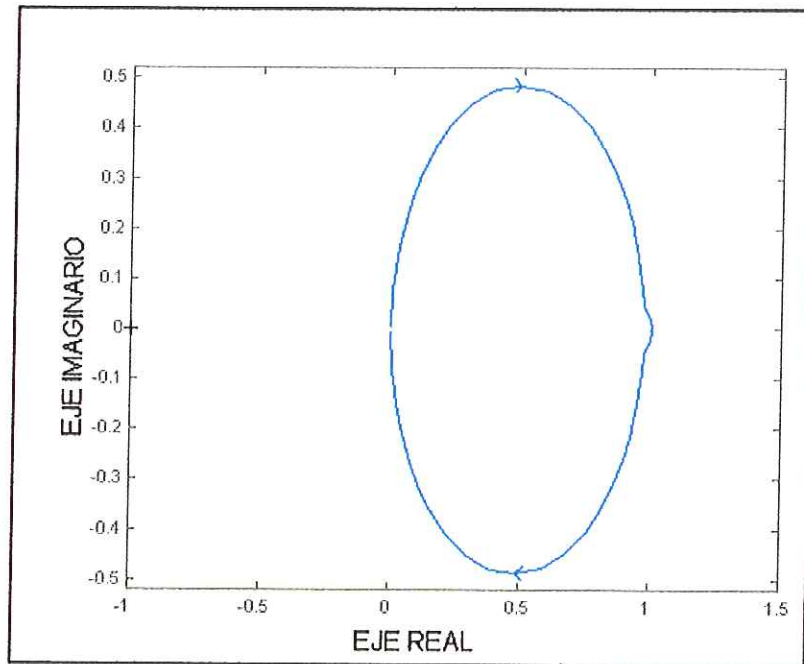
```
%%Diagrama de Nyquist:
num = [11726.12 46903.6 11996]
num =
    11726.12 46903.6 11996
den = [48.22 12256.3 46907.5 11996]
den =
    48.22 12256.3 46907.5 11996
nyquist(num,den)
```

Para evaluar la estabilidad del sistema de control en todo el dominio del tiempo, se utiliza el criterio de Nyquist.

Los resultados son los siguientes:



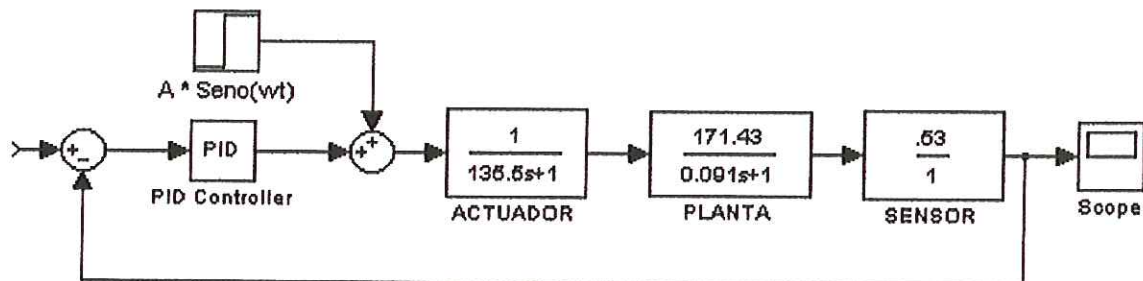
Figura 68. Diagrama de Nyquist de  $W_{LC}(s)$ .



Simulink, Matlab.

**4.2.2.2 Ajuste de controladores por Ziegler – Nichols.** El diagrama de bloques del sensor, planta y actuador con retroalimentación y una ganancia crítica de 100 será:

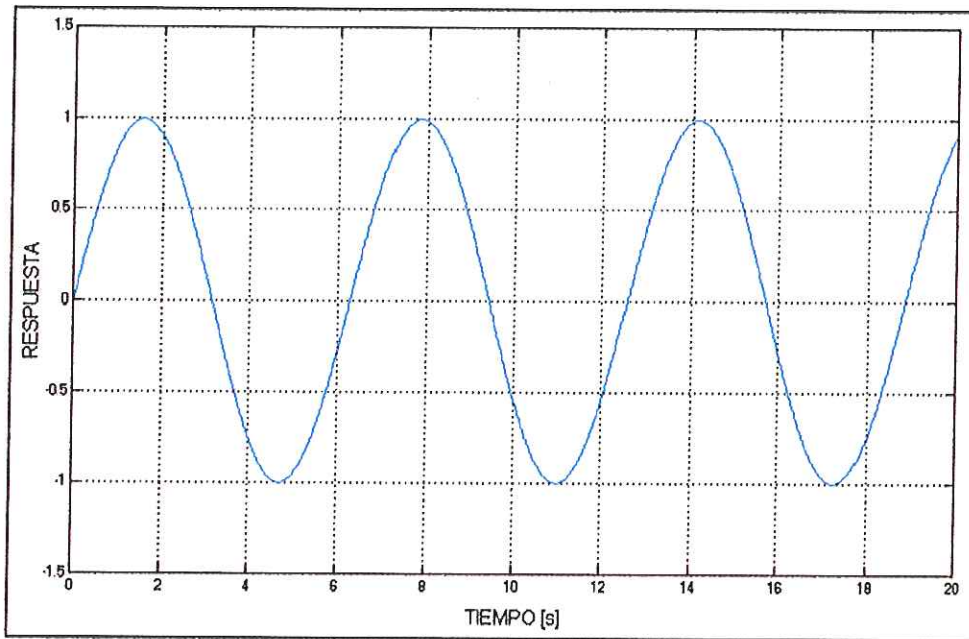
Figura 69. Diagrama de bloques actuador, planta y sensor.



Simulink, Matlab.

Su respectiva gráfica es:

Figura 70. Respuesta de la planta con ganancia crítica.



Simulink, Matlab.

Como se puede observar en la grafica [Figura 70], la respuesta de la planta es una función oscilatoria, igual que la función a la entrada del sistema, y de allí se pueden tomar los siguientes datos:

$$P_c = 6.4.$$

$$K_c = 100.$$

Aplicando los parámetros Ziegler – Nichols:

$$K_p = 60.$$

$$T_i = 3.2.$$

$$T_d = 0.8.$$

Para un proceso de segundo orden :

$$G_c(s) = K_c * \left[ 1 + \frac{1}{T_i * s} + T_D * s \right]$$

de aqui:

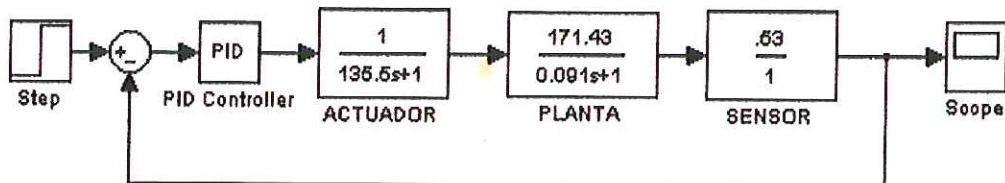
$$G_c(s) = 60 * \left[ 1 + \frac{1}{3.2 * s} + 0.8 * s \right]$$

$$G_c(s) = \frac{153.6 * s^2 + 192 * s + 60}{3.2 * s} \quad (4.14)$$

Obtenidas las cuatro funciones de transferencia (controlador, actuador, planta, sensor), se utiliza la herramienta Simulink para observar de acuerdo al diagrama de bloques como es la respuesta ante una perturbación de paso, a la entrada.

El diagrama de bloques del controlador, sensor, planta y actuador con retroalimentación será:

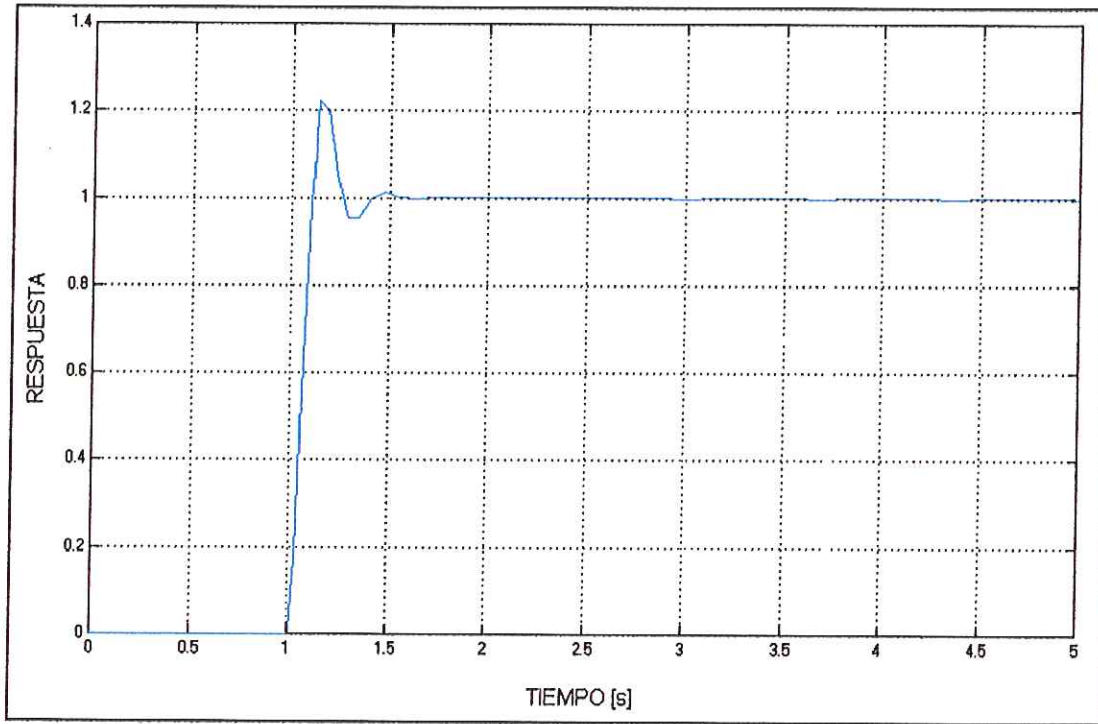
Figura 71. Diagrama de bloques controlador, sensor, planta y actuador.



Simulink, Matlab.

Y la grafica correspondiente a la respuesta al paso es:

Figura 72. Respuesta al paso del diagrama de lazo cerrado.



Simulink, Matlab.

Como se puede observar en la grafica [Figura 72], el sistema con retroalimentación se estabiliza ya en un periodo de tiempo más corto.

A continuación, se comprueba por el método matemático y se verifica a través de Matlab.

Por último para un sistema de lazo cerrado la función de control será  $W_{LC}(s)$

$$W_{LC}(s) = \frac{W1 * W2 * W3 * W4}{1 + W1 * W2 * W3 * W4}$$

$$W_{LC}(s) = \frac{\frac{1}{[135.5 * s + 1]} * \frac{171.43}{[0.091 * s + 1]} * 53 * 10^{-2} * \frac{153.6 * s^2 + 192 * s + 60}{3.2 * s}}{1 + \frac{1}{[135.5 * s + 1]} * \frac{171.43}{[0.091 * s + 1]} * 53 * 10^{-2} * \frac{153.6 * s^2 + 192 * s + 60}{3.2 * s}}$$

$$W_{LC}(s) = \frac{113955.8 * s^2 + 17444.7 * s + 5451.5}{39.46 * s^3 + 114389.7 * s^2 + 17448 * s + 5451.5} \quad (4.15)$$

Ahora se comprueba mediante una herramienta matemática como es el Matlab, y la gráfica [Figura 73] que muestra el diagrama de Nyquist es:

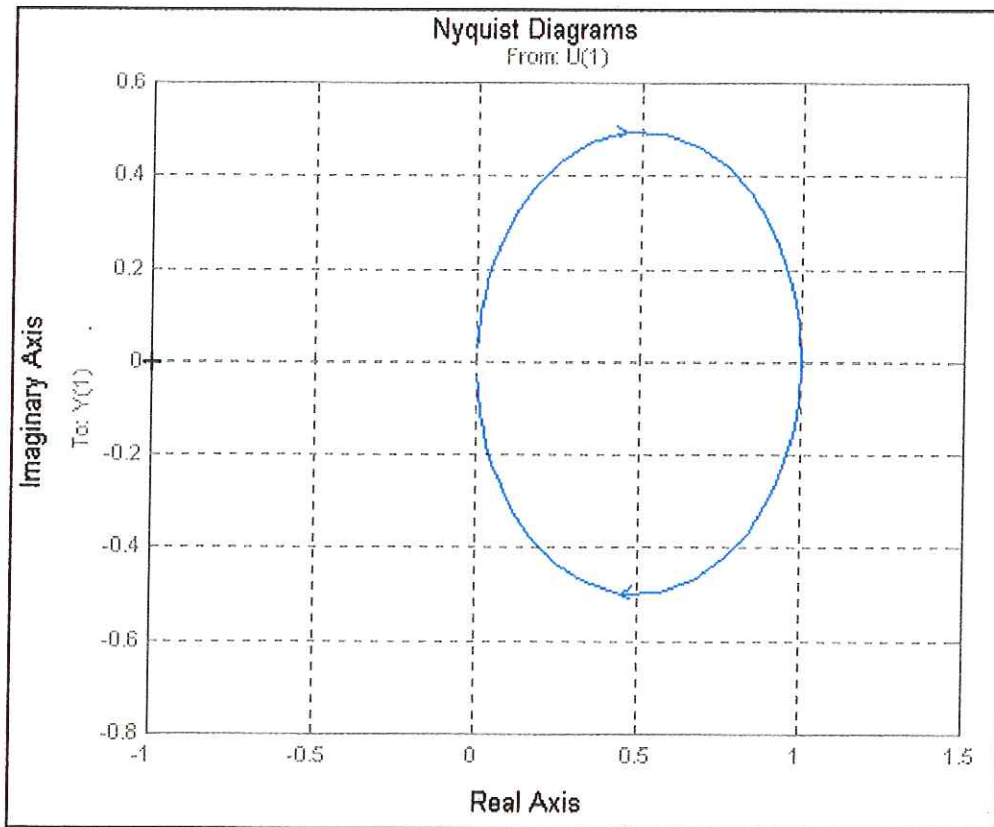
Programación en Matlab:

```
%% Diagrama de Nyquist:
num = [113955.8 17444.7 5451.5]
num =
    113955.8 17444.7 5451.5
den = [39.46 114389.7 17448 5451.5]
den =
    39.46 114389.7 17448 5451.5
nyquist(num,den)
```

Para evaluar la estabilidad del sistema de control en todo el dominio del tiempo, se utiliza el criterio de Nyquist.

Los resultados son los siguientes:

Figura 73. Diagrama de Nyquist de  $W_{LC}(s)$ .



Simulink, Matlab.

Como se puede observar en ambas graficas [Figura 72] y [Figura 73], el sistema es estable, en todo el dominio del tiempo, y a la vez se puede determinar que tanto matemáticamente, como experimentalmente los resultados son los mismos, y el sistema se estabiliza en un periodo de tiempo aceptable para el proceso. Cabe observar que las funciones de transferencia tienen como entrada una variación en la potencia, es decir, que por cada vatio de consumo que varíe la resistencia el sistema se demora en estabilizarse un lapso de tiempo aproximado de 0.0003 segundos, pero si se quisiera saber la variación de potencia con respecto a la variación de temperatura, sería un procedimiento más complejo e innecesario debido a que la capacidad de potencia de la resistencia es suficiente,

y probablemente la variación en la potencia sería casi nula y no se presentaría ninguna perturbación en el sistema de control, por lo tal daría como resultado que el sistema no variaría.

### **4.3 SELECCIÓN DEL CONTROLADOR**

Con los análisis y cálculos hechos en este capítulo, se procede a seleccionar el controlador más adecuado para el sistema que se estudio; los análisis y cálculos del capítulo cuatro en las secciones 4.1 y 4.2 dieron como resultado que el controlador de temperatura, podría ser de tipo proporcional integrador, o proporcional integral derivativo.

De acuerdo a esto se procede a catálogos y se encontró que el controlador OMRON E5CN puede prestar un buen funcionamiento en el codificador de productos alimenticios ver al final [Anexo 8].

## **5. ALGORITIMOS Y FUNCIONAMIENTO DEL CODIFICADOR**

En este capítulo hablaremos del funcionamiento, explicación y ciertos algoritmos usados para la elaboración de la programación del codificador, además se tendrán en cuenta ciertos requisitos especiales para su manejo.

### **5.1 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL CODIFICADOR**

Como ya se había visto anteriormente, el codificador es un dispositivo usado para colocar textos en empaques de productos alimenticios en los cuales es necesario que este sea visible para las personas.

El funcionamiento se basa en la lectura de una señal provista por un sensor adecuado en la máquina empacadora, esta señal es enviada cuando la máquina realiza un punto de parada ya sea en el momento de la dosificación, o bien sea en la lectura de las guías del empaque. El codificador recibe esta señal haciendo que un cilindro salga y realice un proceso de estampado durante un tiempo establecido que para nuestro caso será de 0.1 seg, tiempo necesario para que los cuños realicen una transferencia de calor hacia la cinta y esta desprenda un látex el cual se incrustará al empaque.

Después de este proceso, existe un pequeño retardo que al cumplirse activará el motor encargado de embobinar aquella cinta que fue usada en el anterior paso, el motor embobina la cinta hasta que el encoder envíe la cantidad de pulsos establecidos de acuerdo a las líneas de texto que se estén estampando y hace



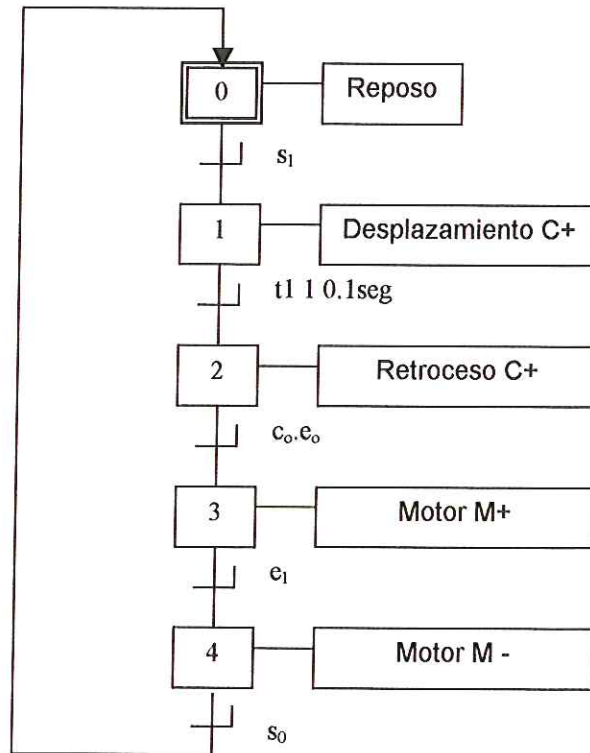
que este se detenga de inmediato y quede la máquina lista para recibir nuevamente una señal y active de nuevo el ciclo.

A continuación, podremos ver la descripción del ciclo paso a paso y su demostración en el método de Grafcet.

Descripción del ciclo:

1. El sistema se encuentra en reposo a espera de recibir una señal del sensor (s) que detecta cuando debe realizarse el estampado.
2. El sensor (s) detecta una señal la cual es enviada al micro controlador para activar el cilindro (C).
3. El cilindro (C) sale y realiza el estampado.
4. El cilindro (C) tiene un temporizado ( $t_1$ ) de 0.1 seg dado por el microcontrolador, tiempo en el cual se desprende la capa de laca de la cinta.
5. Después de desactivarse el temporizado ( $t_1$ ) el cilindro (C) regresa al estado inicial.
6. El motor (M) se enciende para realizar la operación de bobinado de la cinta ya gastada.
7. El encoder (e) detecta una cantidad de pulsos establecidos y hace que el motor (M) sea apagado.
8. El sistema vuelve a un estado inicial en espera de una señal del sensor (s).

Figura 74. Resolución Grafcet por el método paso a paso.



Diseño por los autores.

El proceso de control de temperatura es independiente al control del motor, para ello es usado un controlador de temperatura, el cual se encargará de controlar una resistencia térmica a través de un sensor que en nuestro caso será una termocupla tipo J. Para variar la temperatura, es necesario establecer la temperatura deseada a través de unos botones, en los cuales se podrá bajar o subir la temperatura según sea necesario, o dependiendo del tipo de empaque al cual se vá a realizar la operación de estampado.

## 5.2 REALIZACIÓN DE BASES DE FUNCIONAMIENTO PARA LA PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR DEL CODIFICAOR

Para la programación del microcontrolador, es necesario establecer un algoritmo de funcionamiento deseado para el trabajo del dispositivo, también es necesario tener en cuenta ¿cómo se desea que el motor y el cilindro trabajen?, con el fin de obtener un funcionamiento óptimo y eficiente.

Para esto, se elaboraron unas pequeñas condiciones para que sean de gran ayuda y facilidad para el operario y el manejo del dispositivo, estas son:

- El sistema operará de forma manual o automática según como lo requiera el usuario.
- Por medio de switches se graduará el modo de funcionamiento, el cuál será visualizado a través de unos leds.
- *Especificaciones para programación en forma manual:*
  - ◆ Se graduará el avance de la cinta (número de líneas que tendrá que bobinar el motor).
- *Especificaciones para la programación en forma automática:*
  - ◆ Se graduará el avance de la cinta.
  - ◆ El intervalo de tiempo de fechado será muy rápido” 0.1 seg.” debido que al estar en modo automático se entiende que se está trabajando con una línea de producción la cual deberá ser muy eficiente.

- *Paro de emergencia:*

- **Forma manual:** El operario desee detenerla por un momento dependiendo de la dificultad que se le presente; cuando la cinta falla (cuando se acaba o cuando el encoder no realiza el funcionamiento adecuado por causa de que la cinta se allá roto u otra causa).
- **Forma automática:** Se producirá el paro de emergencia cuando la cinta se acabe o se desprenda.

- *Funcionamiento del dispositivo en una línea de producción:*

El dispositivo tendrá una entrada normalmente abierta, en la que se conectará un sensor, el cual se encargará de tomar la señal indicando, cuando deberá realizarse el estampado de la fecha.

Generalmente, los empaques tienen unas franjas que indican el comienzo y final; por esto los sensores siempre se sitúan en estos puntos de tal forma que cuando el empaque pase, genere una señal en el sensor, esta se enviará al microcontrolador haciendo que el dispositivo genere el fechado en el empaque.

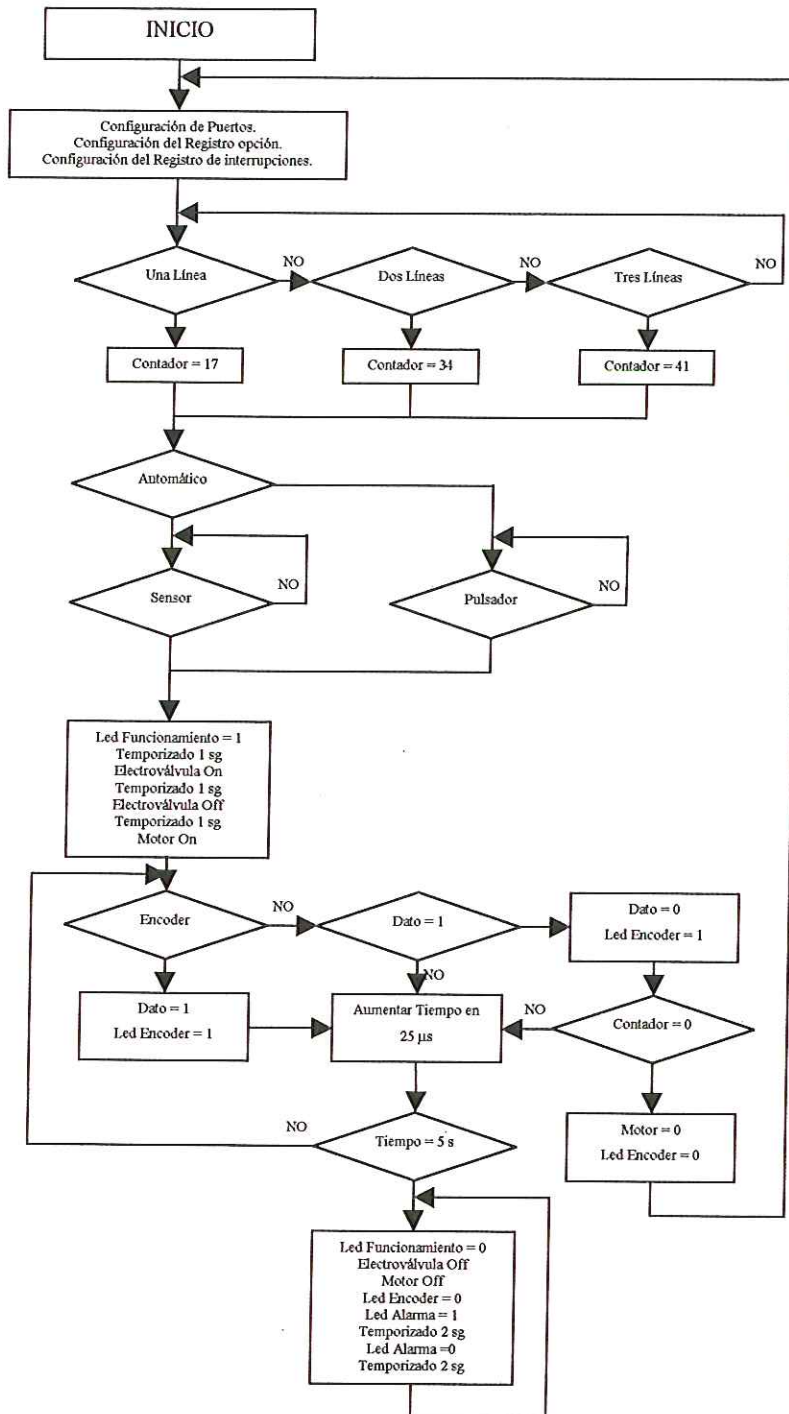
### **5.3 MANEJO Y REGLAS PARA UN ÓPTIMO FUNCIONAMIENTO DEL CODIFICADOR**

El manejo del codificador es muy sencillo y es especial para el fácil uso de los operarios, quienes son los encargados de manejarlo; este se describe a continuación:

1. Encendido del dispositivo que a su vez activa el controlador de temperatura.
2. Fijar la temperatura a la cual se vá a realizar el estampado.
3. Dejar encendido aproximadamente 20 minutos mientras que la resistencia calienta los tipos y alcanza la temperatura ideal para la cual fue programada la operación.
4. Ajustar el texto adecuado a la semana de elaboración y fecha de vencimiento del producto.
5. Verificar que la cinta no esté reventada ni sucia.
6. Limpiar la superficie externa del eje que contiene el encoder para evitar que la cinta se deslice y no realice el deslizamiento deseado para generar los pulsos al encoder y así activar el motor para que embobine la cinta.
7. Ajustar el modo de uso para el cual se va a realizar la operación (manual o automática).
8. Especificar la cantidad de líneas para las cuales se realizará el estampado; esto es necesario para poder tener un control sobre la cinta con el fin de que no se desperdicie.
9. Si el codificador está en paro de emergencia o genera un paro de emergencia, oprimir la tecla RESET para reanudar el funcionamiento de este.

Siguiendo las bases anteriores el codificador siempre prestará un buen rendimiento y no presentara complicaciones algunas. Ver manual de funcionamiento [Anexo14].

## 5.4 ALGORITMO DE FUNCIONAMIENTO DEL MICROCONTROLADOR



## 5.5 CÁLCULOS PARA LOS TEMPORIZADOS

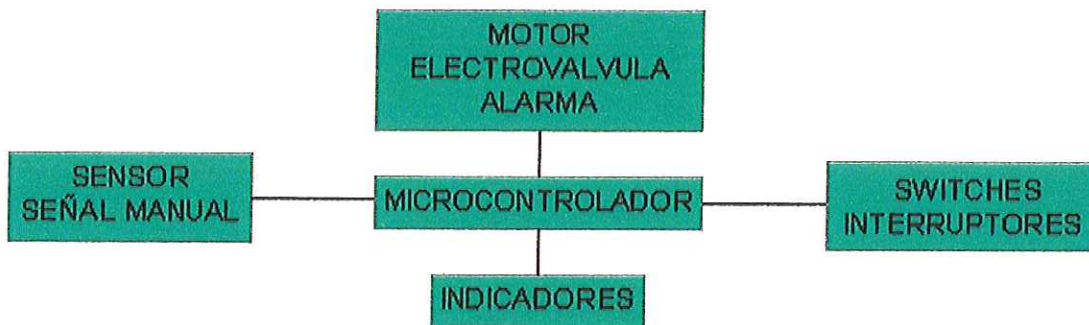
Para los cálculos del temporizado por una centésima de segundo con un microcontrolador PIC16F84 funcionando a 4 MHz se realizan las siguientes operaciones:

$$T_{\text{CICLO INSTRUCCIÓN}} = 4 * T_{\text{RELOJ}} = 4 * 250 \text{ ns} = 1 \mu\text{s}$$
$$T_{\text{PROGRAMA}} = 0.01 \text{ s} = N_{\text{INSTRUCCIONES}} * 1 \mu\text{s}$$
$$N = 10000 \text{ instrucciones}$$

Debido a que los registros solo llegan hasta 256 hay que hacer ciclos anidados, y saber que por cada instrucción de salto se cuenta como dos instrucciones.

Para el caso del temporizado por 1 segundo, solo hay que llamar a la rutina de una centésima de segundo 100 veces.

## 5.6 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL MICROCONTROLADOR



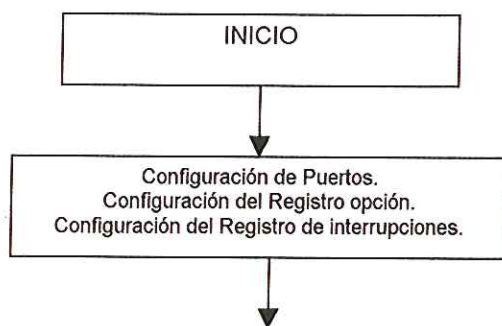
Diseño por los autores.

## 5.7 PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR

Este programa es el encargado de realizar todo el proceso de control de avance de la cinta y el tiempo durante el cual el cilindro estará realizando el proceso de estampado.

En esta sección del programa se asignan las direcciones de los puertos, así como los de los registros de estado, *intcon* y *opcion*; y por ultimo se asignan las direcciones de las diferentes variables. En la etiqueta *config* se configuran los puertos a y puerto b como entrada o salida según la tabla de asignación [Tabla 11] y se configuran los registros de *estado*, *intcon* y *opcion*. El algoritmo de funcionamiento de esta sección del programa será la siguiente:

Figura 75. Algoritmo inicio del programa.



Diseño por los autores.

list p=16f84A

```
estado      equ    03      ;Dirección del registro de estado
puertaa     equ    05      ;Dirección de la puerta A
puertab     equ    06      ;Dirección de la puerta B
intcon      equ    0b      ;Dirección del registro de interrupciones
```



```

opcion      equ    01          ;Dirección del registro de opciones
conta       equ    16          ;Dirección del contador conta
conta2      equ    17          ;Dirección del contador conta2
tc0         equ    18          ;Dirección de Contadores tc0
tc1         equ    19
tc2         equ    20
tc3         equ    2A
tc4         equ    2B
tc6         equ    2C
tc7         equ    2D
tc8         equ    2E
dato       equ    2F          ;Dirección de la bandera dato

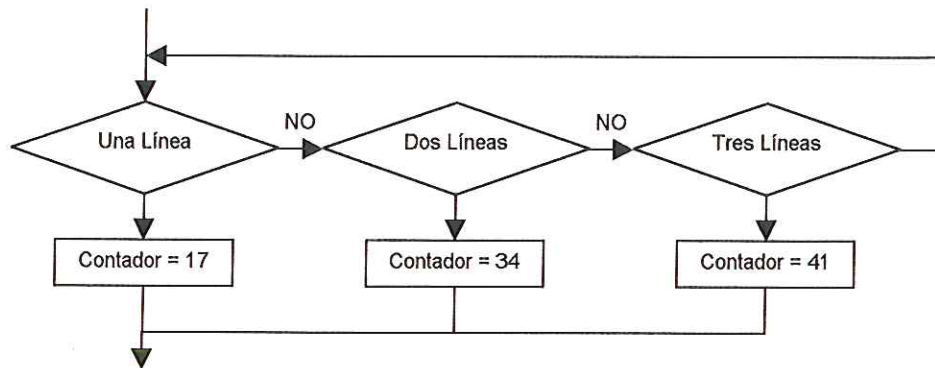
org         0          ;Vector de reset
goto       config     ;Va a config
org         4          ;Vector de interrupciones
goto       inter      ;va a inter
org         10         ;Vector de inicio

config      bsf      estado,5   ;Selección del banco 1
           movlw    b'00011111'
           movwf    opcion      ;Se almacena el registro de opciones
           movlw    b'10010000'
           movwf    intcon      ;Se almacena el registro de interrupciones
           movlw    b'00000001'
           movwf    puertaa     ;Se configura la Puerta A
           movlw    b'10111111'
           movwf    puertab     ;Se configura la Puerta B
           bcf      estado,5   ;Selección del banco 0
           movlw    d'0'
           movwf    dato        ;Se asigna 0 a dato
           movwf    puertaa     ;Se asigna 0 a la puerta A
           movwf    tc1        ;Se asigna 0 al contador tc1
           movwf    tc2        ;Se asigna 0 al contador tc2
           movlw    d'7'
           movwf    tc3        ;Se asigna 7 al contador tc3
           goto     inicio0

```

En la rutina para la selección de número de líneas a imprimir y asignación del número de pulsos del encoder, lo que se hace es de acuerdo a la selección del número de líneas se asigna una constante al contador *conta2* que será el encargado de contar la cantidad de pulsos que debe enviar el encoder. El algoritmo de funcionamiento de estas dos rutinas será el siguiente:

Figura 76. Algoritmo rutina selección número de líneas y asignación del número de pulsos.



Diseño por los autores.

;------ Rutina para seleccionar el número de líneas a imprimir-----;

```

inicio0      btfss  puertab,2
              goto  inicio01
              goto  una
inicio01     btfss  puertab,3
              goto  inicio02
              goto  dos
inicio02     btfss  puertab,4
              goto  inicio0
              goto  tres
  
```

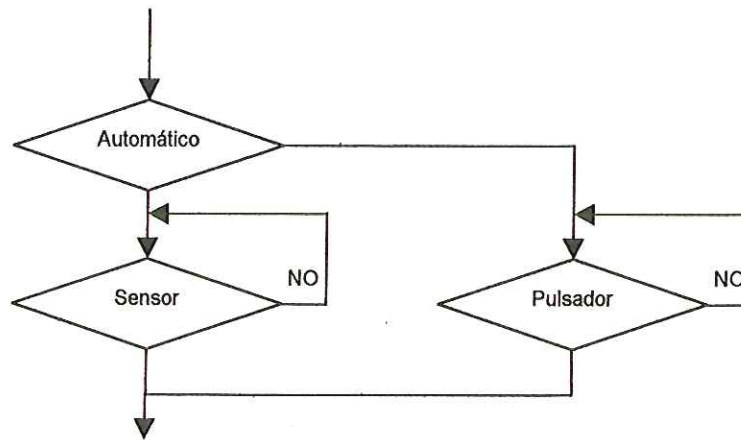
;------Rutina para asignar el número de pulsos del encoder-----;

```

una          movlw  d'17'
              movwf  conta2      ;Se asigna 17 al contador conta2
              goto  inicio
dos          movlw  d'34'
              movwf  conta2      ;Se asigna 34 al contador conta2
              goto  inicio
tres        movlw  d'41'
              movwf  conta2      ;Se asigna 41 al contador conta2
              goto  inicio
  
```

En la rutina para la selección del modo en que va a trabajar la codificadora se ha puesto un interruptor el cual en estado encendido será automático y funcionará a través de un sensor, y en su otro estado, apagado funcionará en forma manual a través de un pulsador.

Figura 77. Algoritmo rutina selección automático o manual.



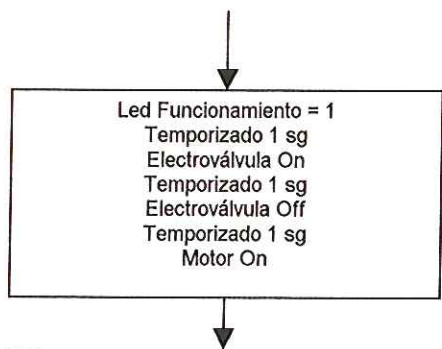
Diseño por los autores.

;------Rutina de Selección de automático o manual-----;

inicio	bfsc	puertab,1	
	goto	autom	
	goto	manual	
autom	bfsc	puertaa,0	;Pregunta por el sensor
	goto	autom	
	goto	inicio1	
manual	bfss	puertab,5	;Pregunta por el pulsador
	goto	manual	
	goto	inicio1	

En la rutina de estampado se activa la electroválvula para que el pistón haga la tarea de estampado sobre la cinta de termo transferencia luego de un retardo de un segundo esta se desactiva haciendo que el cilindro regrese a su estado original y activa un retardo de un segundo mientras que el cilindro retorna, para evitar posibles conflictos con el motor. El algoritmo de funcionamiento de esta rutina es el siguiente:

Figura 78 Algoritmo rutina de estampado.



Diseño por los autores.

-----Rutina de Estampado-----

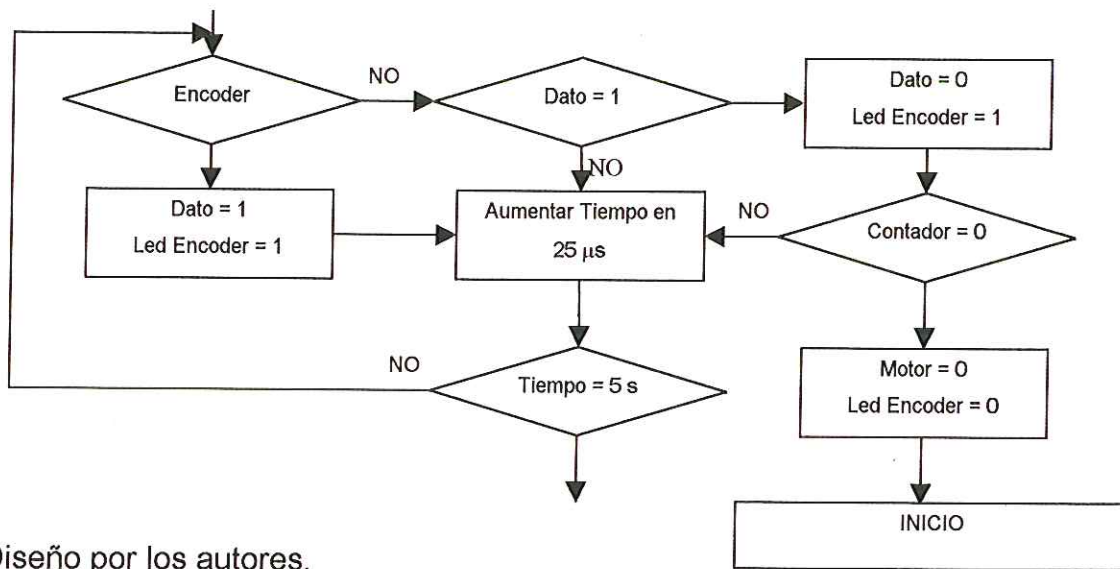
```

inicio1      bsf     estado,5      ;Seleccion del banco 1
              movlw  b'10011111' ;Puerta B,5 como salida
              movwf  puertab
              bcf     estado,5      ;Seleccion del banco 0
              bsf     puertab,5     ;Enciende Puerta B,5 Led indicador
              call   segundo        ;Retardo de un segundo
              bsf     puertaa,3     ;Enciende la electroválvula
              call   segundo        ;Retardo de un segundo
              bcf     puertaa,3     ;Apaga la electroválvula
              call   segundo        ;Retardo de un segundo
              goto   inicio2        ;Salta a inicio2
  
```

En la rutina de embobinado de la cinta, se activa el motor y se pregunta si el encoder ya paso, el numero de veces según el numero de líneas, por los dos estados pero simultáneamente cada vez que pasa por una instrucción, se activa un temporizador para determinar si luego de cinco segundos el motor sigue activo,

enviar un paro al sistema y encender la alarma, indicando que la cinta se acabo, o se reventó, si antes de los cinco segundos el encoder contó el número de pulsos, se apaga el motor, se apaga el led de funcionamiento y el sistema vuelve al inicio y comienza otra vez el proceso. El algoritmo de esta rutina es el siguiente:

Figura 79. Algoritmo rutina de embobinado de la cinta.



Diseño por los autores.

-----Rutina de embobinado de la cinta-----

inicio2	bsf	puertaa,2	;Encendido del motor
	bfss	puertab,7	;Pregunta el estado del encoder (1 o 0)
	goto	apagadol	;Salta a apagadol
	goto	prendidol	;Salta a prendidol
prendidol	bsf	dato,0	;El encoder esta encendido asigna a dato valor 1
	bsf	puertaa,1	;Enciende Led indicador
	goto	alarma	;Salta a alarma
apagadol	bfss	dato,0	;El encoder esta apagado, Si dato = 1 Salta
	goto	alarma	;Salta a alarma
	bcf	puertaa,1	;Apaga Led indicador
	bcf	dato,0	;Asigna a dato valor de 0
	decfsz	conta2	;Decrementa el contador conta2
	goto	alarma	;Salta a alarma
	goto	apagar	;Si conta2 = 0 va a apagar

;-----Rutina de Alarma-----

;Cada vez que pasa por esta rutina se va contando una instrucción equivalente a 25 microsegundos, cuando el contador llegue a 5 segundos activa la alarma, de lo contrario continúa encendido el motor, o continua con el programa, si el motor ya se apago.

```
alarma      decfsz tc1      ;Decrementa tc1, si tc1=0 salta
            goto inicio2 ;Salta a la Rutina de bobinado
            goto alarma2 ;Salta a alarma2

alarma2     decfsz tc2      ;Decrementa tc2, si tc2=0 salta
            goto inicio2 ;Salta a la rutina de bobinado
            goto alarma3 ;salta a alarma3

alarma3     decfsz tc3      ;Decrementa tc3, si tc3=0 salta
            goto inicio2 ;Salta a la rutina de bobinado
            goto inter    ;Salta a inter (Ya han pasado 5 segundos)
```

;-----Rutina de Apagado del motor-----

```
apagar     bcf puertaa,2   ;Se apaga el motor
            bcf puertab,5  ;Se apaga el Led indicador de funcionamiento
            goto config   ;Salta a config.
```

En la rutina de temporizado por un segundo se asigna a un contador la constante de cien esto para que se realice el proceso del retardo por una centésima de segundo noventa y nueve veces, y luego se asigna tres valores diferentes a tres contadores para completar las centésimas de segundo que faltan para completar el segundo.

;-----Rutina de temporizado por 1 segundo-----

```
segundo    movlw d'100'    ;temporizado por 1 segundo
            movwf tc8      ;Asigna 100 a tc8

seg        decfsz tc8,1    ;Decrementa tc8 si tc8=0 salta
            goto seg1     ;Salta a seg1
            goto seg2     ;Salta a seg2

seg1       call centésima  ;Llama la instrucción centésima (Retardo por 1
            goto seg      ;centésima de segundo)// Salta a seg
```

```

seg2      movlw d'18'
          movwf tc6           ;Asigna 18 a tc6
          movlw d'138'
          movwf tc0          ;Asigna 138 a tc0
          call  tempo01      ;Llama la instrucción tempo01
          movlw d'130'
          movwf tc0          ;Asigna 130 a tc0
          call  tempo12      ;Llama la instrucción tempo12
          return             ;Retorna

```

En la rutina de temporizado por una centésima de segundo se asigna a un contador la constante de veinte, a otro contador la constante de ciento treinta y ocho y a otro un valor de ciento sesenta y seis; esto para hacer dos ciclos anidados que conformarían un total de diez mil instrucciones, que son las necesarias para completar la centésima de segundo.

;------Rutina de temporizado por 1 centésima de segundo-----;

```

centésima      ;temporizado por 1 centésima de segundos
               movlw d'20'
               movwf tc6           ;Asigna 20 a tc6
               movlw d'145'
               movwf tc0          ;Asigna 138 a tc0
tempo01        decfsz tc6,1        ;Decrementa tc6, si tc6=0 salta
               goto  tempo13      ;Salta a tempo13
               goto  tempo12      ;Salta a tempo12
tempo13        movlw d'166'
               movwf tc7           ;Asigna 166 a tc7
tempo11        decfsz tc7,1        ;Decrementa tc7, si tc7=0 salta
               goto  tempo11      ;Salta a tempo11
               goto  tempo01      ;Salta a tempo01
tempo12        decfsz tc0,1        ;Decrementa tc0, si tc0=0 salta
               goto  tempo12      ;Salta a tempo12
               return             ;Retorna

```

Por ultimo la rutina de interrupciones (paro de emergencia o alarma) lo que hace es desactivar todas las salidas del codificador, e inmediatamente intermitir un led cada dos segundos para identificar dicha alarma.

```

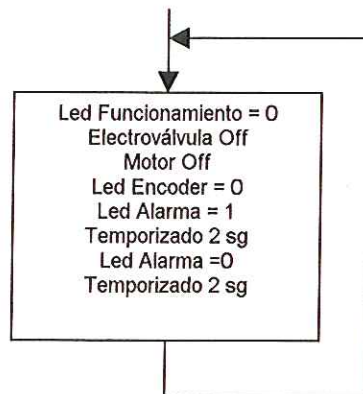
;-----Rutina de interrupciones-----
inter      bsf     estado,5      ;Seleccion del banco 1
           movlw  b'00010000'
           movwf  intcon        ;Prohíbe las interrupciones
           bcf     estado,5      ;Seleccion del banco 0
           bcf     puertaa,3     ;Apaga la electroválvula
           bcf     puertaa,2     ;Apaga el motor
           bcf     puertab,5     ;Apaga Led indicador de Funcionamiento
           bcf     puertaa,1     ;Apaga Led indicador de Emergencia
           call   segundo       ;Retardo de 2 segundos
           call   segundo
           bsf     puertaa,1     ;Prende Led indicador de Emergencia
           call   segundo       ;Retardo de 2 segundo
           call   segundo
           goto   inter        ;Salta al ciclo de interrupciones

;-----Fin del programa-----

end

```

Figura 80. Algoritmo rutina de interrupciones (Paro de emergencia o Alarma).



Diseño por los Autores.



## CONCLUSIONES

- Mediante las pruebas realizadas para el estampado del empaque de un determinado producto se observó que no todos poseen las mismas características; es decir cada uno posee un gramaje y material diferente lo que hace que la temperatura para realizar el estampado varíe demasiado, es por esto que no es factible realizar el control de temperatura mediante un microcontrolador por que se restringiría el dispositivo para un solo tipo de material.
- Al usar un pirómetro la temperatura será más estable y se podrá controlar fácilmente, además se puede adaptar al tipo de material deseado para realizar el estampado sin necesidad de realizar cambios en la programación general del dispositivo.
- Al realizarse pruebas con otros codificadores se pudieron obtener datos muy importantes que fueron usados para la selección de componentes, tales como la fuerza necesaria para realizar el estampado, usada para la selección del cilindro, así mismo mejoras para un nuevo dispositivo.
- Al emplearse materiales livianos para la construcción del codificador, se permite que este se montado con gran facilidad en las diversas máquinas empacadoras existentes, además su tamaño la hace favorable para ser transportada con gran facilidad.

- El desarrollo de este dispositivo permitirá a las pequeñas y medianas empresas adquirir sistemas de codificación más económicos y funcionales, los cuales prestarán un gran servicio en el proceso de empaquetado de productos alimenticios.
- Este proyecto fue bastante enriquecedor en todos los aspectos tanto profesional como personal; ya que en el ámbito profesional permitió afianzar los conocimientos teóricos adquiridos durante el proceso de formación en la universidad y en el ámbito personal permitió adquirir experiencia en el desarrollo de proyectos en otras áreas.

## RECOMENDACIONES

Al diseñar la máquina y ponerla en marcha, se observaron ciertos criterios los cuales se podrían mejorar para hacer de esta una máquina más amigable y servicial a los operarios

1. Para el trabajo en modo manual se podría colocar otro tipo de accionamiento que no necesariamente tiene que ser el pulsador que se encuentra en la caja de control, si no que se podría colocar una salida especial donde el operario pueda conectar algún otro tipo de switch con el cual pueda ejercer este tipo de accionamiento; uno de ellos puede ser de tipo pedal como el que se encuentra para el manejo de las máquinas de coser.

Es decir el operario puede trabajar en modo manual con sus pies para así tener libre sus manos y poderse concentrar más en su labor para obtener más rendimiento en el proceso de estampado.

2. Otra mejora que se planteo pero no se pudo realizar debido a que algunos componentes fueron prestados, es la de unir la caja de control con el pirómetro, todo esto en un solo conjunto. De manera que cuando el operario encendiera el pirómetro, se encendiera a la vez el sistema de control del codificador. Esto ahorraría tener que manipular tantos botones y no existiría la posibilidad de que se quedaría un elemento de estos sin encender.

3. Es necesario para la construcción del codificador, colocar a los escapes de la electroválvula silenciadores para reducir el ruido producido por este y hacer del trabajo de este mas ameno y favorable para la salud del operario.
  
4. Sería bueno que cuando la cinta se acabará el codificador a parte de mandar una alarma visual y sonora pudiese enviar una señal para desactivar la máquina empacadora cuando estuviese trabajando en forma automática; esto para evitar que cualquier producto saliese al mercado sin fecha de vencimiento.
  
5. Una mejora que se le podría realizar al control del codificador sería el cambio del microcontrolador PIC 16F84A por un PIC 16F87, con el fin de manejar un sistema de visualización LCD; el cual seria más interactivo para el usuario. Este sería manejan a través de un teclado y las configuraciones se podrían realizar a través de menús; además se manipularía en la programación el tiempo de estampado del cilindro (es decir tiempo en el cual el cilindro estaría afuera realizando una transferencia de calor para desprender el látex de la cinta hacia el empaque).

## BIBLIOGRAFÍA

INVIMA. Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos.  
[www.minsalud.gov.co](http://www.minsalud.gov.co)

INCROPERA, Frank P. Fundamentos de Tránsito de Calor, 4 edición. México: Pearson, 1999. 912p.

FESTO PNEUMATIC. Suplemento Automatizar con Neumática. Festo 1 edición 2001.

KEYENCE. Sensors vision Systems & Measuring Instruments. Keyence, 2001. 563p.

MARKS. Manual del ingeniero mecánico. McGraw-Hill,

NEAMEN, Donald A. Análisis y diseño de circuitos electrónicos. México: McGraw-Hill, 1999.

ANGULO USATEGUI. Microcontroladores PIC” Diseño práctico de aplicaciones”. 2 edición. España: McGraw-Hill, 1999. 295 pag.

MARTINEZ SANCHEZ, Victoriano Ángel. Automatización industrial moderna. Bogota: Alfaomega, 2001. 771 pag.

MORRIS MANO, M. Diseño digital. México: Prentice-Hall Hispanoamérica, 1987. 491 pag.

GUILLEN SALVADOR, Antonio. Introducción a la neumática. Barcelona: Marcombo. 156 pag.

MAJUMDAR S. R, Sistemas neumáticos Principios y mantenimiento. México: McGraw Hill, 1998. 296 pag.

SERRANO NICOLÁS, Antonio. Neumática. Madrid: Paraninfo, 2000. 390 pag.

FESTO COLOMBIA. Automatizar con neumática. Bogota: catalogo básico 1° edición 2001.

ROLDAN VILORIO, José. Prontuario de neumática industrial electricidad aplicada. Madrid: Paraninfo, 2001. 243 Pág.

MILLAN TEJA, Salvador. Automatización neumática y electroneumática. Barcelona: Alfaomega, 1995. 250 Pág.

CREUS SOLÉ, Antonio. Instrumentación industrial. Barcelona: Alfaomega, 1997.  
750 Pág.

[www.robodacta.com](http://www.robodacta.com)

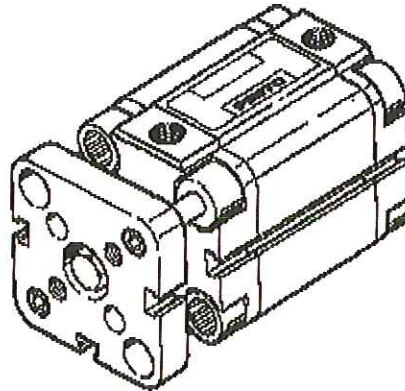
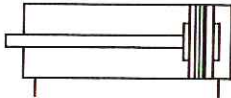
[www.omron.com](http://www.omron.com)

## ANEXOS



## ANEXO 1

**Cilindro compacto**  
**156202**  
**ADVUL-20--P-A**

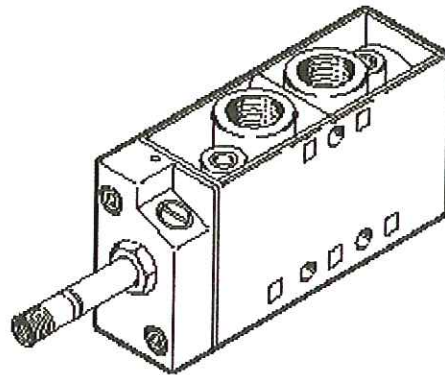
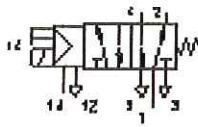


<b>Criterio</b>	<b>Característica</b>
Forma de funcionamiento	de doble efecto
Forma émbolo	redondo
Forma vástago	redondo
Forma de exploración	magnético
Forma de amortiguación	Anillo amortiguador interno (no regulable)
Seguridad antigiro	Barra guía
Tamaño nominal del émbolo	20 ---
Carrera X	X
Mín. carrera para carrera X	1 mm
Máx. carrera para carrera X	200 mm
Diámetro del vástago	10 mm
Extremo del vástago	II
Rosca de vástago KK	M 5
Presión de funcionamiento mín.	1 bar
Presión de trabajo máx.	10 bar

Temperatura ambiente mín.	-20 °C
Temperatura ambiente máx.	80 °C
Tipo de conexión de la culata	Rosca i
Rosca de conexión EE cojinete	M 5
Material tapa	Aleación de aluminio
Material juntas	NBR, TPE-U(PU)
Material vástago	Acero de aleación fina, inoxidable
Material tubo / cuerpo	Aleación de aluminio
Tipo de conexión tapa terminal	Rosca i
Rosca de conexión EE culata	M 5
Fuerza útil (teór.) a 6 bar, avance	188 N
Fuerza útil (teór.) a 6 bar, retorno	141 N
Par de giro máx.	0.45 N.m
Consumo de aire para 6bar avance/10mm	0.022 l
Consumo de aire para 6bar retorno/10mm	0.016 l
Fluido	Aire comprimido filtrado

## ANEXO 2

### Electroválvula 10348 MFH-5-1/8-S



Criterio	Característica
Función de conmutación, símbolo	Válvula de 5/2 vías
Función de conmutación, código	5/2
Dirección de flujo reversible	no
Principio de funcionamiento	Asiento
Forma elemento funcional	Embolo / plato
Clase de mando	indirecto
Característica de ajuste	monoestable
Forma de reposición	Muelle mecánico
Tipo de fijación	Atornillar
Presión de funcionamiento mín.	bar

Presión de trabajo máx.	10 bar
Pilotaje mín.	1.2 bar
Presión de mando máx.	8 bar
Tipo de conexión de la ventilación	Rosca / placa
Rosca de conexión de alimentación de aire	G 1/8
Tipo de la conexión de trabajo	Rosca i
Rosca de conexión de trabajo	G 1/8
Tipo de conexión descarga de aire	Rosca / placa
Rosca de conexión de escape	G 1/8
Tipo de conexión aire aux. mando	Interno
Tipo de conexión aire aux. escape	Rosca
Roscas de conexión aire auxiliar de pilotaje a descarga	M 5
Accionamiento auxiliar manual	rotativo / con enclavamiento
Indicación de estado de conmutación	no
Homologación nacional (UL/CSA)	CSA (OL)/UL (OL)
Atribución Válvula / bobina	Serie F
Caudal nominal estándar 4 - 3/5	500 l/min
Tiempo de operación CON./CONMUT. (dif.)	10 ms
Tiempo de operación DESC./CONMUT.	40 ms

### ANEXO 3

**Racor rápido roscado en L**  
**153046**  
**QSL-1/8-6**



<b>Criterio</b>	<b>Característica</b>
Tipo de junta	Revestimiento
Diámetro nominal racor	4.6 mm
Diámetro nominal de la conexión del tubo 1	6 ---
Rosca de fijación / de conexión	R 1/8
Presión de funcionamiento mín.	-0.95 bar
Presión de trabajo máx.	10 bar
Temperatura ambiente mín.	°C
Temperatura ambiente máx.	60 °C
Material cuerpo	Reforzado con PBT
Material de la u1a de mordaza	Acero de aleación fina, inoxidable
Material espiga roscada	Latón
Peso de producto	0.014 Kg.
Revestimiento rosca	niquelado

Fluido

Aire comprimido filtrado lubricado  
o no lubricado

Número de conexiones

1 ---

## ANEXO 4

### Racor rápido roscado 153002 QS-1/8-6

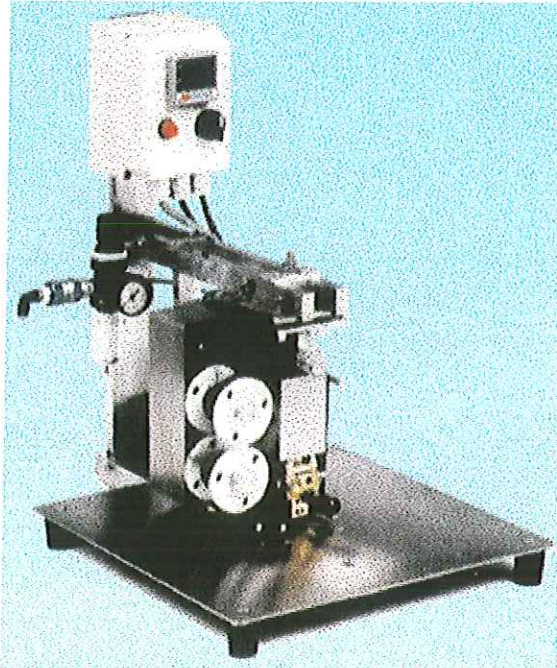


<b>Criterio</b>	<b>Característica</b>
Tipo de junta	Revestimiento
Diámetro nominal racor	4.6 mm
Diámetro nominal de la conexión del tubo 1	6 ---
Rosca de fijación / de conexión	R 1/8
Presión de funcionamiento mín.	-0.95 bar
Presión de trabajo máx.	10 bar
Temperatura ambiente mín.	°C
Temperatura ambiente máx.	60 °C
Material cuerpo	Latón
Material de la u1a de mordaza	Acero de aleación fina, inoxidable
Material espiga roscada	Latón
Peso de producto	0.009 Kg.
Revestimiento rosca	niquelado
Fluido	Aire comprimido filtrado lubricado o no lubricado
Número de conexiones	1 ---

## ANEXO 5

**CODIMARKET LTDA**

### **MODELO CM01**



VELOCIDAD DE OPERACION (Max. Por minuto)	180
AREA DE IMPRESION (Max. En milímetros)	40 x 30
PRESION DE OPERACION (en bares)	2 - 4
CONSUMO DE AIRE (Litros por operación)	0,12
ALIMENTACION ELECTRONICA	110V - 220V
DIMENSIONES (Largo X Profundo X Alto)	175 X 65 X 125
TIEMPO DE IMPRESION	CONTROLADO POR TEMPORIZADOR
PESO (kg)	3,5
CALENTAMIENTO	PIROMETRO ORIGINAL DE REGULACION PROPORCIONAL. REGULABLE ENTRE 80° y 140° C
SUMINISTRO DE SERIE	ENTRADA DE AIRE FLEXIBLE DE 1M. DE LONGITUD X 6 MM DE DIAMETRO, 220V - 110V. 1 PLACA ADHERENTE 1 PLACA PORTA TEXTO



## ANEXO 6

### Codificador impresor Mult.-vías



#### **Características Estándares:**

- Resolución de impresión 300 dpi (12 pts/mm)
- Memoria en tarjeta PC CARD (4MB)
- Capacidad de ribbon 450m
- Display LCD dos líneas
- Salida de alarma para nivel bajo y final de ribbon
- Ancho de impresión / filme: 450 mm y 600 mm
- Controladora IP65 en acero inoxidable
- Módulo de impresión liviano y de rápida remoción
- Patente del mecanismo de economía de ribbon requerida ofreciendo hasta 78% de reducción en el consumo

#### **Requerimientos Eléctricos:**

- 115/230 V corriente alterna; 50/60 Hz hasta 300VA

#### **Aire Comprimido:**

De 4 a 6 Bar, consumo inferior a 10 L/min.

#### **Opciones:**

- Impresión matricial con movimiento vertical hasta 500 mm
- Tarjetas PCMCIA adicionales
- Scanner para código de barras

#### **Ambiente:**

- Rango de temperatura de operación 5°C a 45°C
- Humedad 10 a 80% no condensante

## ANEXO 7

### **DATOS ESTADÍSTICOS PARA EL ANÁLISIS DEL MATERIAL A ESTAMPAR**

Materiales de embalaje polipropileno, polietileno, aluminio, celofán, poliéster, papel, cartón.

Tiempo (Seg)	Temperatura ° C	Material 1	Material 2	Material 3	Material 4	Material 5	Material 6	Material 7
0.1	80	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅
0.3		∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅
0.5		∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅
0.1	82	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅
0.3		∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅
0.5		∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅
0.1	84	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅
0.3		∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅
0.5		∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅
0.1	86	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅
0.3		∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅
0.5		∅	∅	∅	≈	≈	∅	∅
0.1	88	∅	∅	≈	∅	≈	≈	≈
0.3		≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
0.5		≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
0.1	90	∅	∅	↑	∅	≈	≈	≈
0.3		≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
0.5		≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
0.1	92	∅	∅	↑	≈	↑	≈	≈
0.3		≈	↑	↑	↑	↑	≈	↑
0.5		≈	↑	↑	↑	↑	↑	↑
0.1	94	∅	∅	↑	≈	≈	≈	≈
0.3		↑	↑	↑↑	↑	↑	↑	↑
0.5		↑	↑	↑↑	↑	↑↑	↑	↑
0.1	96	∅	∅	↑	≈	≈	≈	≈
0.3		↑	↑	↑↑	↑	↑	↑	↑
0.5		↑	↑	↑↑	↑	↑↑	↑	↑
0.1	98	∅	∅	↑	≈	≈	≈	≈
0.3		↑	↑	↑↑	↑	↑↑	↑	↑
0.5		↑	↑	↑↑	↑	↑↑	↑	↑

0.1	100	∅	∅	↑	≈	↑	↑	≈
0.3		↑	↑	↑↑	↑	↑↑	↑	↑
0.5		↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
0.1	102	≈	≈	↑	≈	↑	↑	≈
0.3		↑	↑	↑↑	↑	↑↑	↑↑	↑
0.5		↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
0.1	104	≈	≈	↑	≈	↑	↑	≈
0.3		↑	↑	↑↑	↑	↑↑	↑↑	↑
0.5		↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
0.1	106	↑	↑	↑↑	↑	↑↑	↑	↑
0.3		↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
0.5		↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
0.1	108	↑↑	↑↑	↑↑	↑	↑↑	↑	↑↑
0.3		↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
0.5		↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
0.1	110	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
0.3		↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
0.5		↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
0.1	112	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
0.3		↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
0.5		↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
0.1	114	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
0.3		↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
0.5		↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
0.1	116	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
0.3		↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
0.5		↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑

∅ : El estampado no es visible.

≈ : El estampado es regular.

↑ : El estampado es medio visible.

↑↑ : El estampado es visible.

Estructura del Material 7:

<b>Sustratos</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>
Polipropileno bioorientado	gr/m <sup>2</sup>	16.0
Adhesivo (2 capas)	gr/m <sup>2</sup>	4.0
Foil aluminio	gr/m <sup>2</sup>	22.0
Papel blanco	gr/m <sup>2</sup>	35.0
Tintas	gr/m <sup>2</sup>	2.0

Estructura del Material 3:

<b>Sustratos</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>
Polipropileno bioorientado	gr/m <sup>2</sup>	16.0
Adhesivo (2 capas)	gr/m <sup>2</sup>	4.0
Polipropileno bioorientado metalizado	gr/m <sup>2</sup>	16.0
Polietileno de baja densidad	gr/m <sup>2</sup>	22.0
Tintas	gr/m <sup>2</sup>	2.0

Estructura del Material 5:

<b>Sustratos</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>
Polipropileno bioorientado	gr/m <sup>2</sup>	16.0
Cera	gr/m <sup>2</sup>	18.0
Papel blanco	gr/m <sup>2</sup>	35.0
Tintas	gr/m <sup>2</sup>	2.0

Estructura del Material 2:

<b>Sustratos</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>
Polipropileno bioorientado	gr/m <sup>2</sup>	37.0
Tintas	gr/m <sup>2</sup>	2.0

Estructura del Material 4:

<b>Sustratos</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>
Poliéster	gr/m <sup>2</sup>	18.0
Adhesivo	gr/m <sup>2</sup>	2.0
Polietileno de baja densidad	gr/m <sup>2</sup>	38.0
Tintas	gr/m <sup>2</sup>	2.0

Estas propiedades están dadas según ficha técnica de materias primas, experiencia y mediciones en laboratorio de Lamyflex S.A.

## ANEXO 8

### CONTROLADOR DE TEMPERATURA OMRON E5CN

#### ■ FUNCTIONS

SRT: Performs PID tuning according to the step response method when the SP is changed.

LCT: Performs PID tuning according to the limit cycle method when the SP is changed.

#### Requirements for SRT Functionality

The ST will be executed according to the step response method when the following conditions are satisfied when operation is started or when the SP is changed.

When operation is started	When SP is changed
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. The SP at the startup is different from the SP at the time the previous SRT was executed. (See Note.)</li> <li>2. The temperature upon startup is smaller than the SP in the reverse operation and larger than the SP in the direct operation.</li> <li>3. Restarting of operation is not due to an input error.</li> </ol> <p>Note: The "SP that existed when the previous SRT was executed" refers to the SP used for obtaining the PID constant in the previous SRT.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. The SP after change is different from the SP at the time the previous SRT was executed. (See Note.)</li> <li>2. In the reverse operation, the value obtained by deducting the SP before change from the SP after change is larger than the ST stable range. In the direct operation, the value obtained by deducting the SP after change from the SP before change is larger than the ST stable range.</li> <li>3. The SP change width is larger than the current proportional band <math>\times 1.27 + 4</math>.</li> <li>4. The temperature is in the stable state. (It can be in the balanced state if no output is generated when the power is turned ON.)</li> </ol>

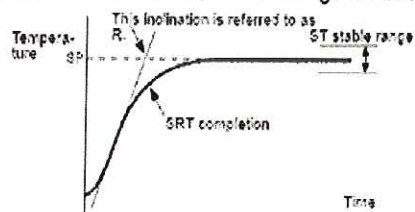
If the SP is changed while SRT is being executed and if SRT completion conditions are satisfied, no PID change will take place.

#### Stabilization State

Measured values remain in the stable range for a certain period of time.

#### Balanced State

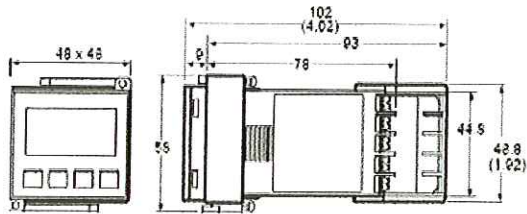
Output is 0% for 60 seconds and measured values fluctuate within the width of the stable range.



# Dimensions

Unit: mm (inch)

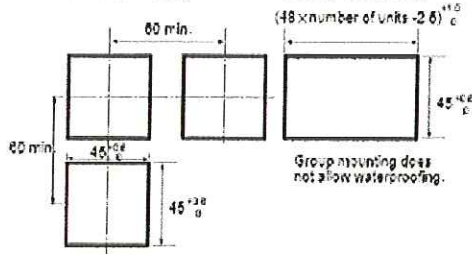
## ■ E5CN



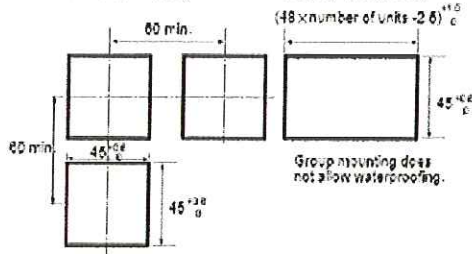
Note: The suffix "500" is added to the model number of each Controller provided with a E53-COV10 Terminal Cover.

## Panel Cutouts

### Mounted Separately



### Group Mounted

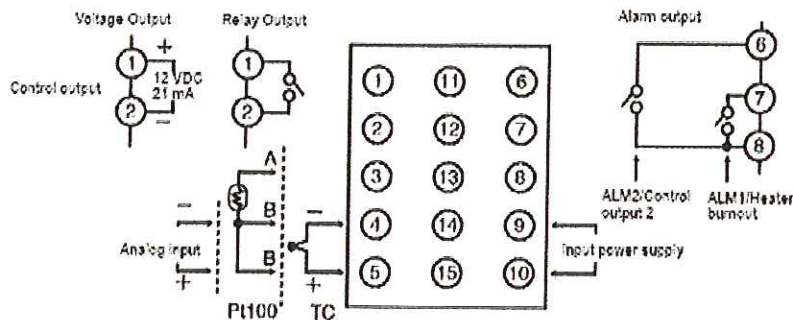


- Recommended panel thickness is 1 to 5 mm.
- Group mounting is not possible in the vertical direction. (Maintain the specified mounting space between Controllers when they are group mounted.) To mount the E5CN so that it is waterproof, apply the waterproof seal to the E5CN.
- When two or more E5CNs are mounted, make sure that the surrounding temperature does not exceed the allowable operating temperature, as specified in the specifications.

## ■ WIRING TERMINALS

The voltage output (control output) is not electrically insulated from the internal circuits. When using a grounding thermocouple, do not connect the control output terminals to the ground. If the control output terminals are connected to the ground, errors will occur in the measured temperature values as a result of leakage current.

Standard insulation is applied to the power supply I/O sections. If reinforced insulation is required, connect the input and output terminals to a device without any exposed current-carrying parts or to a device with standard insulation suitable for the maximum operating voltage of the power supply I/O section.



Two input power supplies are available: 100 to 240 VAC or 24 VDC.

# Nomenclature

## ■ E5CN

### Operation Indicators

1. AL1 (alarm 1)  
Lights when alarm 1 output is ON.  
AL2 (alarm 2)  
Lights when alarm 2 output is ON.
2. HB (heater burnout alarm display)  
Lights when a heater burnout is detected. The heater burnout alarm remains ON by setting the heater burnout latch. To reset, turn the power supply OFF and then ON or set the heater burnout alarm value to "0.0A."
3. OT1, OT2 (control output 1, control output 2)  
Lights when control output 1 and/or control output 2 (cool) are ON.
4. STP (stop)  
Lights when control of the E5CN has been stopped. During control, this indicator lights when an event or the run/stop function has stopped, or this indicator is out.
5. CMW (communications writing control)  
Lights when communications writing is enabled and is out when it is disabled.

### Temperature Unit

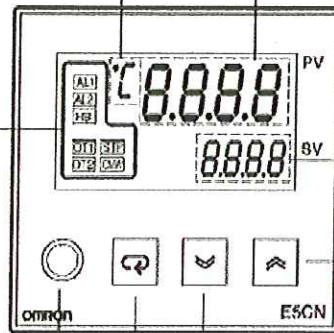
The temperature unit is displayed when the display unit parameter is set to a temperature. Indication is determined by the currently selected "temperature unit" parameter set value. When this parameter is set to "°C," "C" is displayed, and when set to "°F," "F" is displayed.

### No. 1 Display

Displays the process value or parameter type.

### No. 2 Display

Displays the set point, manipulated variable, or set value (setup) of the parameter.



### Up Key

Each press of this key increases values displayed on the No.2 display. Holding down this key continuously increases values.

### Down Key

Each press of this key decreases values displayed on the No.2 display. Holding down this key continuously decreases values.

### Level + Mode Keys

This key combination sets the E5CN to the "protect level."

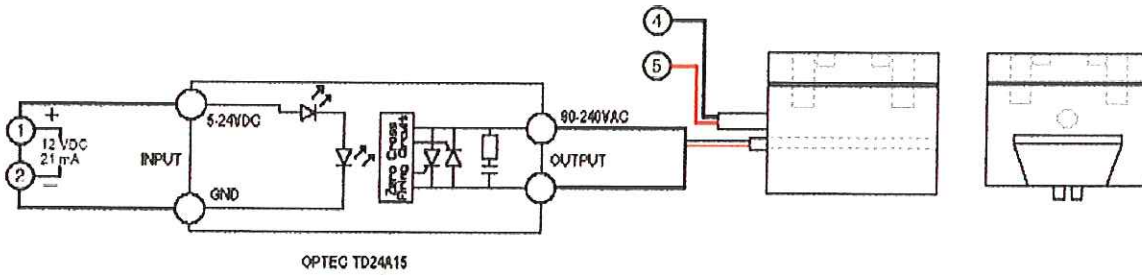
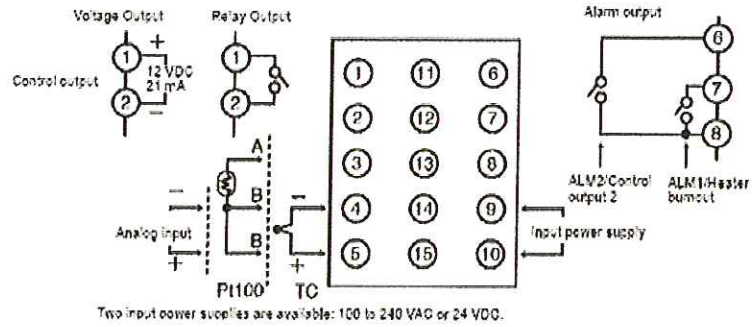
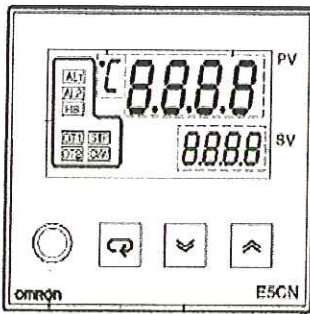
### Level Key

Press this key to select the setup level. The setup level is selected in this order: "operation level" ↔ "adjustment level," "initial setting level" ↔ "communications setting level."

### Mode Key

Press this key to select parameters within each level.

## CONEXIÓN DEL CONTROLADOR DE TEMPERATURA EN EL CODIFICADOR

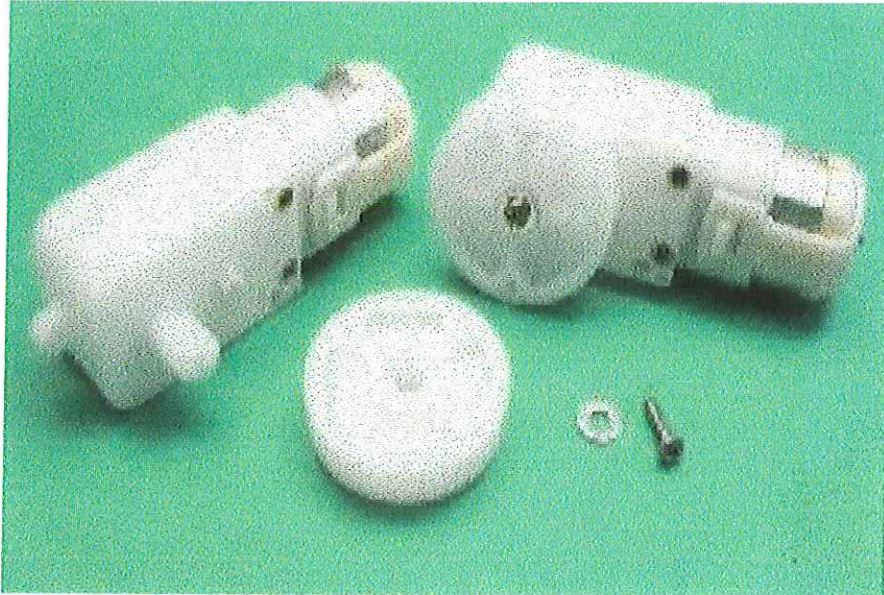




## ANEXO 9

### CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR REDUCTOR GM3

Motor-reductor GM3.



Características a 5 Volts:

-Torque 50 pulgadas \* onzas (3.64kg-cm).

- Relación 224:1

-Velocidad 0.26seg/60° a 5V (38.4RPM).

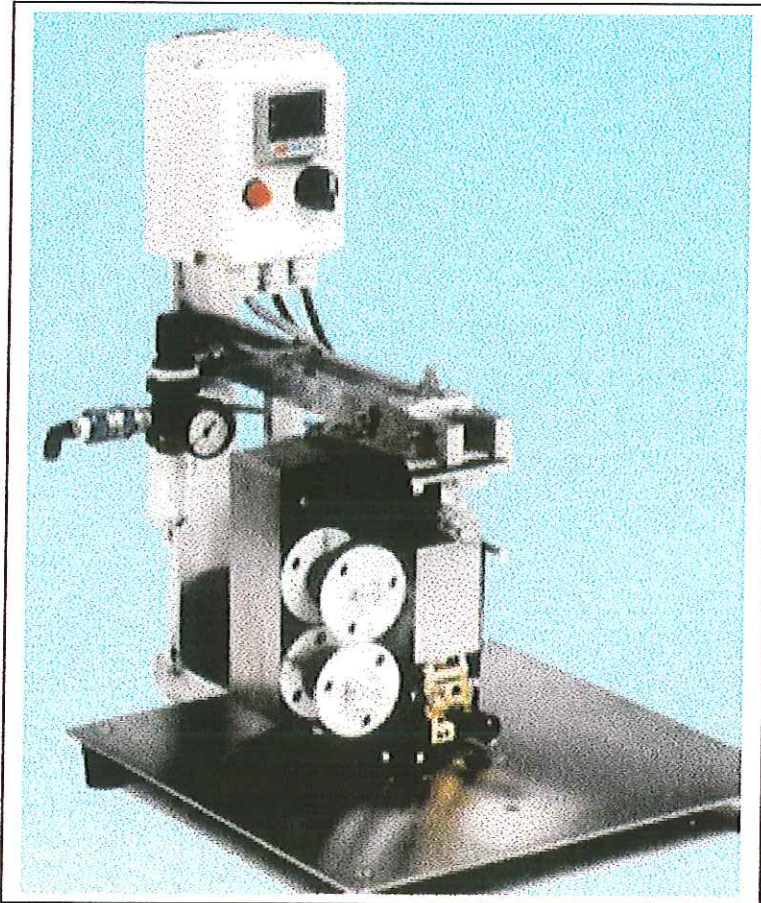
-Consumo 52mA sin carga y 600mA atrancado.

Posee un clutch a las 60 pulgadas \* onzas que protege el mecanismo y el motor.

Medidas: 65mm X 22 mm X 18.5mm.

## ANEXO 10

### PRUEBAS REALIZADAS CON EL CODIFICADOR CODIMARKET MODELO CM01



Características del cilindro:

Diámetro del embolo: 25mm

Diámetro del vástago: 20mm

Temperatura de estampado: 100°C

Tiempo de estampado: 0,1 seg

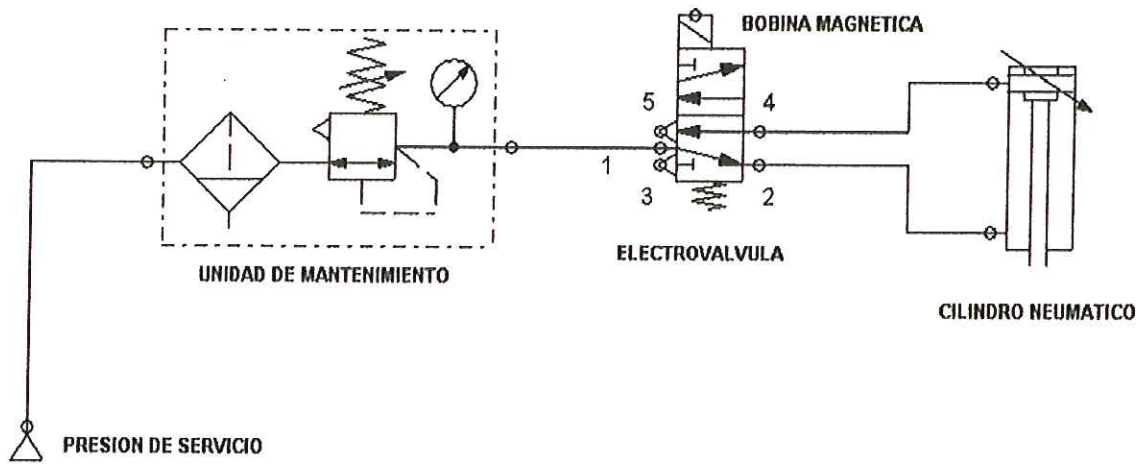
Presión de operación en Bares.	Visibilidad del estampado de menos a mas %	Fuerza requerida para hacer el estampado N.
2	85%	<b>98,17</b>
3	90%	147,26
4	100%	196,35

Por lo que se puede apreciar en los resultados el cilindro este sobre dimensionado para la función de estampado, teniendo en cuenta la temperatura a la cual se hicieron las pruebas y el tiempo de grabado. El cuerpo del cilindro que posee este codificador es relativamente grande, lo que hace que este adquiera mayor peso. Quizás se puede hacer la selección de uno más pequeño y que posea mejores condiciones para realizar este proceso.

Como el cilindro este sobre dimensionado, podemos tomar el valor de la fuerza de estampado a la presión de 2 bares a la cual esta trabajando. Este valor lo tomamos como referencia para hacer los cálculos y obtener las características de uno nuevo.

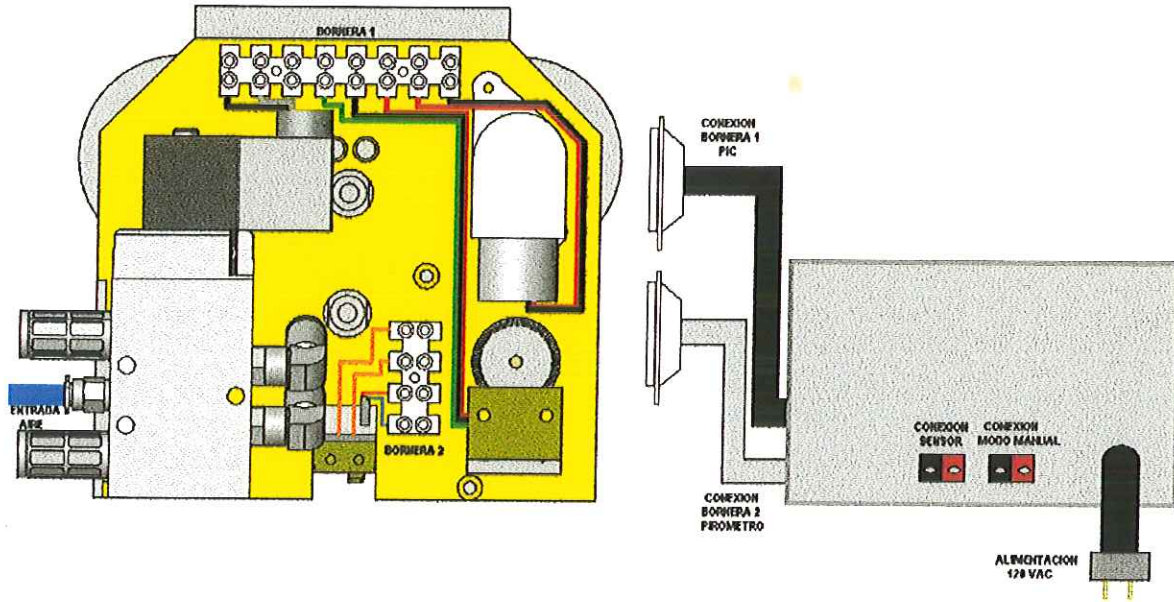
# ANEXO 11

## DIAGRAMA DE CONEXIÓN CIRCUITO NEUMÁTICO



## ANEXO 12

### CONEXIÓN SISTEMA MECÁNICO SISTEMA ELECTRÓNICO



## ANEXO 13

### MADERA PLÁSTICA



La madera plástica es un producto nuevo en nuestro país, el cual es fabricado a partir de diversos materiales con características físicas muy similares a las de la madera natural, resultado del reciclaje de plásticos de desecho industrial, domiciliario y comercial.

Esta compuesta básicamente de una mezcla hecha con las poliolefinas (polipropileno, polietileno de alta densidad y polietileno de baja densidad y algunos contaminantes como el aluminio presentes en varios envases).

Gracias a sus propiedades físicas y químicas la madera plástica, tiene excelentes aplicaciones industriales, convirtiéndose en una opción que sustituye a la madera natural y al metal con múltiples ventajas.

Es ideal para fabricar: casas para mascotas, mesas para picnic, bancas para parques, estibas, vallas urbanas y vallas rurales, pisos para cuartos fríos, revestimiento de canales y caminos, canoas para saladeros y comederos para el ganado, jardineras, formaletas para la industria de la construcción, camas, camarotes, mesas de trabajo, mesones para laboratorios químicos, gaveras para fundir panela, pisos para camiones, carrocerías para camiones y camionetas etc.

La madera plástica REXCO se trabaja de manera similar a como se hace con la madera natural; puede cortarse con serrucho, segueta, sierra eléctrica, se deja tornearse, se deja cepillar, cantear, perforar, atornillar y espigar, todo esto con las mismas herramientas con que se trabaja la madera natural.

**Cuadro comparativo de ventajas de la madera plástica frente a la madera natural y al metal.**

CARACTERISTICAS	MADERA PLASTICA	MADERA NATURAL	METAL
Requiere pintura	No	Si	Si
Se astilla o se oxida	No	Si	Si
Requiere de inmunización	No	Si	No
Se pudre (se descompone)	No	Si	No
Alta resistencia al impacto	Si	No	No
Inmune al ataque de plagas	Si	No	Si
Resistencia natural al ataque químico	Si	No	No
Es impermeable	Si	No	No
Es aislante térmico y eléctrico	Si	Si	No

- Bajo condiciones de temperatura normales de trabajo (caliente o frío) la madera no cambia sus propiedades físicas ni químicas. La madera plástica se ablanda a 140 °C, su punto de fusión es de 224 °C y su rango de temperatura de servicio es entre -32 °C y 130 °C.

La madera plástica solo combustiona si se somete directamente a una llama de fuego, pero si el fuego se retira, la madera plástica deja de combustionar.

- La madera plástica retiene mejor que la madera natural, en un 90%, los clavos y, en un 7%, los tornillos.
- La madera plástica es más resistente (mayor resistencia a la intemperie, mayor resistencia química, etc.).
- Bien sabemos que hay diferentes tipos de madera natural que van desde muy livianas a muy pesadas, todas con diferentes aplicaciones, la madera plástica tiene un peso muy similar al de la madera ordinaria, que es la que comúnmente se utiliza.

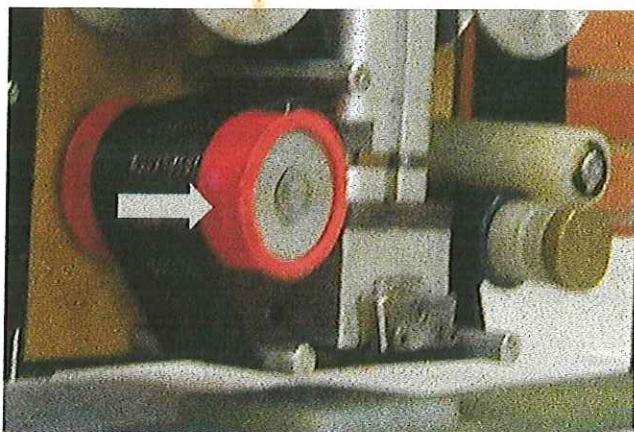
## ANEXO 14

### MANUAL DE FUNCIONAMIENTO DEL CODIFICADOR

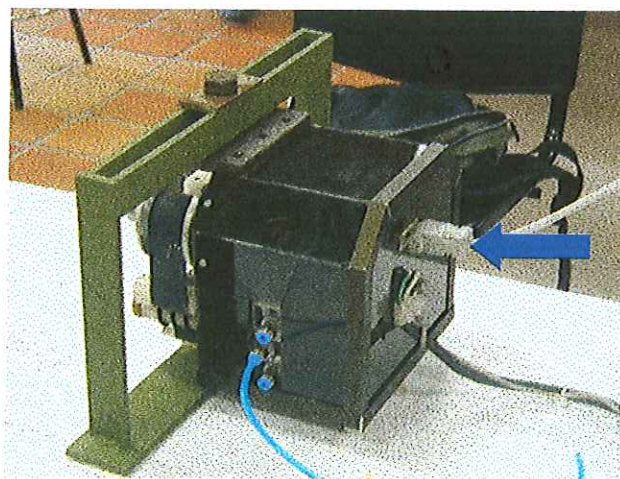
A continuación se hace una pequeña descripción de cómo debe ser el uso y el manejo de la caja de control para el codificador.

#### ***Pasos preliminares:***

- Limpiar el eje del encoder que está cubierto de una capa siliconada roja; esto con el fin de que la cinta se patine y el encoder no haga su respectivo trabajo.

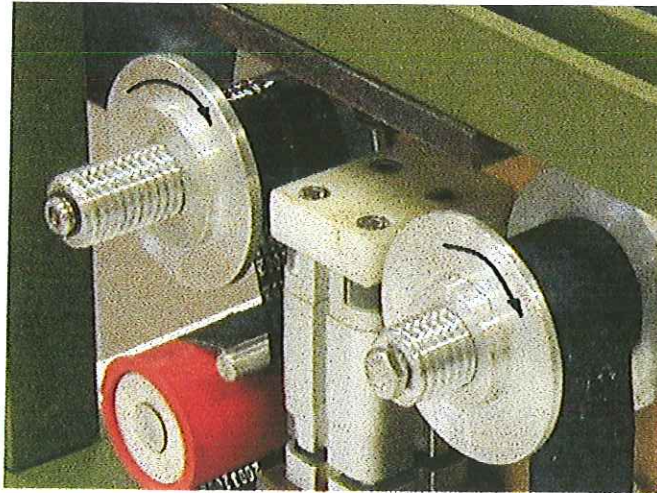


- Asegurarse de conectar el cable de transmisión de datos de la caja de control al codificador; además conectar correctamente la termocupla (es decir tener en cuenta la polaridad) para obtener un registro de la temperatura real.

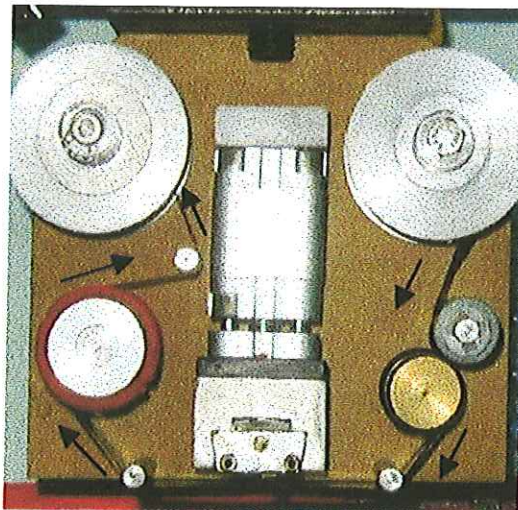




- Conectar la manguera de alimentación de aire del sistema del codificador; además tener en cuenta la presión a la que se está trabajando y a la que se debería trabajar el codificador (la presión ideal de trabajo es de 3 a 5 bar.).
- Revisar si el codificador tiene la cinta completa o si ya está próxima a terminarse. Si se desea cambiar la cinta el operario tiene que soltar la tapa de seguridad de los carretes girándolos en sentido opuesto al movimiento de las manecillas del reloj; para ajustarlas se hace como se ve en la siguiente figura.

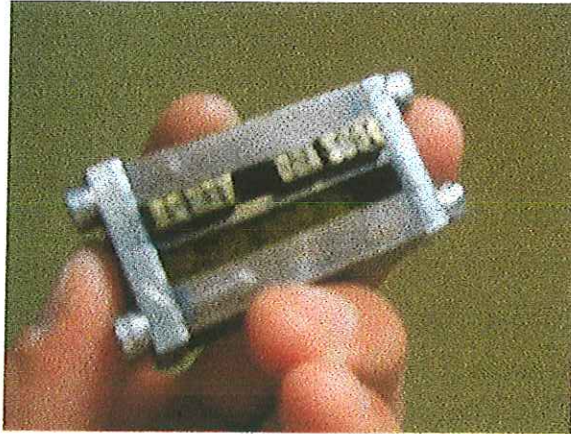


- Embobinar la cinta. La embobinada de la cinta se debe de realizar de la siguiente manera:



### ***Graduar fecha de estampado:***

Principalmente antes de comenzar a trabajar el codificador se debe graduar la fecha correspondiente a la semana en la cual se va a empacar el producto y a su vez colocar también una fecha de vencimiento para la cual el producto ya es perecedero.



### ***Encendido del control de temperatura:***

El controlador de temperatura se debe encender aproximadamente 30 minutos antes de comenzar a trabajar en dicho proceso; esto con el fin de darle un tiempo estimado en el cual la resistencia se calentará hasta obtener la temperatura fijada por el usuario.



La graduación de la temperatura para el estampado de diferentes materiales será observado por medio de dígitos verdes; estos reflejan la temperatura a la cual se va a realizar el proceso.

Los dígitos rojos indican la temperatura que esta sensando la termocupla en dicho instante del proceso; la graduación de la temperatura de estampado se debe realizar de la siguiente manera:

Subir la temperatura



Bajar la temperatura

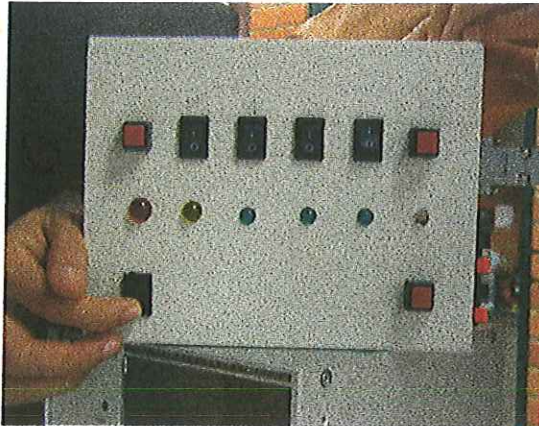


### ***Encendido de la caja de control del codificador:***

Para comenzar a trabajar con la caja de control del codificador. Se debe tener en cuenta los siguientes pasos:

- Conectar la caja de control a una alimentación de 110V AC.
- Conectar el cable transmisor de datos desde la caja de control hacia el codificador.
- En caso de que se opere en forma automática: Tener conectado el sensor o la señal de respuesta a la caja de control.

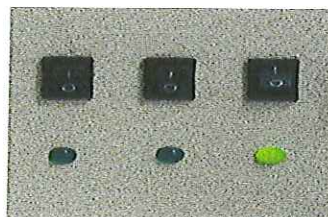
El encendido de la caja de control.



### ***Selección de la cantidad de líneas de estampado:***

Después de encendido se debe seleccionar la cantidad de líneas a estampar (Si el usuario no elige ninguna cantidad de líneas el codificador no trabajará); es decir si se desea estampar una línea de texto se selecciona **una línea**, si son dos líneas de texto se escogen **dos líneas** y así sucesivamente.

La selección de una línea de estampado será observada a través de un led de color verde el cual se encuentra en la parte inferior de cada switch de la línea seleccionada.



En la grafica se observa que se ha seleccionado tres líneas de texto para estampar

### ***Modo de funcionamiento***

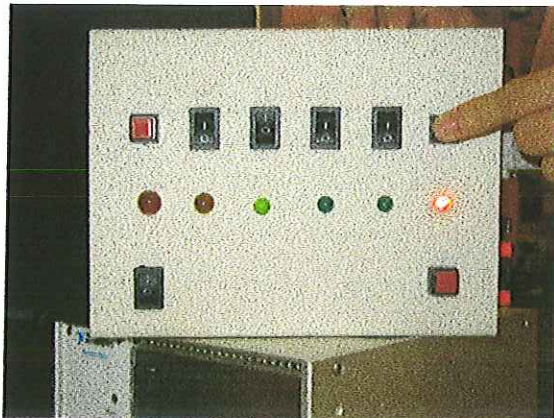
El modo de funcionamiento depende de cómo el operario desee trabajar el codificador.

El modo manual es aquel en el que el operario, controla la maquina de acuerdo a su necesidad; este normalmente se usa para estampar la fecha a bolsas de

empaques individuales y cuando el proceso de empaqueo no es automático sino netamente manual.

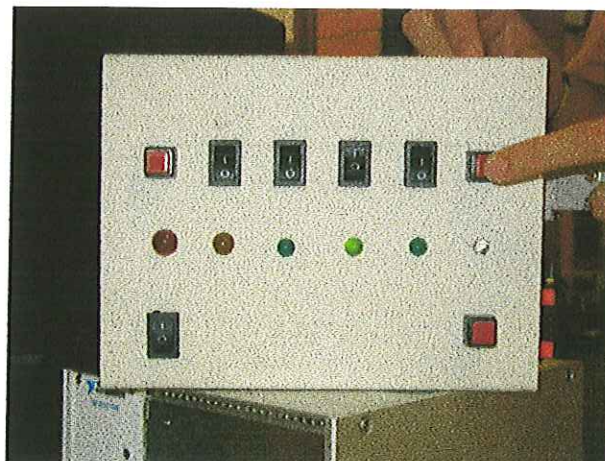
A continuación podemos ver como se debe configurar el tipo de líneas a imprimir, para trabajar en el modo manual.

#### Modo manual (una línea de texto)

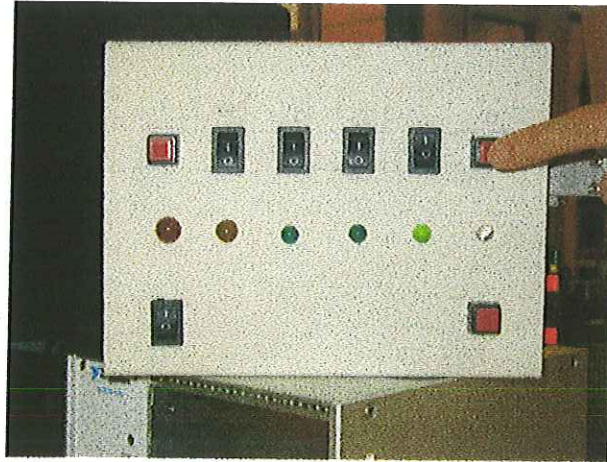


En la grafica vemos que se selecciona una línea para imprimir y la operación manual se realiza a través del pulsador mostrado en la grafica. El led rojo se enciende cuando comienza el proceso de impresión, además sirve para observar que el proceso si se esta llevando a cabo.

#### Modo manual (dos líneas de texto)



### Modo manual (tres líneas de texto)



### ***Modo automático:***

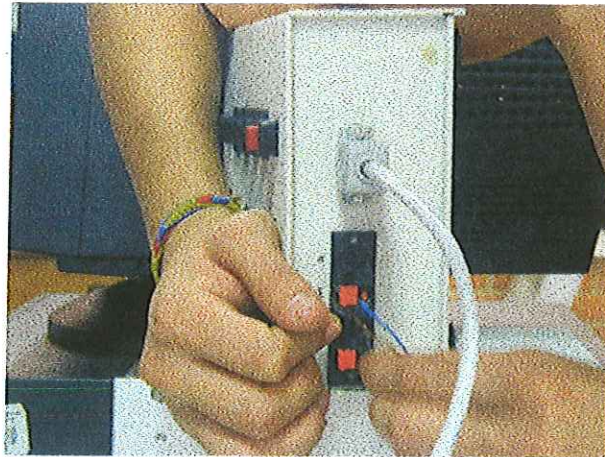
Para el modo automático es necesario tener como entrada la señal de un sensor, esta será generada a través de una maquina empacadora donde posea un punto de parada.

La maquina empacadora dará una señal en un punto donde la maquina se encuentre realizando una etapa del proceso (preferiblemente cuando este dosificando). Esta señal hará que el codificador realice el proceso de estampado sin necesidad de la interacción de la persona.

Para trabajar en modo automático se deben seguir las siguientes recomendaciones:

- Conectar el sensor o la señal del sensor como se indica en la siguiente figura.

Conexión del sensor en modo automático:

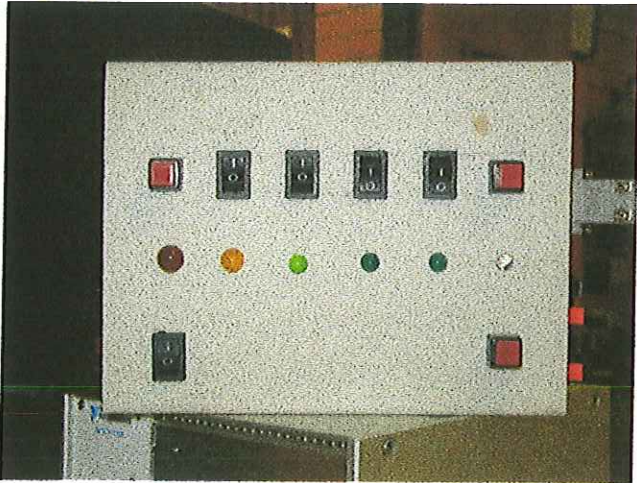


- Verificar que el sensor este trabajando correctamente (para nuestro caso el operario sabrá que el sensor esta trabajando bien por que al acercársele un objeto metálico al sensor capacitivo este emitirá una pequeña luz roja indicando que hay un objeto próximo a el).

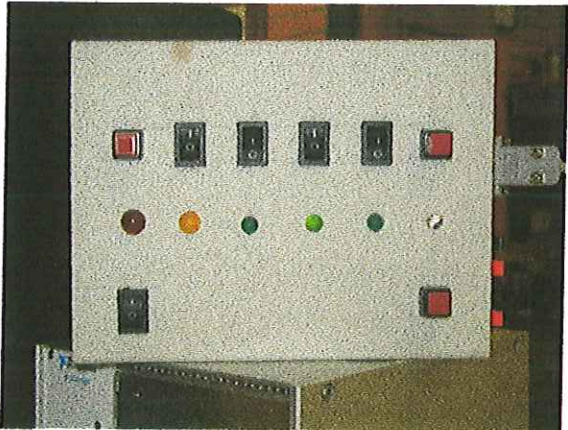


- El modo automático se selecciona con un switch que esta en la parte superior de un led amarillo este indicara que el proceso se trabajará en este modo; después de haber seleccionado el modo a trabajar se continúa con la selección de la cantidad de líneas a estampar. Esto se hace de la siguiente forma:

Modo automático (una línea de texto)

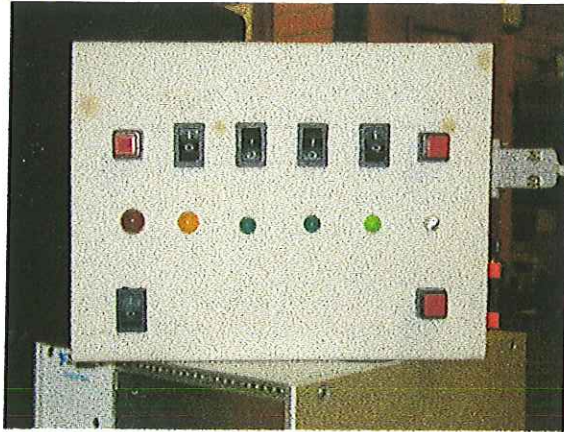


Modo automático (dos líneas de texto)





### Modo automático (tres líneas de texto)

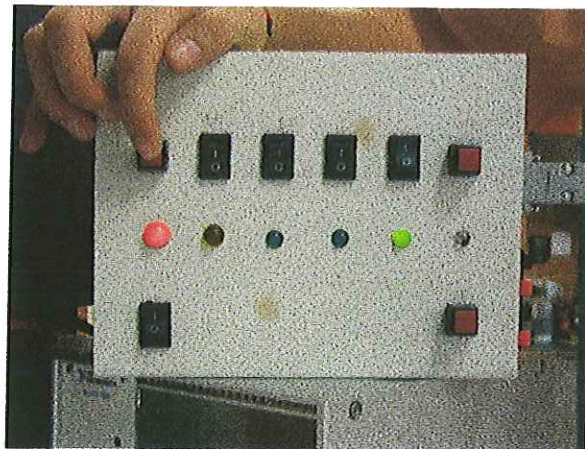


Nota: para el modo automático el led amarillo siempre tiene que estar encendido.

### ***Paro de emergencia:***

El paro de emergencia es una opción de trae la caja de control; este es usado en caso de alguna necesidad o por causa de una falla en el dispositivo. El operario solo tiene que oprimir el pulsador que se encuentra en la parte superior izquierda de la caja de control.

El paro de emergencia deshabilita el funcionamiento del codificador y deja sus componentes en el estado inicial.



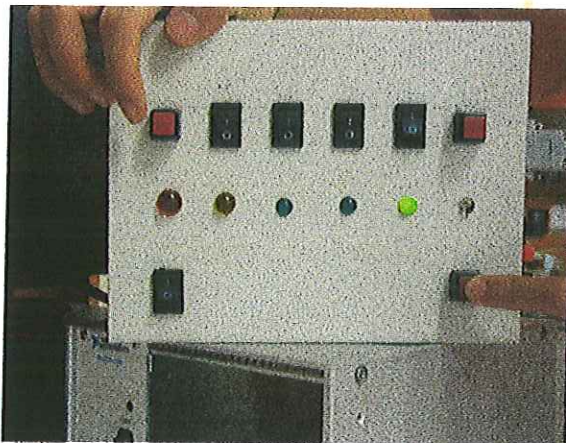
Codificador en paro de emergencia

- ¿Cómo se sabe que el codificador se encuentra en *Paro de Emergencia*?

El codificador se encuentra en paro de emergencia cuando el led rojo se enciende y se vuelve intermitente; es decir se comienza a encender y apagar cada dos segundos.

- ¿Cómo desactivar el *Paro de Emergencia*?

El paro de emergencia se deshabilita pulsando el botón de reset que se encuentra en la parte inferior derecha de la caja de control, al oprimir este el codificador queda listo para recibir la señal que indica el comienzo del proceso. Se debe realizar de la siguiente forma.



Reseteo o desactivación de modos, alarmas y paro de emergencia

### ***Reseteo o desactivación de funciones:***

El reseteo o desactivación de funciones es usado cada vez que se quiere cambiar de modo (ya sea de automático a manual o viceversa, y igualmente cada vez que se desee cambiar de cantidad de líneas de estampado), también se usa para desactivar el paro de emergencia y las alarmas.

Siguiendo las recomendaciones anteriores el operario podrá entender fácilmente el uso y manejo del codificador.



El resultado obtenido de realizar todos los pasos anteriores es la de obtener un excelente estampado el cual será visible para el consumidor del producto.

**ANEXO 15**

**PLANOS**