

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



**AUTOMATIZACIÓN DE LA IMPRESIÓN CON INYECCIÓN  
DE TINTA DE CARRETES DE HILO**

**INFORME DE SUFICIENCIA  
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**PRESENTADO POR:  
ALEX VÍCTOR PAZ RETUERTO**

**PROMOCIÓN  
1984-II**

**LIMA-PERÚ  
2010**

**AUTOMATIZACIÓN DE LA IMPRESIÓN CON INYECCIÓN  
DE TINTA DE CARRETES DE HILO**

Agradezco a los seres que amo  
Mi esposa, mis hijos, mis padres y mis hermanos,  
por su paciencia y sacrificio durante los años de mi formación profesional  
y a mí cuñada Noemí  
que siempre me alentó en todo momento

## SUMARIO

El presente trabajo describe el diseño de la automatización de la impresión con inyección de tinta de carretes de hilo.

El objetivo del proyecto es diseñar la automatización de la impresión de carretes de hilo para cubrir la necesidad de la empresa del rubro textil con la finalidad de comercializar sus productos en este formato de presentación. El proceso de impresión es con fines de identificación de la marca y del código de color del hilo. Debido al gran nivel de producción, era imposible pensar en un proceso manual. Es así que se desarrolla un diseño específico para el tipo de carrete.

Se decide utilizar un tipo de impresora de inyección de tinta debido que la otra opción, impresión de contacto, corría la tinta y era menos veloz. Para la selección del carrete y su posterior transporte hacia la zona de impresión se hace uso de una tolva de vibración. El transporte es por gravedad a través de un conducto cilíndrico.

Para el posicionamiento del carrete se hace uso de un solenoide que se activa cuando un sensor óptico de barrera lo detecta. El solenoide sitúa al carrete en un carrusel de rodamiento de 16 espacios. El carrusel al rotar, coloca al carrete entre los cabezales de impresión. Debido a que el cabezal es estático, se hace uso de una rueda tangente para proporcionar una velocidad angular al carrete. El cabezal actúa y el carrete queda impreso. Luego el carrete es expulsado del carrusel. El número de carretes impresos es registrado por un contador, activado por el sensor óptico. El control para los procesos se hace mediante una tarjeta electrónica especialmente diseñada.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPITULO I</b>	
<b>MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL</b> .....	3
1.1 Análisis situacional .....	3
1.1.1 Descripción del problema .....	3
1.1.2 Objetivos del trabajo .....	3
1.1.3. Evaluación del problema .....	3
1.1.4 Alcance del trabajo .....	5
1.1.5 Síntesis del trabajo .....	5
1.2 Proceso de impresión por chorro de tinta .....	7
1.2.1 Efectos ultrasónicos .....	7
1.2.2 Efecto electrostático .....	8
1.2.3 Efectos de la presión .....	10
1.2.4 Efectos de la presión .....	11
1.3 Motor paso a paso .....	13
1.3.1 Aspectos generales .....	13
1.3.2 Principio de funcionamiento .....	15
1.3.3 Tipos de motores .....	16
1.3.4 Parámetros .....	19
1.3.5 Control .....	21
1.3.6 Secuencia del circuito de control .....	21
1.4 Sensores .....	23
1.4.1 Características .....	23
1.4.2 Sensor inductivo .....	24
1.4.3 Estados de un sensor inductivo .....	25
1.4.4 Histéresis .....	26
1.4.5 Distancia de sensado .....	27
1.4.6 Sensores blindados y no blindados .....	27
1.4.7 Sensores infrarrojos de barrera .....	28
<b>CAPITULO II</b>	
<b>DISEÑO DEL AUTOMATISMO</b> .....	30

2.1	Análisis de la solución .....	30
2.1.1	Definición de etapas.....	30
2.1.2	Alternativas tecnológicas.....	31
2.2	Diseño de la solución .....	33
2.2.1	Fase de alimentación .....	33
2.2.2	Fase de posicionamiento .....	35
2.2.3	Fase de impresión.....	36
2.2.4	Fase de expulsión .....	39
2.2.5	Registro de la cantidad de carretes impresos .....	39
2.2.6	Tarjeta de control .....	39
2.3	Equipamiento .....	44
2.3.1	Tolva.....	45
2.3.2	Sensor óptico .....	46
2.3.3	Sensor inductivo de proximidad .....	46
2.3.4	Solenoides .....	47
2.3.5	Motor paso a paso.....	48
2.3.6	Impresoras .....	49
2.3.7	Contador.....	52
<b>CAPITULO III</b>		
<b>ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....</b>		<b>55</b>
3.1	Estimación de costos .....	55
3.2	Cronograma .....	55
3.3	Simulación e implementación.....	55
<b>CONCLUSIONES .....</b>		<b>60</b>
<b>ANEXO A .....</b>		<b>61</b>
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS.....</b>		<b>61</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>		<b>62</b>

## INTRODUCCIÓN

El diseño realizado es producto de la necesidad de imprimir carretes de hilo con la marca y el código de color del hilo.

El carrete usado, propio de la empresa a efectos de competitividad por diferenciación no encontraba un sistema de automatización de impresión genérico que pudiera usar. Ni el mercado nacional ni internacional contaba con un sistema apropiado. Mandar a fabricar un sistema a medida resultaría oneroso para la compañía. En conclusión, no existían opciones tecnológicas adecuadas.

Se decide por lo tanto construir un sistema de automatización de impresión por inyección de tinta para estos carretes de hilo, con la tecnología disponible en un plazo no mayor de cuatro meses, el cual era importante ya que se había fijado una fecha para el lanzamiento del producto.

La propuesta de solución, es implementada de la siguiente manera. Primero se decide utilizar un tipo de impresora de inyección de tinta, debido que la otra opción, la impresión por contacto, corría la tinta y era menos veloz.

Para la selección del carrete y su posterior transporte hacia la zona de impresión se hace uso de una tolva de vibración, la cual hacía que los carretes contenidos en ella viajaran a través de un camino helicoidal hacia un conducto cilíndrico que lo transportaba por efecto de la gravedad.

El carrete luego es posicionado mediante un solenoide que se activa cuando un sensor óptico de barrera lo detecta. El solenoide coloca al carrete en un carrusel de rodamiento de 16 espacios. El carrusel al rotar, coloca al carrete entre los cabezales de impresión.

Debido a que el cabezal es estático, se hace uso de una rueda tangente para proporcionar una velocidad angular específica al carrete. El cabezal actúa y el carrete queda así impreso.

Luego de realizada la impresión, el carrete es expulsado del carrusel. El registro del número de carretes impresos es realizado por el mismo sensor óptico que activa un contador digital.

Para la mayoría de los procesos descritos se diseñó una tarjeta electrónica de control la que se interrelaciona con el sensor óptico, el solenoide, el motor de paso a paso, el detector de proximidad, la impresora y el contador.

La velocidad óptima lograda de producción de carretes impresos es de un carrete por segundo. No se hace uso de una matriz como en otros sistemas sino que el código impreso es programado directamente en la impresora. Además se puede programar al sistema para que realice una cantidad específica de carretes impresos con un texto de impresión dado. La producción no se ve afectada por el agotamiento de insumos, pues estos son advertidos al operador con mucha anticipación para su recarga.

Las fuentes bibliográficas consultadas para el diseño fueron el manual codificador impresor, el cual era necesario para conocer las funciones de impresión y características de control. También libros de diseño de circuitos digitales así como manuales de semiconductores para la utilización de los componentes de control. Finalmente manuales de sensores ópticos, sensores inductivos y del motor paso a paso.

El trabajo está dividido en cuatro capítulos principales:

1. Bases conceptuales.- El Marco Teórico Conceptual hace especial énfasis en describir la necesidad de la empresa textil, los objetivos y requerimientos del sistema propuesto. También se evalúa el problema y se justifica su solución. Complementariamente se presentan los aspectos teóricos para la comprensión del sistema diseñado.
2. Diseño del automatismo.- Se describe el diseño, construcción y funcionamiento del sistema.
3. Análisis y presentación de los resultados.- Describe los tiempos invertidos en el proyecto, los costos involucrados y la simulación e implementación de la tarjeta de control.



# **CAPÍTULO I**

## **MARCO TEORICO CONCEPTUAL**

### **1.1 Análisis situacional**

En esta sección se hace el análisis situacional. Esto es necesario para enmarcar la necesidad y la solución. Primeramente se describirá el problema que enfrentaba la empresa textil del rubro de hilo domestico, luego se expone el objetivo del trabajo, posteriormente se hace una evaluación de la problemática justificando la solución. Finalmente se precisan los alcances del sistema, y se hace una síntesis del trabajo.

También se exponen las bases teóricas conceptuales más importantes para la comprensión del sistema descrito en el presente informe. Se han dividido en: 1) Proceso de impresión por chorro de tinta, 2) Motor paso a paso, 3) Sensores

#### **1.1.1 Descripción del Problema**

Inexistencia de un sistema automatizado de impresión para el tipo de carrete que utiliza la empresa textil del rubro de hilo domestico.

El carrete usado, propio de la empresa a efectos de competitividad por diferenciación no encontraba un sistema de automatización de impresión genérico que pudiera usar. Ni el mercado nacional ni internacional contaban con un sistema apropiado. Mandar a fabricar un sistema a medida resultaría muy oneroso para la compañía. En conclusión, no existían opciones tecnologías adecuadas.

#### **1.1.2 Objetivos del trabajo**

Construir un sistema de automatización de impresión por inyección de tinta para estos carretes de hilo, haciendo uso de la tecnología disponible y en un plazo no mayor de cuatro meses.

El diseño debe ser capaz de advertir al agotamiento de insumos, programar y registrar el número de carretes impresos, y además que su mantenimiento sea sencillo.

#### **1.1.3 Evaluación del problema**

La empresa textil diseñó un carrete de hilo con características especiales con la finalidad de competir de manera diferenciada en el mercado de hilos de consumo doméstico.

Estos carretes debían ser impresos con la marca y el código de color del hilo. Sin embargo la empresa no encontró (nacional ni internacionalmente) un sistema de

automatización de impresión genérico que pudiera ser utilizado adecuándolo a su particular carrete de hilo.

Ordenar la fabricación de un sistema a medida resultaría demasiado costoso y posiblemente fuera del plazo requerido para el lanzamiento del producto. La empresa no tenía, por tanto, otra opción que la de diseñar su propio sistema.

Respecto a los productos de la empresa textil., estos están orientados al consumo doméstico y deben cumplir ciertos requisitos básicos, los cuales se pueden resumir en lo siguiente:

1. Las unidades deben contar con una cantidad de hilo acorde con la necesidad del usuario.
2. Su presentación debe permitir un fácil uso y además que se pueda guardar el excedente en forma segura.
3. El producto debe ser fácil de identificar y diferenciar de otros productos similares.
4. Su presentación debe ser agradable a la vista, así como tener forma ergonómica.

La visualización de la marca del producto y su código, es una de las formas de identificar un producto de otro. Por este motivo es necesario encontrar la forma de imprimir en forma segura y repetitiva los tubos (carretes) que contendrán el hilo de algodón, de acuerdo a lo planificado por el departamento de desarrollo de productos y el área de marketing.

El mercado de hilos es muy exigente y requiere de una atención especial, por lo que siempre se tiene que estar innovando con la finalidad de mantener la presencia de la marca y los productos en el mercado, esto implica que se tiene que tener respuestas rápidas y económicas en las modificaciones de la apariencia del producto, ya que este es el factor principal que toma en cuenta el usuario final para decidir su compra. Por ello es que en los procesos de fabricación, se invierte mucho tiempo de horas hombre para garantizar la calidad del producto que saldrá a la venta.

El producto debía lanzarse al mercado en un plazo menor a cuatro meses, por lo que se requería una solución propietaria. Se decidió así que el método de impresión a utilizar sea el de inyección de tinta.

Para la comprensión de la selección de inyección de tinta como método de impresión se debe tener en cuenta que los métodos de impresión usados en general son variados. Cada uno posee características particulares de acabado y dificultades de implementación. Las más conocidas son por contacto directo de fotolitos, por el método de máscaras de impresión, por láser, inyección de tinta, etc.

El método de impresión por inyección de tinta es el más usado en la industria, pues permite la impresión en cualquier tipo de superficies y distintos tipos de material. Si bien

su implementación puede ser algo onerosa, da mucha libertad para realizar modificaciones, tanto en el formato de impresión como en la adaptación a diferentes productos, además es rápida y segura.

Los cabezales de chorro por impulsos fueron desarrollados originalmente para el mercado de las impresoras de oficina. Actualmente se ha generalizado su uso y consiguen unos resultados excelentes.

Aunque el concepto de este método de impresión parecer ser relativamente simple, se debe mencionar que las patentes originales se remontan a los años setenta del siglo XX.

El método de impresión fue desarrollado para la impresión sobre papel limpio en entornos de oficina con un espacio uniforme entre el cabezal y el papel. Ahora también se usa en entornos de producción donde las condiciones operativas son más difíciles de controlar.

Respecto a la automatización del proceso de impresión, era imprescindible que la producción pudiera ser alta, sumamente flexible en cuanto a programación de códigos y número de carretes, así como hacer posible el registro de la producción.

Para ello se requirió manejar muchos elementos electromecánicos y sensores. En la siguiente sección se explican los alcances del diseño

#### **1.1.4 Alcance del trabajo**

Se diseña e implementa un sistema de automatización de la impresión de carretes de hilo, mediante cabezales de inyección de tinta.

El sistema:

1. Imprime en ambas bases del carrete la marca del producto y el código del mismo.
2. Las impresiones son simétricas de tal manera que al rotar para ver las caras de impresión, la impresión se vea igual.
3. Permite al operario programar la cantidad de carretes a imprimir, y modifique en forma fácil y segura los caracteres a imprimir.
4. Posee una velocidad de impresión no menor a un carrete por segundo.
5. Tiene un abastecimiento independiente de la cantidad a ser impresa.

El trabajo, desde su concepción hasta su puesta en funcionamiento, tomó un total de cuatro meses.

#### **1.1.5 Síntesis del trabajo**

La solución de automatización de impresión de carretes de hilo es implementada de la siguiente manera.

- 1) Se define que fases deben establecerse para implementar la automatización de impresión de los carretes. El resultado del análisis puede verse en la Figura 1.1



**Figura 1.1** Fases de automatización

2) Establecidas las fases de automatización, se evalúa las posibilidades tecnológicas para la alimentación, es decir la etapa que va desde el almacenamiento de los carretes, su selección y encaminamiento al sistema de impresión. Se decide por la utilización de una tolva vibradora helicoidal (en espiral) para el almacenamiento y selección, y un conducto cilíndrico para el encaminamiento (transporta carrete por efecto de la gravedad)

3). Para la fase de posicionamiento se necesita lo siguiente:

- i. Un sensor que detecte la presencia de un carrete.
- ii. Un actuador que coloque al carrete en línea para la impresión (dentro del carrusel)
- iii. Un elemento acumulador de los carretes que los lleve al cabezal de impresión, el carrusel accionado por motor paso a paso, con detector proximidad.

Se evalúan los sensores para la detección y se decide por un sensor óptico de barrera, es decir que posee un transmisor y un receptor

Para el actuador se decide por la utilización de un solenoide que se activa cuando el sensor lo detecta, y para acumular los carretes se selecciona un carrusel de rodamiento de dieciséis espacios accionado por motora paso a paso. El solenoide coloca al carrete en el carrusel. El carrusel al rotar, coloca al carrete entre los cabezales de impresión.

4) Para la impresión. Se analiza el tipo de impresora a usar. Del análisis se decide por utilizar un tipo de impresora de inyección de tinta, debido que la otra opción, la impresión por contacto, corría la tinta y era menos veloz. Para la impresión se hace uso de dos cabezales. Para ellos se cuenta con dos impresoras programables Video Jet Excel<sup>3</sup>.

Debido a que el cabezal es estático, se hace uso de una rueda tangente (motoreductor) para proporcionar una velocidad angular específica al carrete. El cabezal actúa y el carrete queda así impreso.

5) Finalizada la impresión, el carrete debe ser extraído del carrusel. La fase de expulsión es lograda cuando se hace rotar el carrusel para la siguiente impresión, el carrete impreso es expulsado por acción de la gravedad y es encaminado por una canaleta hacia su punto de almacenamiento.

6) El registro del número de carretes impresos es realizado por el mismo sensor óptico que activa un contador digital.

7) El control de la mayor parte de los procesos es realizada por una tarjeta de control

especialmente diseñada para el sistema y que se interrelaciona con el sensor óptico, el solenoide, el motor de paso a paso, el detector de proximidad, la impresora y el contador.

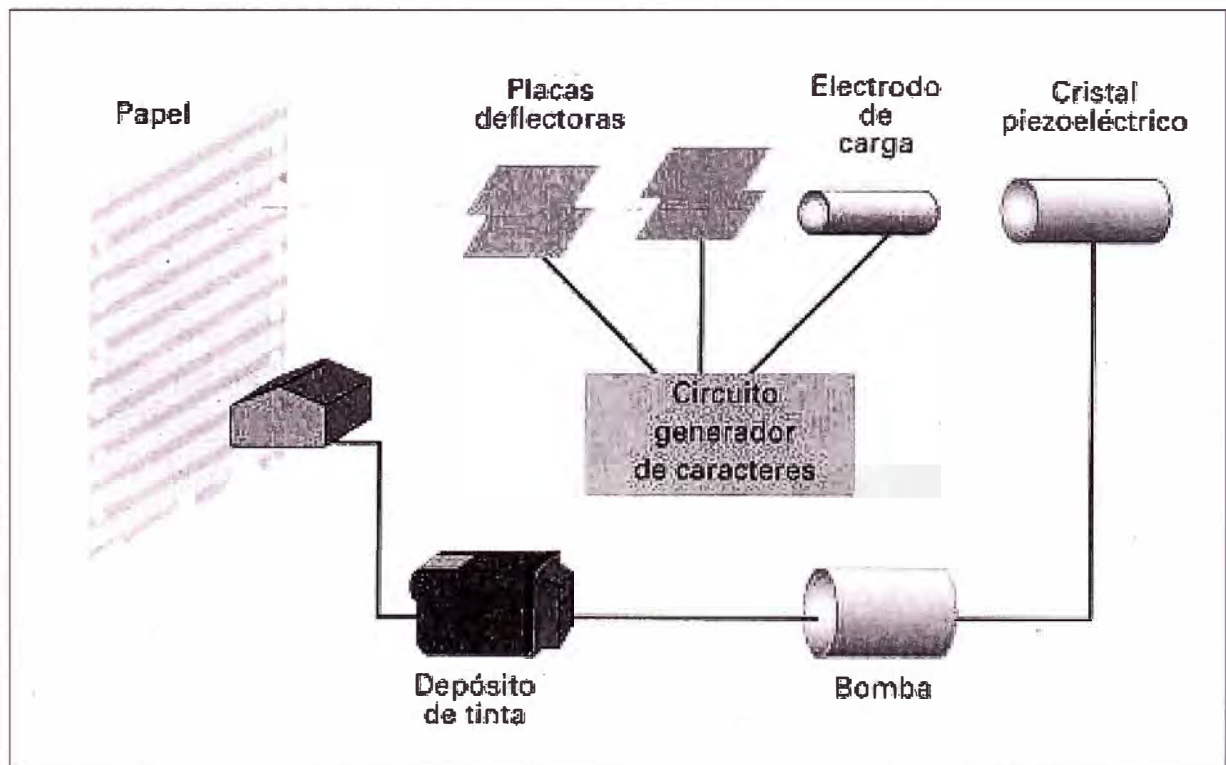
## 1.2 Proceso de impresión por chorro de tinta

De acuerdo al manual de VideoJet, en esta sección describe en detalle el proceso de impresión por chorro de tinta y la forma como la impresora aplica este proceso sin contacto con la superficie del material a ser impreso (Figura 1.2).

El proceso de impresión por chorro de tinta se basa en el comportamiento físico de un chorro de tinta fluida bajo la influencia de presión, vibración y fuerza electrostática.

Esta sección incide en los siguientes puntos sobre el chorro de tinta:

1. Efectos ultrasónicos
2. Efecto electrostático
3. Efectos de la presión
4. Control



**Figura 1.2** Esquema del mecanismo de la Impresión sin contacto [12]

### 1.2.1 Efectos ultrasónicos

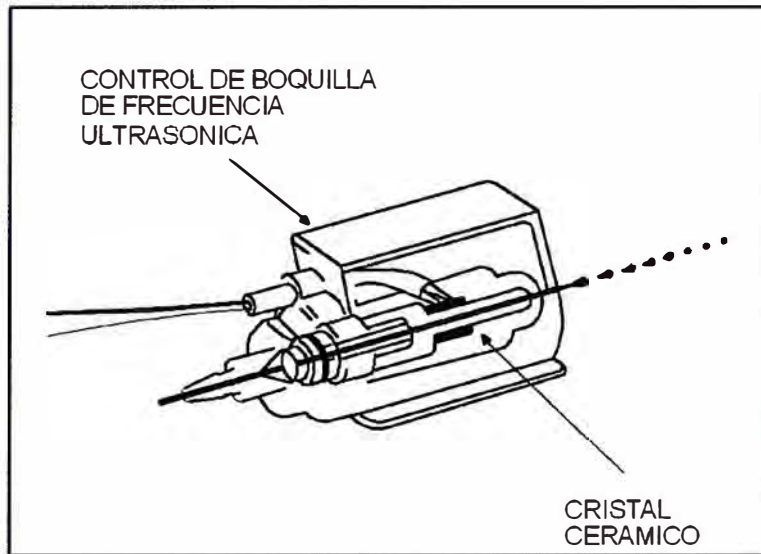
La impresora utiliza vibración ultrasónica para separar un chorro de tinta presurizada en pequeñas gotas a medida que sale de la boquilla.

La vibración ultrasónica es producida por un cristal dentro de la unidad de la boquilla (Figura 1.3). El cristal de la boquilla es energizado por una señal de frecuencia ultrasónica desde la tarjeta de control.

La acción resultante es conocida como una vibración a la cámara de tinta, dentro de la boquilla. Luego la vibración es transferida al chorro de tinta presurizada haciendo que



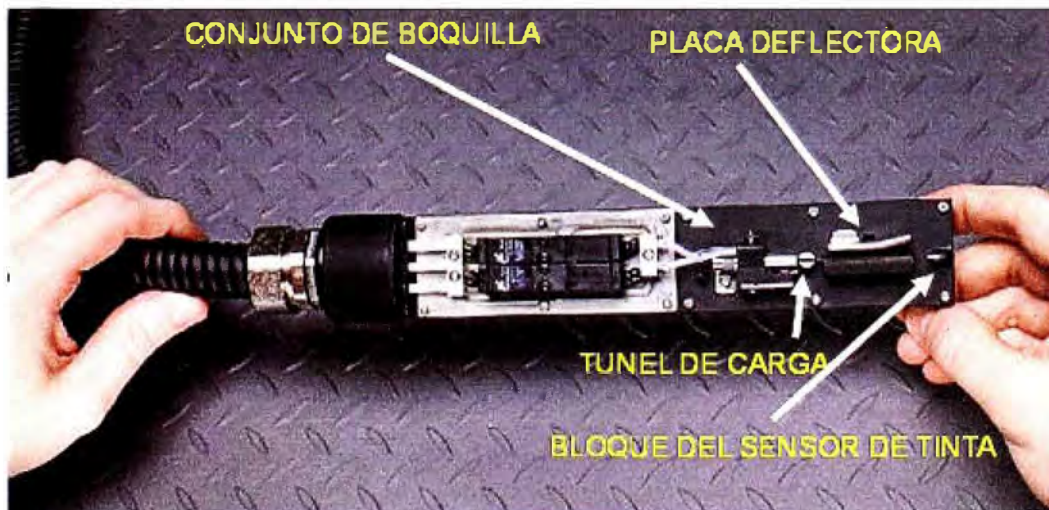
este se desprenda en gotas uniformes, las cuales se forman después que el chorro sale del orificio de la boquilla e ingresa al túnel de carga.



**Figura 1.3** Separación de la gota [1]

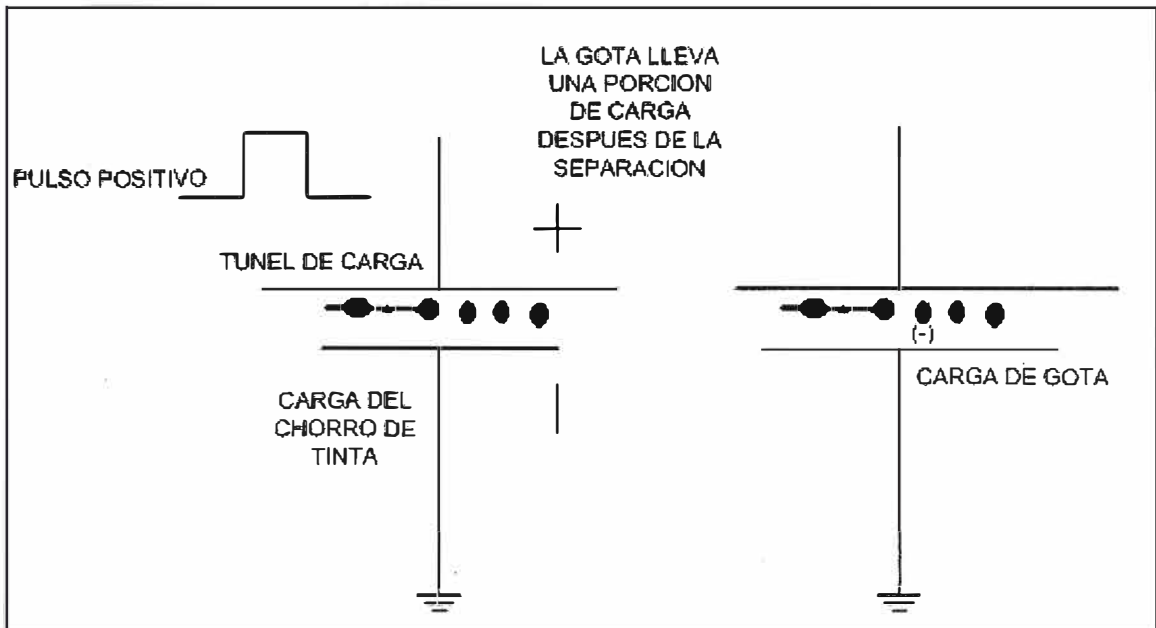
### 1.2.2 Efecto electrostático

El túnel de carga consiste en un electrodo en línea que carga electrostáticamente las gotas para la impresión. Justo antes de formarse la gota, se aplica un pulso eléctrico positivo al túnel de carga a la misma frecuencia ultrasónica que la señal que va hacia la boquilla (Figura 1.4). Este impulso positivo induce una carga negativa en la gota a medida que se forma en el túnel de carga.



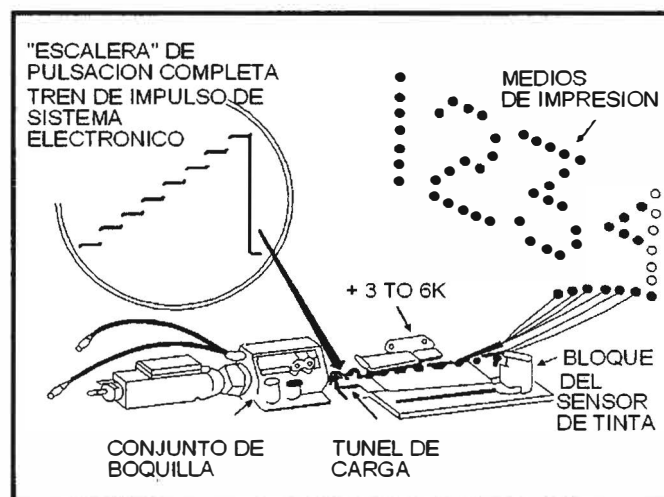
**Figura 1.4** Partes del cabezal de impresión (boquilla) [13]

La carga de gotas puede compararse a la carga del capacitor (Figura 1.5). El túnel de carga representa a la placa positiva del capacitor. El chorro de tinta conductiva representa la placa negativa. A medida que la gota se separa, esta lleva una porción de carga negativa. A pesar que en el túnel de carga hay muchas gotas, el impulso positivo en el túnel produce una carga negativa proporcional solo en la gota que se separa en un momento determinado. Esto permite controlar individualmente cada gota.



**Figura 1.5** Túnel de carga como capacitor [1]

Corriente abajo, cada gota cargada es reflectada por el campo eléctrico fijo de la placa deflectora, modificando así su trayectoria hacia la superficie de impresión (Figura 1.6). Las gotas que reciben una carga negativa mayor, debido a un impulso positivo más grande en el túnel de carga durante la separación, serán deflectadas más que las gotas que reciben una menos carga, por lo cual se controla con mayor precisión la trayectoria de las gotas y el patrón de contactos resultante sobre la superficie de impresión.



**Figura 1.6** Deflexión de la gota en el cabezal de impresión [1]

Las gotas no cargadas suponen una trayectoria recta hacia la línea de retorno y son devueltas al módulo de tinta. El aspecto de los caracteres se forma con pulsaciones verticales sucesivas que se sincronizan con el movimiento de la superficie de impresión para lograr una alineación vertical.

Cuando se usa una fuente de matriz 5 x 7 cada carácter está formado por cinco pulsaciones verticales de hasta siete gotas cada una. Los espacios entre caracteres resultan de los circuitos electrónicos que omiten automáticamente un intervalo de

pulsación. A otras fuentes de matriz se acceden según los requerimientos de velocidad y tamaño. Sin embargo, la técnica de construcción es la misma.

La cantidad de carga aplicada a cada gota depende de la posición donde estará esa gota en la superficie de impresión. Las gotas que se encuentran sobre el carácter de mensaje, reciben una mayor carga que las gotas que se encuentran debajo de un carácter.

La tarjeta de control maneja la cantidad de carga colocada en cada gota. Existen niveles de carga previamente determinados para todos los caracteres de impresión posibles. De esta forma, cuando se ingresa un mensaje, la tarjeta calcula automáticamente la carga de cada gota en el código.

Luego de pasar a través del túnel de carga, el chorro de tinta ingresa al campo electrostático de la placa deflectora de alta tensión, donde cada gota cargada es reflectada desde su trayectoria. Esta deflexión modifica la trayectoria de la gota cuando es lanzada hacia la superficie de impresión (Figura 1.6).

La deflexión es, en realidad, una atracción a la carga positiva de la placa deflectora. Como las cargas opuestas se atraen, las gotas con carga negativa entran en contacto con la carga positiva fuerte en la placa deflectora.

Las gotas que reciben una carga negativa mayor, debido a un mayor impulso positivo en el túnel de carga durante el proceso de separación, son deflactadas más que las gotas que reciben una carga negativa inferior. Tal como se explicó el patrón de goteo cuando la tinta entra en contacto con la superficie de impresión.

Las gotas sin carga no son deflactadas y mantienen una trayectoria recta en la línea de retorno. La fuerza de vacío hace regresar la tinta no usada al módulo, donde es nuevamente reciclada a través del sistema.

La Figura 1.6 se muestra la deflexión de las gotas y la formación de caracteres. La figura de los caracteres se forma mediante exploraciones verticales sucesivas, las que se colocan sobre el producto en sincronización con el movimiento de la superficie de impresión. Esto permite obtener un código claro sin distorsiones.

En una fuente de matriz 5 x 7, cada carácter es formado por cinco exploraciones verticales de hasta siete gotas cada uno. Los espacios entre caracteres resultan del circuito electrónico que omite automáticamente un intervalo de exploración. El método de impresión es similar para todas las demás matrices de caracteres.

### **1.2.3 Efectos de la presión**

La única variable verdadera en el proceso de impresión que esta fuera del control del operador, es la amplitud del impulso en el túnel de carga. Cabe recordar que este voltaje es previamente determinado por la tarjeta de control. Sin embargo, los cambios en la



presión interna de la tinta pueden también afectar sobre la formación de los caracteres.

La presión de tinta, que es la presión que expulsa la tinta del cabezal de impresión, determina la velocidad a la cual se desplaza la tinta a través de los componentes del cabezal de impresión.

La impresión de tinta es controlada por el regulador de presión de tinta y nunca debe ajustarse durante la operación normal. Sin embargo, una mayor presión podría producir caracteres más pequeños debido a que las gotas se mueven más rápido, permaneciendo menos tiempo en el campo de la placa deflectora. De manera similar, una disminución en la presión de tinta podría producir una impresión con caracteres más grandes debido a que las gotas más lentas son reflejadas fuera de su trayectoria calculada por el sistema para valores normales.

Se debe observar que el ajuste de la presión también afecta directamente al tiempo de flujo, el cual es la cantidad de tiempo que toma para vaciar el cilindro de suministro de tinta. Por lo tanto, el cambio arbitrario de la presión de tinta afectara sobre la operación de la impresora. No ajustar la presión de tinta para cambiar la altura de los caracteres. Más bien el ajuste de la alta tensión permite cambiar el tamaño de los caracteres de manera más precisa.

#### **1.2.4 Control**

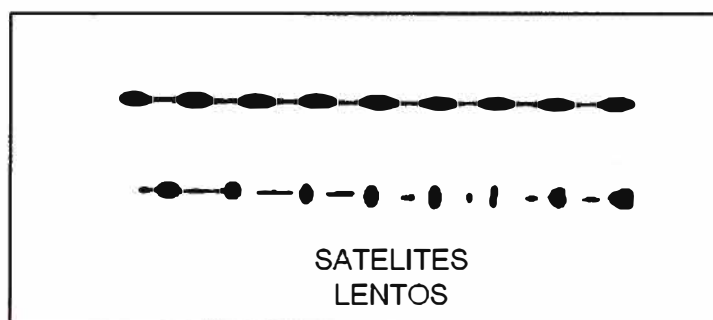
Para controlar el chorro de tinta se usan dos ajustes diferentes en la impresora, como la presión de tinta y el control de boquilla. Estos ajustes se realizan durante la instalación inicial, después de cambiar los tipos de tita y mantener ciertos componentes de la impresora.

Tal como se mencionó anteriormente, la presión de tinta controla la velocidad del chorro de tinta y consecuentemente, la calidad de impresión. Cabe recordar que el ajuste de la impresión de tinta afecta directamente sobre el tiempo de flujo. Una vez realizado el ajuste inicial, este debe quedar solo hasta volver a calibrar la impresora.

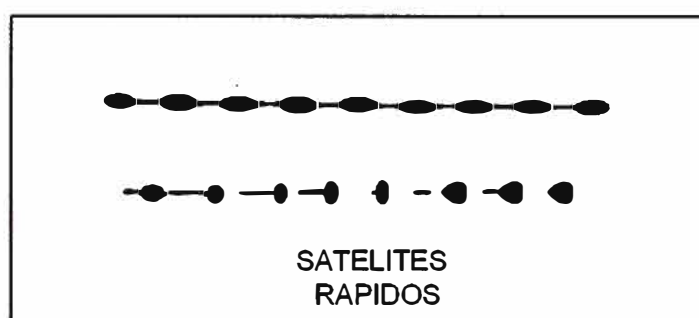
El ajuste del control de boquilla compensa las variaciones en la sensibilidad del cristal y la viscosidad de la tinta. Al modificar el ajuste del control de la boquilla a través del teclado, se cambia la posición de la gota y su separación dentro del túnel de carga. Este ajuste es muy preciso, por lo que debe ser efectuado con una lupa. Un estrobo LED, ubicado debajo del túnel de carga, permite al operador usar la lupa y ver el chorro de tinta como si estuviera detenido.

Las Figuras 1.7 hasta la 1.9 muestran los efectos de cambiar el ajuste del control de la boquilla. Al ajustar el control desde el teclado, se incrementa el voltaje aplicado a los cristales en la boquilla. A medida que se avanza el control de la boquilla desde el mínimo, el chorro de tinta cambia de un chorro sólido sin ondulaciones a un chorro con una

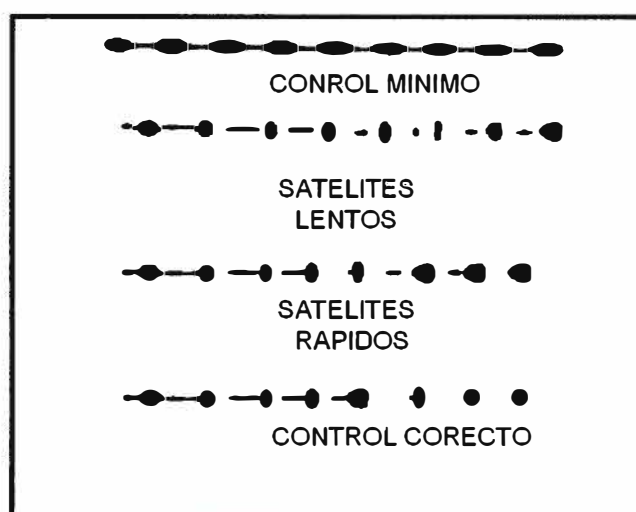
separación de gotas y gotas individuales. El nivel de tensión real aplicado a la boquilla no viene al caso, ya que varía según el tipo de tinta usado y a la sensibilidad del cristal



**Figura 1.7** Separación lenta [1]



**Figura 1.8** Separación rápida [1]



**Figura 1.9** Separación correcta [1]

Una correcta separación de las gotas debería ser similar a lo mostrado en la figura 1.9. Se observa en este ejemplo que la cola de la gota se separa y forma una gota independientemente más pequeña llamada "satélite". Cuando se ajusta correctamente, el satélite es atrapado y se fusiona con la gota pariente dentro de las cinco primeras gotas adicionales.

Si se deja que el satélite se arrastre y se fusione con la siguiente gota, se producirá una distribución errática de la carga, debido a que el satélite llevará una parte de la carga de la gota pariente. Esto distorsionara la impresión debido a que ambas gotas son reflejadas incorrectamente. Esta situación normalmente es producida por un ajuste

excesivo del control de la boquilla. La mayor parte de las tintas no producen una situación de satélites separados, sino que más bien la cola permanece acoplada.

### **1.3 Motor paso a paso**

Para el desarrollo del presente trabajo se tiene por objeto dar a conocer los principios básicos de funcionamiento de este tipo de motores, sus características constructivas y las formas básicas de hacer funcionar los motores por medio de dispositivos microcontroladores. La presente sección está dividida en los siguientes ítems:

1. Aspectos generales
2. Principio de funcionamiento
3. Tipos
4. Parámetros
5. Control
6. Secuencia del circuito de control

#### **1.3.1 Aspectos generales**

Cuando lo deseado es posicionamiento con un elevado grado de exactitud y/o una muy buena regulación de la velocidad, se puede contar con una gran solución, utilizar un motor paso a paso [3].

Un motor de pasos es un dispositivo electromecánico que convierte pulsos eléctricos en los movimientos mecánicos discretos. El eje o el huso de un motor de pasos rota en incrementos discretos del paso cuando los pulsos eléctricos del comando se aplican a él en la secuencia apropiada.

La rotación de los motores tiene varias relaciones directas a estos pulsos aplicados de la entrada. La secuencia de los pulsos aplicados se relaciona directamente con la dirección de la rotación de los ejes del motor.

La velocidad de la rotación de los ejes del motor se relaciona directamente con la frecuencia de los pulsos de la entrada y la longitud de la rotación se relaciona directamente con el número de los pulsos de la entrada aplicados.

Sus principales aplicaciones se pueden encontrar en robótica, tecnología aeroespacial, control de discos duros, flexibles, unidades de CD-ROM o de DVD e impresoras, en sistemas informáticos, manipulación y posicionamiento de herramientas y piezas en general.

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

Estos motores poseen la habilidad de poder quedar enclavados en una posición o

bien totalmente libres. Si una o más de sus bobinas están energizadas, el motor estará enclavado en la posición correspondiente y por el contrario quedará completamente libre si no circula corriente por ninguna de sus bobinas.

El motor paso a paso está constituido esencialmente por dos partes: a) el estator y b) el rotor

#### a. Estator

Una fija llamada "estator", construida a base de cavidades en las que van depositadas las bobinas que excitadas convenientemente formarán los polos norte-sur de forma que se cree un campo magnético giratorio. (Figura 1.10)

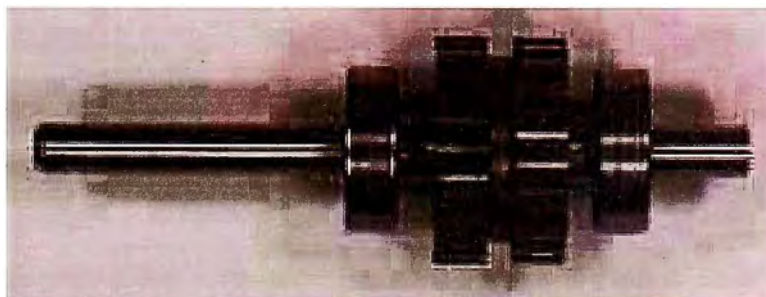


**Figura 1.10** Estator [2]

#### b. Rotor

Una móvil, llamada "rotor" construida mediante un imán permanente, con el mismo número de pares de polos, que el contenido en una sección de la bobina del estator; este conjunto va montado sobre un eje soportado por dos cojinetes que le permiten girar libremente. Esto se puede ver en la Figura 1.11.

Si por el medio que sea, conseguimos excitar el estator creando los polos N-S, y hacemos variar dicha excitación de modo que el campo magnético formado efectúe un movimiento giratorio, la respuesta del rotor será seguir el movimiento de dicho campo, produciéndose de este modo el giro del motor.



**Figura 1.11** Rotor [2]

Puede decirse por tanto que un motor paso a paso es un elemento que transforma impulsos eléctricos en movimientos de giro controlados, ya que se podrá hacer girar al motor en el sentido que deseemos y el número de vueltas y grados que necesitemos.

### 1.3.2 Principio de funcionamiento

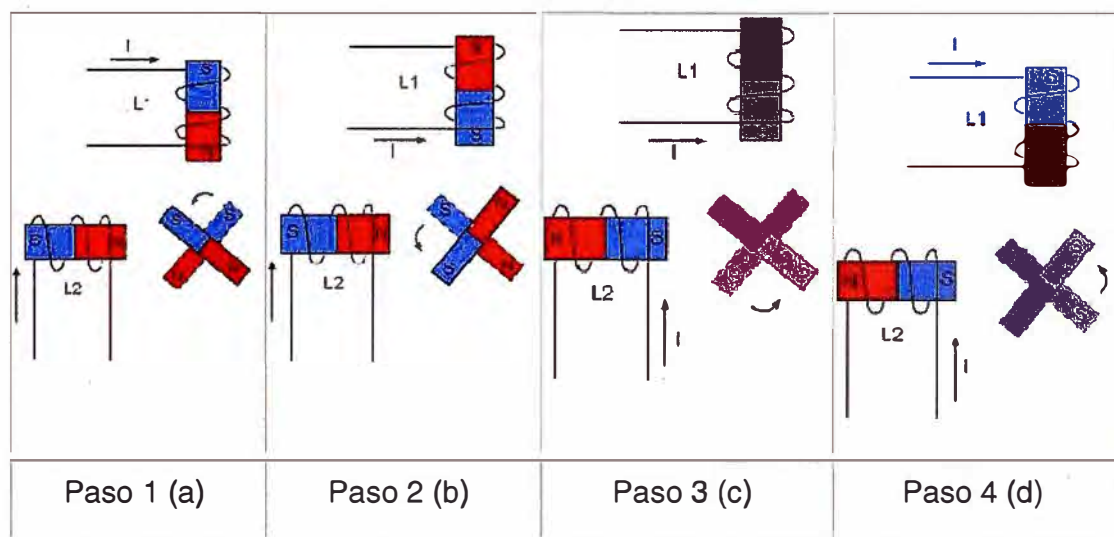
Los motores eléctricos, en general, basan su funcionamiento en las fuerzas ejercidas por un campo electromagnético y creadas al hacer circular una corriente eléctrica a través de una o varias bobinas.

Si dicha bobina, generalmente circular y denominada estator, se mantiene en una posición mecánica fija y en su interior, bajo la influencia del campo electromagnético, se coloca otra bobina, llamada rotor, recorrida por una corriente y capaz de girar sobre su eje, esta última tenderá a buscar la posición de equilibrio magnético, es decir, orientará sus polos NORTE-SUR hacia los polos SUR-NORTE del estator, respectivamente.

Cuando el rotor alcanza esta posición de equilibrio, el estator cambia la orientación de sus polos, aquel tratará de buscar la nueva posición de equilibrio; manteniendo dicha situación de manera continuada, se conseguirá un movimiento giratorio y continuo del rotor y a la vez la transformación de una energía eléctrica en otra mecánica en forma de movimiento circular.

Aún basado en el mismo fenómeno, el principio de funcionamiento de los motores de corriente continua, los motores paso a paso son más sencillos si cabe, que cualquier otro tipo de motor eléctrico.

La figura 1.12 intenta ilustrar el modo de funcionamiento de un motor paso a paso, Suponemos que las bobinas L1 como L2 poseen un núcleo de hierro dulce capaz de imantarse cuando dichas bobinas sean recorridas por una corriente eléctrica. Por otra parte el imán M puede girar libremente sobre el eje de sujeción central.



**Figura 1.12** Funcionamiento de motor paso a paso [2]

Una forma de conseguir motores Paso a Paso de paso más reducido, es la de aumentar el número de bobinas del estator, pero ello llevaría a un aumento del coste y del volumen y a pérdidas muy considerable en el rendimiento del motor, por lo que esta situación no es viable.

Hasta ahora y para conseguir la solución más idónea, se recurre a la mecanización de los núcleos de las bobinas y el rotor en forma de hendiduras o dientes, creándose así micro polos magnéticos, tantos como dientes y estableciendo las situaciones de equilibrio magnéticos con avances angulares mucho menores, siendo posible conseguir motores de hasta de 500 pasos.

### 1.3.3 Tipos de motores

Existen dos tipos de clasificaciones:

- a) Bipolares y unipolares
- b) Según su construcción: reluctancia variable, magneto permanente, e híbridos

#### a. Bipolares y unipolares

Es la clasificación básica de los motores Paso a Paso, 1) los bipolares, que se componen de dos bobinas y 2) los unipolares, que tienen cuatro bobinas. Externamente se diferencian entre sí por el número de cables.

Los bipolares solo tienen cuatro conexiones dos para cada bobina y los unipolares que normalmente presentan seis cables, dos para cada bobina y otro para alimentación de cada par de éstas, aunque en algunos casos podemos encontrar motores unipolares con cinco cables, básicamente es lo mismo, solo que el cable de alimentación es común para los dos pares de bobinas.

#### a.1 Motores unipolares

En este tipo de motores, todas las bobinas del estator están conectadas en serie formando cuatro grupos. Esta a su vez, se conectan dos a dos, también en serie, y se montan sobre dos estatores diferentes, tal y como se aprecia en la (Figura 1.13). Según puede apreciarse en dicha figura, del motor paso a paso salen dos grupos de tres cables, uno de los cuales es común a dos bobinados.

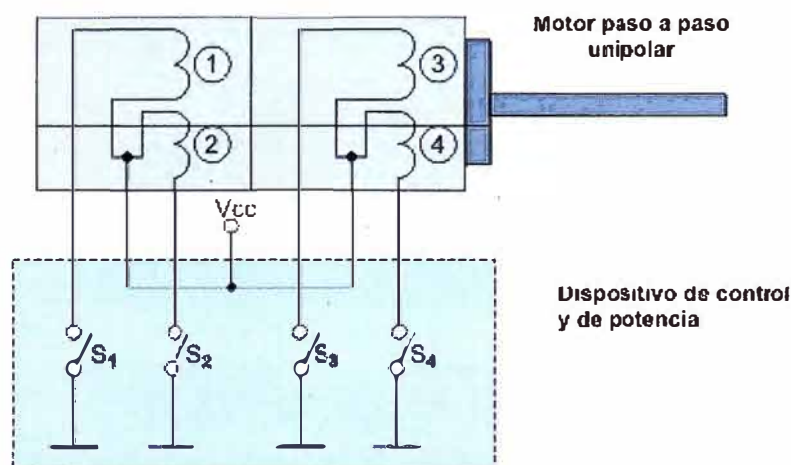


Figura 1.13 Conexión de motor unipolar [3]

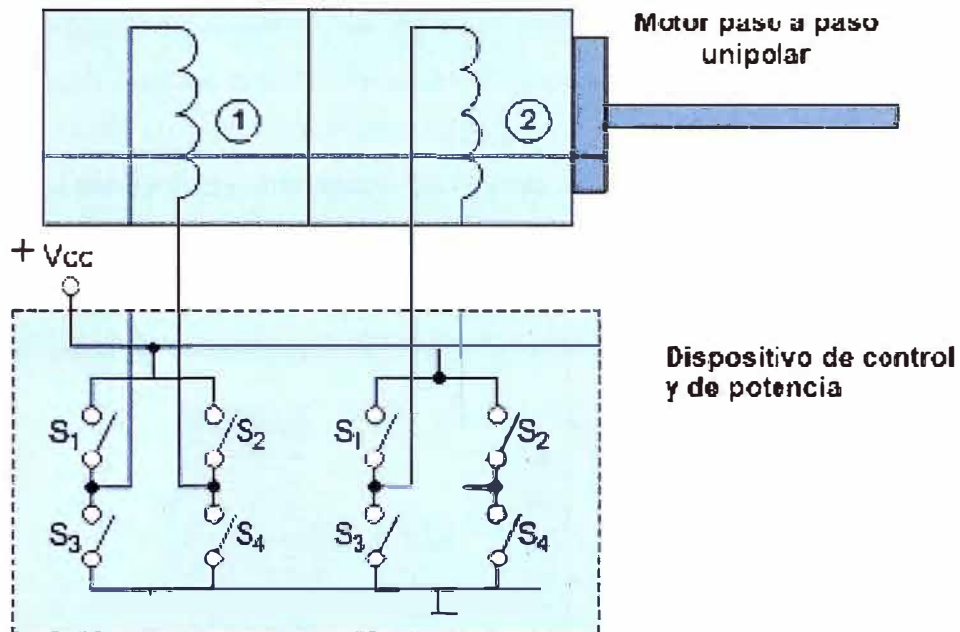
Los seis terminales que parten del motor, deben ser conectados al circuito de control, el cual, se comporta como cuatro conmutadores electrónicos que, al ser activados o



desactivados, producen la alimentación de los cuatro grupos de bobinas con que está formado el estator. Si se genera una secuencia adecuada de funcionamiento de estos interruptores, se pueden producir saltos de un paso en el número y sentido que se desee.

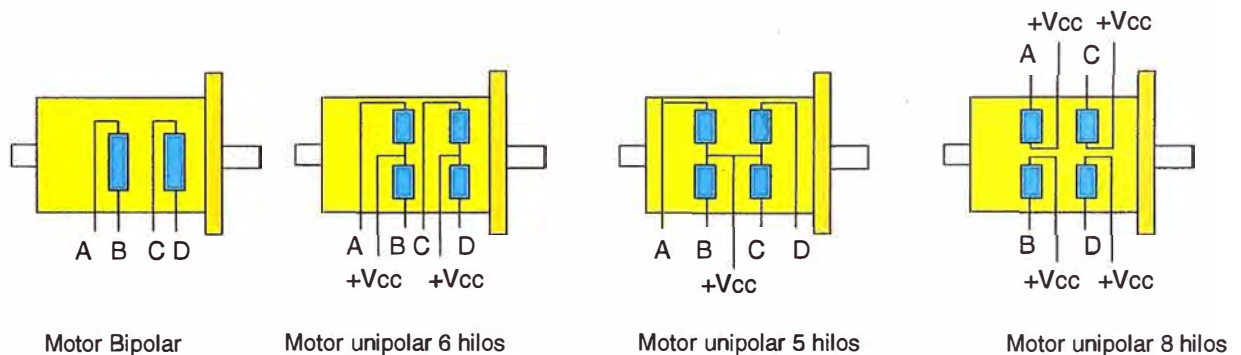
### a.2 Motores Bipolares

En este tipo de motores las bobinas del estator se conectan en serie formando solamente dos grupos, que se montan sobre dos estatores, tal y como se muestra en la (Figura 1.14).



**Figura 1.14** Conexión de motor bipolar [3]

Según se observa en el esquema de este motor salen cuatro hilos que se conectan, al circuito de control, que realiza la función de cuatro interruptores electrónicos dobles, que permiten variar la polaridad de la alimentación de las bobinas. Con la activación y desactivación adecuada de dichos interruptores dobles, podemos obtener las secuencias adecuadas para que el motor pueda girar en un sentido o en otro.



**Figura 1.15** Tipos de bobinados [3]

La existencia de varios bobinados en el estator de los motores de imán permanente, da lugar a varias formas de agrupar dichos bobinados, para que sean alimentados adecuadamente, (Figura 1.15).

## b. Según su construcción

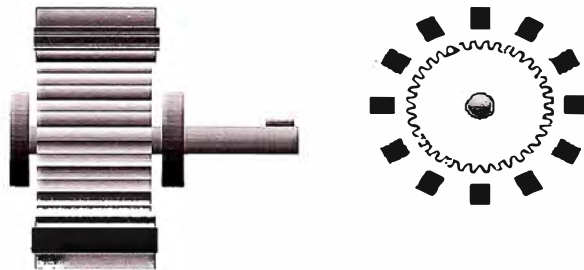
Desde el punto de vista de su construcción existen los siguientes tipos de motores paso a paso: 1) De reluctancia variable, 2) De magneto permanente, e 3) híbridos.

### b.1 De reluctancia variable (V.R.)

Los motores de este tipo poseen un rotor de hierro dulce que en condiciones de excitación del estator y bajo la acción de su campo magnético, ofrecen menor resistencia a ser atravesado por su flujo en la posición de equilibrio.

Su mecanización es similar a los de imán permanente y su principal inconveniente radica en que en condiciones de reposos (sin excitación) el rotor queda en libertad de girar y, por lo tanto, su posicionamiento de régimen de carga dependerá de su inercia y no será posible predecir el punto exacto de reposo.

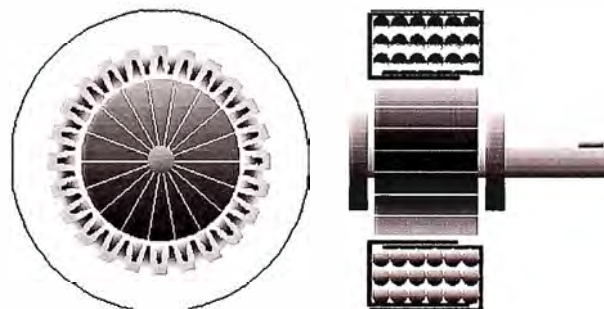
El tipo de motor de reluctancia variable o V.R. (Fig. 1.16) consiste en un rotor y un estator cada uno con un número diferente de dientes. Ya que el rotor no dispone de un magneto permanente el mismo gira libremente, o sea que no tiene torque de detención.



**Figura 1.16** Vista de sección de un motor por pasos de reluctancia variable [2]

### b.2 De magneto Permanente

Es el modelo en el que rotor es un imán permanente en el que se mecanizan un número de dientes limitado por su estructura física. Ofrece como principal ventaja que su posicionamiento no varía aún sin excitación y en régimen de carga.



**Figura 1.17** Vista en sección de un magneto permanente [2]

El motor de magneto permanente (PM) o tipo enlatado (Figura 1.17) es quizá el motor por pasos más ampliamente usado para aplicaciones no industriales. En su forma más simple, el motor consiste en un rotor magneto permanentemente magnetizado radial y en un estator similar al motor V.R. Debido a las técnicas de manufactura usadas en la construcción del estator, los mismos se conocen a veces como motores de “polo de uñas

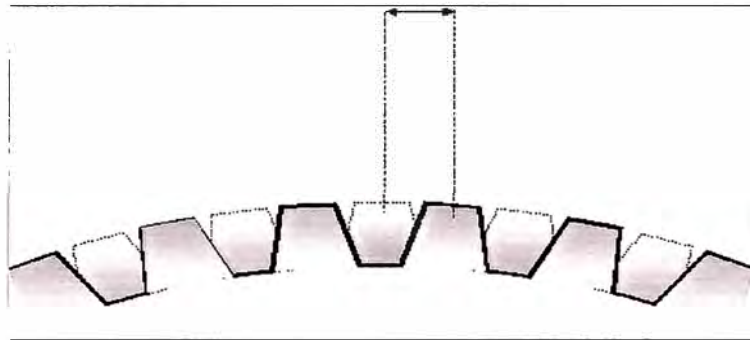


“o “claw pole” en Inglés.

### b.3 Híbridos

Son combinación de los dos tipos anteriores; el rotor suele estar constituido por anillos de acero dulce dentado en un número ligeramente distinto al del estator y dichos anillos montados sobre un imán permanente dispuesto axialmente.

El tipo Híbrido es probablemente el más usado de todos los motores por pasos. Originalmente desarrollado como un motor PM sincrónico de baja velocidad su construcción es una combinación de los diseños V.R. y P.M. El motor Híbrido consiste en un estator dentado y un rotor de tres partes (apilado simple).



**Figura 1.18** Salto de diente [2]

El rotor de apilado simple contiene dos piezas de polos separados por un imán permanente magnetizado, con los dientes opuestos desplazados en una mitad de un salto de diente (Figura 1.18) para permitir una alta resolución de pasos.

#### 1.3.4 Parámetros

Desde el punto de vista mecánico y eléctrico, es conveniente conocer el significado de algunas de las principales características y parámetros que se definen sobre un motor paso a paso:

- a) Par dinámico de trabajo
- b) Par de mantenimiento
- c) Par de detención
- d) Ángulo de paso
- e) Número de pasos por vuelta
- f) Frecuencia de paso máximo
- g) Momento de inercia del rotor

#### a. Par dinámico de trabajo (Working Torque)

Depende de sus características dinámicas y es el momento máximo que el motor es capaz de desarrollar sin perder paso, es decir, sin dejar de responder a algún impulso de excitación del estator y dependiendo, evidentemente, de la carga.

Generalmente se ofrecen, por parte del fabricante, curvas denominadas de arranque sin error (pull-in) y que relaciona el par en función el número de pasos.

Hay que tener en cuenta que, cuando la velocidad de giro del motor aumenta, se produce un aumento de la f.c.e.m. en él generada y, por tanto, una disminución de la corriente absorbida por los bobinados del estator, como consecuencia de todo ello, disminuye el par motor.

### b. Par de mantenimiento (Holding Torque)

Es el par requerido para desviar, en régimen de excitación, un paso el rotor cuando la posición anterior es estable; es mayor que el par dinámico y actúa como freno para mantener el rotor en una posición estable dada. Se expresados en mili Newton por metro.

### c. Par de detención (Detention Torque)

Es una par de freno que siendo propio de los motores de imán permanente, es debida a la acción del rotor cuando los devanados del estator están desactivados. Se expresa en mili Newton por metro.

**Tabla 1.1** Pasos de ángulo más importantes

Grados por impulso de excitación	Nº de pasos por vuelta
0,72°	500
1,8°	200
3,75°	96
7,5°	48
15°	24

### d. Angulo de paso (Step angle)

Se define como el avance angular que se produce en el motor por cada impulso de excitación. Se mide en grados. Los pasos estándar más importantes son mostrados en la Tabla 1.1.

### e. Número de pasos por vuelta

Es la cantidad de pasos que ha de efectuar el rotor para realizar una revolución completa; evidentemente. Se expresa según la fórmula 1.1.

$$NP = \frac{360}{\alpha} \quad (1.1)$$

Donde:

NP es el número de pasos

$\alpha$  el ángulo de paso.

### f. Frecuencia de paso máximo (Maximum pull-in/out)

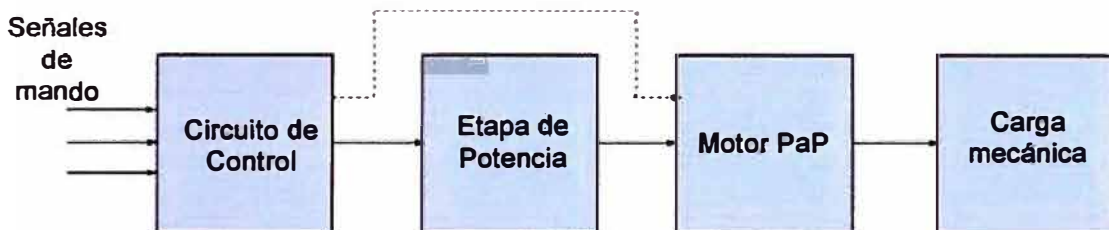
Se define como el máximo número de pasos por segundo que puede recibir el motor funcionando adecuadamente.

### g. Momento de inercia del rotor

Esto corresponde al momento de inercia asociado el cual es expresado en gramos por centímetro cuadrado.

### 1.3.5 Control

Para realizar el control de los motores paso a paso, es necesario generar una secuencia determinada de impulsos. Además es necesario que estos impulsos sean capaces de entregar la corriente necesaria para que las bobinas del motor se exciten, por lo general, el diagrama de bloques de un sistema con motores paso a paso es el que se muestra en la Figura 1.19



**Figura 1.19** Diagrama de bloques de un sistema con motor paso a paso [3]

### 1.3.6 Secuencia del circuito de control

Existen dos formas básicas de hacer funcional los motores paso a paso atendiendo al avance del rotor bajo cada impulso de excitación: a) Paso completo y b) Medio paso

#### a. Paso completo (full step)

El rotor avanza un paso completo por cada pulso de excitación y para ello su secuencia ha de ser la correspondiente a la expuesta anteriormente, para un motor como el de la Figura 1.13, y que es presentada de forma resumida en la Tabla 1.2 para ambos sentidos de giro, las X indican los interruptores que deben estar cerrados (interruptores en ON), mientras que la ausencia de X indica interruptor abierto (interruptores en OFF).

**Tabla 1.2** Secuencia de excitación de un motor paso a paso completo

Sentido horario (a)					Sentido antihorario (b)				
Paso	S1	S2	S3	S4	Paso	S1	S2	S3	S4
1	X			X	1	X	X		
2			X	X	2		X	X	
3		X	X		3			X	X
4	X	X			4	X			X
1	X			X	1	X	X		

#### b. Medio paso (Half step):

Con este modo de funcionamiento el rotor avanza medio paso por cada pulso de excitación, presentando como principal ventaja una mayor resolución de paso, ya que disminuye el avance angular (la mitad que en el modo de paso completo).

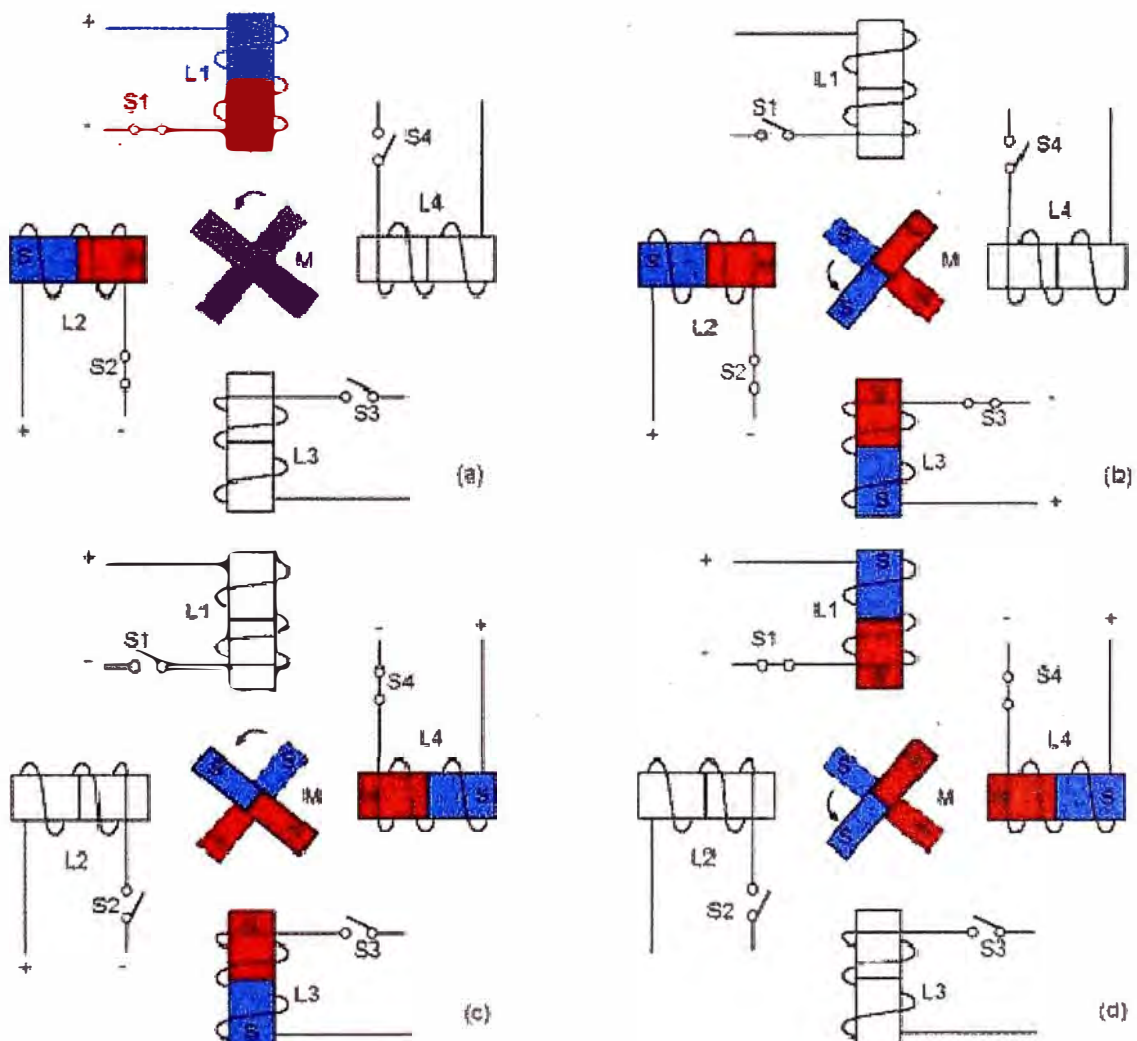
Para conseguir tal cometido, el modo de excitación consiste en hacerlo alternativamente sobre dos bobinas y sobre una sola de ellas, según se muestra en la Tabla 1.3 para ambos sentidos de giro.

**Tabla 1.3** Secuencia de excitación de un motor Paso a Paso en medio paso

Sentido horario (a)				
Paso	Excitación de Bobinas			
	S1	S2	S3	S4
1	X			X
2				X
3			X	X
4			X	
5		X	X	
6		X		
7	X	X		
8	X			
1	X			X

Sentido antihorario (b)				
Paso	Excitación de Bobinas			
	S1	S2	S3	S4
1	X	X		
2		X		
3		X	X	
4			X	
5			X	X
6				X
7	X			X
8	X			
1	X	X		

Según la Figura 1.13, al excitar dos bobinas consecutivas del estator simultáneamente, el rotor se alinea con la bisectriz de ambos campos magnéticos; cuando desaparece la excitación de una de ellas, extinguiéndose el campo magnético inducido por dicha bobina, el rotor queda bajo la acción del único campo existente, dando lugar a un desplazamiento mitad.



**Figura 1.20** Principio básico de un motor unipolar de cuatro fases [3]

Por ejemplo, la secuencia presentada en la Tabla 1.3 en el paso 1, y excitadas las bobinas L1 y L2 de la Figura 1.20 mediante la acción de S1 y S2, el rotor se situaría en la posición indicada en la Figura 1.20 a; en el paso 2, S1 se abre, con lo que solamente permanece excitada L2 y el rotor girará hasta alinear su polo sur con el norte generado por L2. Supuesto que este motor tenía un paso de 90 grados, en este caso sólo ha avanzado 45 grados. Posteriormente, y en el paso 3, se cierra S3, situación representada en la Figura 1.20 b, con lo que el rotor ha vuelto a avanzar otros 45 grados. En definitiva, los desplazamientos, siguiendo dicha secuencia, son de medio paso.

La forma de conseguir estas secuencias puede ser a través de un circuito lógico secuencial, con circuitos especializados o con un microcontrolador.

## 1.4 Sensores

Un sensor es un dispositivo capaz de medir magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, pH, etc. [5].

Una magnitud eléctrica puede ser una resistencia eléctrica (como en una RTD), una capacidad eléctrica (como en un sensor de humedad), una Tensión eléctrica (como en un termopar), una corriente eléctrica (como en un fototransistor), etc.

Un sensor se diferencia de un transductor en que el sensor está siempre en contacto con la variable de instrumentación se puede decirse también que es un dispositivo que aprovecha una de sus propiedades con el fin de adaptar la señal que mide para que la pueda interpretar otro dispositivo. Ejemplo, el termómetro de mercurio que aprovecha la propiedad que posee el mercurio de dilatarse o contraerse por la acción de la temperatura.

En esta sección se tratarán los siguientes aspectos:

1. Características
2. Sensor Inductivo
3. Estados de un sensor inductivo
4. Histéresis
5. Distancia de sensado
6. Sensores blindados y no blindados
7. Sensor de barrera

### 1.4.1 Características

Entre las características técnicas de un sensor destacan las siguientes:

- a) Rango de medida: Este concepto corresponde al dominio en la magnitud medida en el que puede aplicarse el sensor.

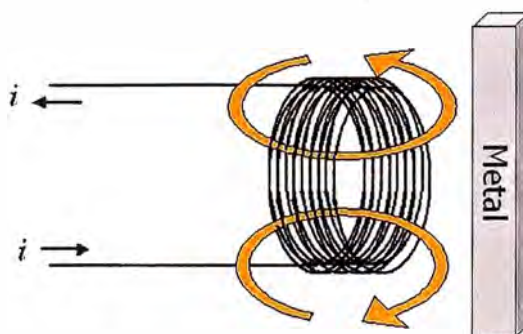
- b) Precisión: es el error de medida máximo esperado.
- c) Offset o desviación de cero: valor de la variable de salida cuando la variable de entrada es nula. Si el rango de medida no llega a valores nulos de la variable de entrada, habitualmente se establece otro punto de referencia para definir el offset.
- d) Linealidad o correlación lineal.
- e) Sensibilidad de un sensor: relación entre la variación de la magnitud de salida y la variación de la magnitud de entrada.
- f) Resolución: mínima variación de la magnitud de entrada que puede apreciarse a la salida.
- g) Rapidez de respuesta: puede ser un tiempo fijo o depender de cuánto varíe la magnitud a medir. Depende de la capacidad del sistema para seguir las variaciones de la magnitud de entrada.
- h) Derivas: son otras magnitudes, aparte de la medida como magnitud de entrada, que influyen en la variable de salida. Por ejemplo, pueden ser condiciones ambientales, como la humedad, la temperatura u otras como el envejecimiento (oxidación, desgaste, etc.) del sensor.
- i) Repetitividad: error esperado al repetir varias veces la misma medida.

Por lo general, la señal de salida de estos sensores no es apta para su lectura directa y a veces tampoco para su procesado. Por ello se usa un circuito de acondicionamiento, cómo por ejemplo un puente de Wheatstone, amplificadores y filtros electrónicos que adaptan la señal a los niveles apropiados para el resto del circuito.

#### 1.4.2 Sensor inductivo

Los sensores inductivos son una clase especial de sensores que sirven para detectar materiales metálicos ferrosos.

Los sensores de proximidad inductivos contienen un devanado interno. Cuando una corriente circula por el mismo, un campo magnético es generado, que tiene la dirección de las flechas naranjas (Figura 2.20). Cuando un metal es acercado al campo magnético generado por el sensor de proximidad, éste es detectado.

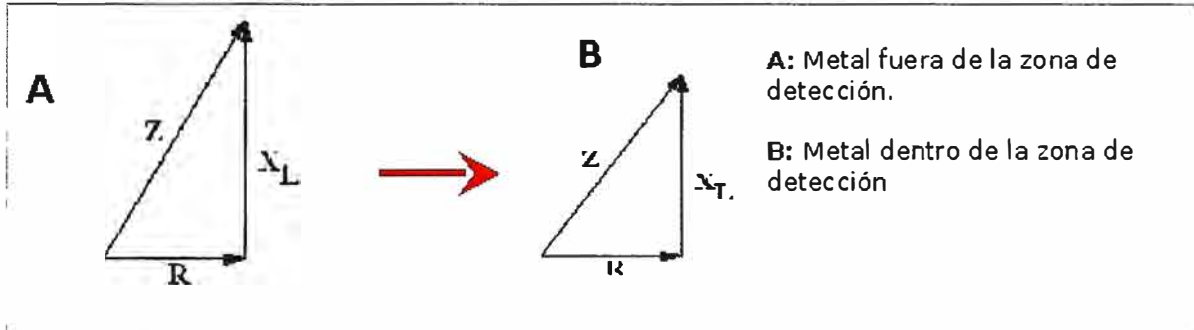


**Figura 1.21** Sensor Inductivo [5]

La bobina del sensor inductivo induce corrientes de Foucault en el material a detectar.



Estas, a su vez, generan un campo magnético que se opone al de la bobina del sensor, causando una reducción en la inductancia de la misma. Esta reducción en la inductancia de la bobina interna del sensor, trae aparejado una disminución en la impedancia de ésta. Ver Figura 1.22.



**Figura 1.22** Variación de la Impedancia [5]

La inductancia, es un valor intrínseco de las bobinas, que depende del diámetro de las espiras y el número de ellas. En sistemas de corriente alterna, la reactancia inductiva se opone al cambio del sentido de la corriente y se calcula de la siguiente manera. Ver Fórmula 1.2.

$$XL = 2\pi fL \quad (1.2)$$

Donde:

XL Reactancia Inductiva medida en Ohms ( $\Omega$ )

$\pi$  Constante Pi.

F Frecuencia del sistema medida en Hertz (Hz)

L Inductancia medida en Henrios (H)

En resumen, el circuito detector reconocerá el cambio en la impedancia de la bobina del sensor (Debido a las corrientes de Foucault inducidas en el objeto a detectar) y enviará una señal al amplificador de salida, el cual cambiará el estado de la misma. Cuando el metal a detectar es removido de la zona de detección, el oscilador podrá generar nuevamente el campo magnético con su amplitud normal. Es en este momento en que el circuito detector nuevamente detecta este cambio de impedancia y envía una señal al amplificador de salida para que sea éste quién, nuevamente, restituya el estado de la salida del sensor.

Si el sensor tiene una configuración "Normal Abierta", éste activará la salida cuando el metal a detectar ingrese a la zona de detección. Lo opuesto ocurre cuando el sensor tiene una configuración "Normal Cerrada" Estos cambios de estado son evaluados por unidades externas tales como: PLC, Relés, PC, etc.

### 1.4.3 Estados de un sensor inductivo

Los estados son tres: a) Objeto a detectar ausente, b) Objeto a detectar acercándose a la zona de detección, y c) Objeto a detectar se retira de la zona de detección. Figura 1.23.

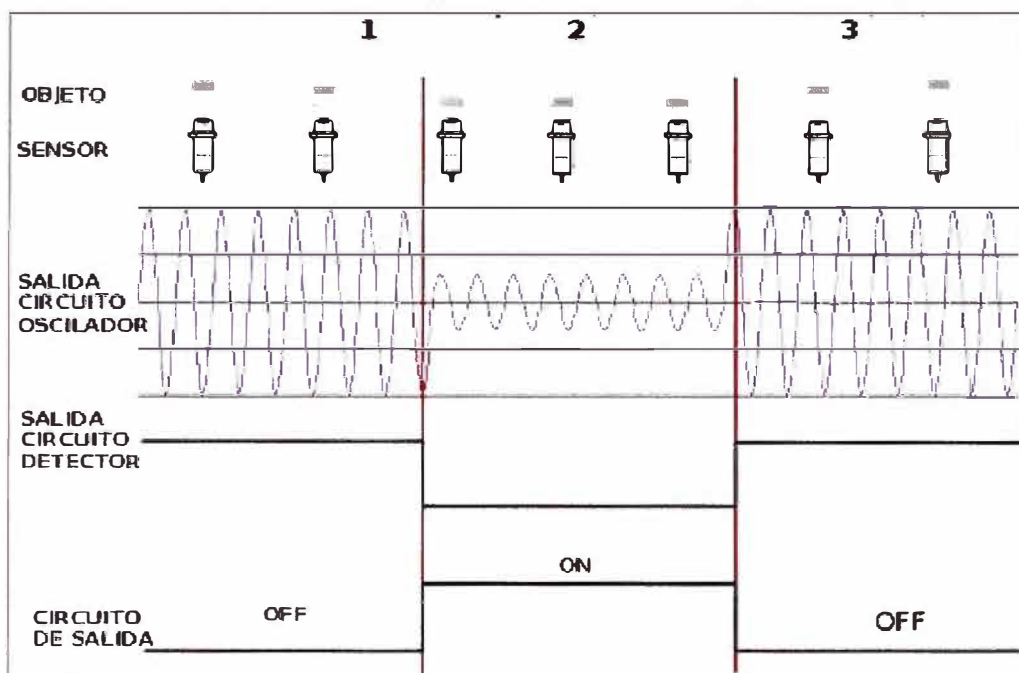


Figura 1.23 Variación de la Impedancia [6]

#### a. Objeto a detectar ausente

Amplitud de oscilación al máximo, sobre el nivel de operación. La salida se mantiene inactiva (OFF)

#### b. Objeto a detectar acercándose a la zona de detección

Se producen corrientes de Foucault -> "Transferencia de energía".

El circuito de detección detecta una disminución de la amplitud, la cual cae por debajo del nivel de operación. La salida es activada (ON)

#### c. Objeto a detectar se retira de la zona de detección

Eliminación de corrientes de Foucault. El circuito de detección detecta el incremento de la amplitud de oscilación. Como la salida alcanza el nivel de operación, la misma se desactiva (OFF).

#### 1.4.4 Histéresis

Se denomina histéresis a la diferencia entre la distancia de activación y desactivación. Cuando un objeto metálico se acerca al sensor inductivo, éste lo detecta a la "distancia de detección" o "distancia de sentido".

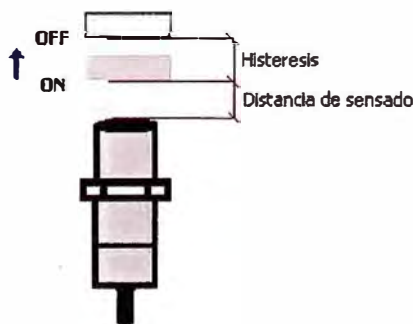


Figura 1.24 Distancia de sentido [5]

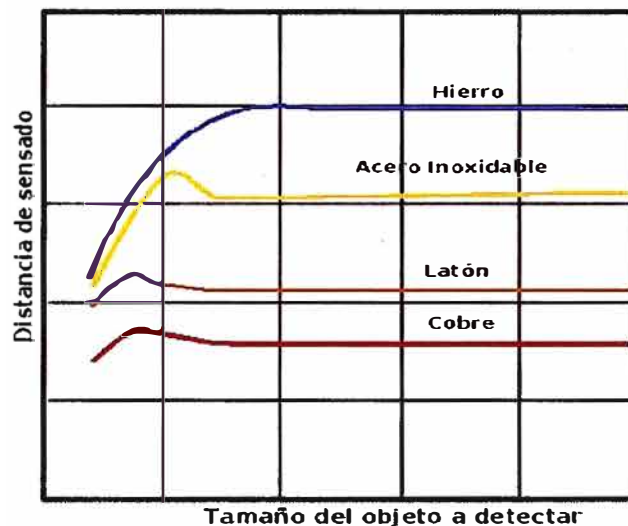


Cuando el mismo objeto es alejado, el sensor no lo deja de detectar inmediatamente, si no cuando alcanza la “distancia de reset”, que es igual a la “distancia de detección” más la histéresis propia del sensor. Ver Figura 1.24.

#### 1.4.5 Distancia de sensado

La distancia de sensado ( $S_n$ ) especificada en la hoja de datos de un sensor inductivo está basada en un objeto de estándar con medidas de 1"x1" de acero dulce. Este valor variará sensiblemente si se quiere detectar otros tipos de metales, aún materiales ferrosos como el acero inoxidable (SS) no ferrosos, como el aluminio, pueden ser detectados, pero a menores distancias.

En el siguiente gráfico (Figura 1.25) se puede ver como varía la distancia de detección en función del material a detectar y el tamaño del mismo.

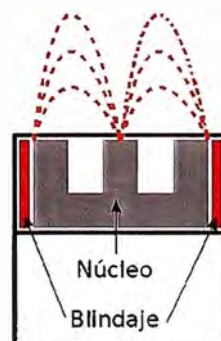


**Figura 1.25** Distancia de sensado en función del material [5]

#### 1.4.6 Sensores blindados y no blindados

Los blindados tienen un agregado al núcleo y un blindaje metálico que limita el campo magnético al frente del sensor (Figura 1.26). Se caracterizan por ser

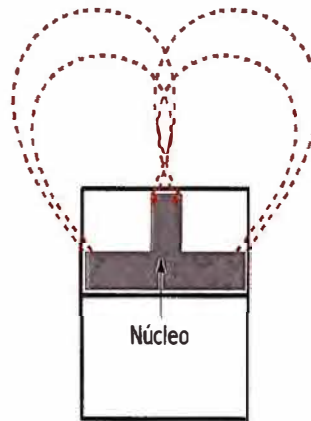
- i. Enrasables.
- ii. Especial para posicionamiento.
- iii. Distancias más cortas de detección.
- iv. Sensado limitado al frente del sensor.



**Figura 1.26** Esquema de sensor blindado [5]

Los no blindados no tienen blindaje extra, resultando en un área de sensado mayor (Figura 1.27). Se caracterizan por ser

- i. No enrasables.
- ii. Detección de presencia.
- iii. Distancias más grandes de detección.

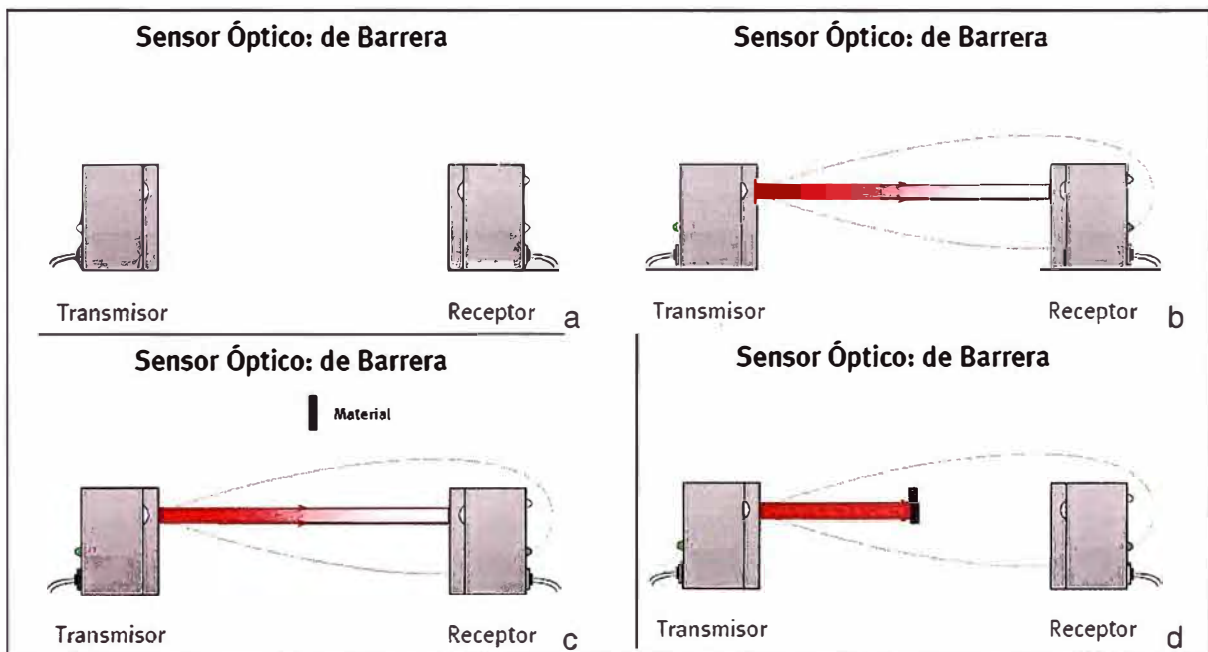


**Figura 1.27** Esquema de sensor blindado [5]

Los sensores blindados, al tener todo el cuerpo roscado son más resistentes a los golpes que los no blindados.

#### 1.4.7 Sensores infrarrojos de barrera

El sensor infrarrojo es un dispositivo electrónico capaz de medir la radiación electromagnética infrarroja de los cuerpos en su campo de visión. Todos los cuerpos reflejan una cierta cantidad de radiación, esta resulta invisible para nuestros ojos pero no para estos aparatos electrónicos, ya que se encuentran en el rango del espectro justo por debajo de la luz visible. Ver secuencia de funcionamiento en Figura 1.28.



**Figura 1.28** Secuencia de funcionamiento del sensor óptico de barrera [6]

El receptor de rayos infrarrojos suele ser un fototransistor o un fotodiodo. El circuito

de salida utiliza la señal del receptor para amplificarla y adaptarla a una salida que el sistema pueda entender. La señal enviada por el emisor puede ser codificada para distinguirla de otra y así identificar varios sensores a la vez.

Los sensores infrarrojos pueden ser (Figura 1.29): a) Sensor infrarrojo de barrera, b) Sensor auto réflex (difuso) y c) Sensor réflex.

#### a. Sensor infrarrojo de barrera

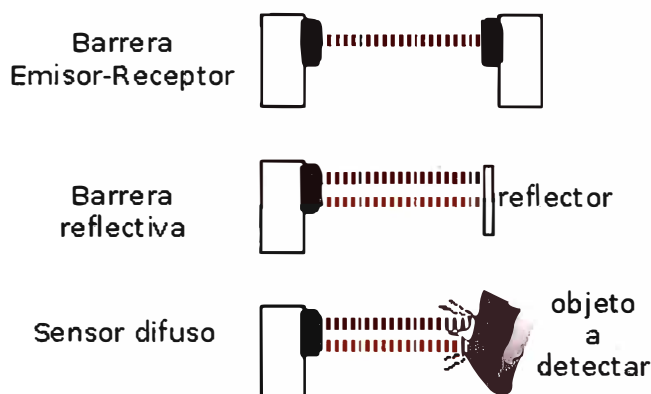
Las barreras tipo emisor-receptor están compuestas de dos partes, un componente que emite el haz de luz y otro componente que lo recibe. Se establece un área de detección donde el objeto a detectar es reconocido cuando el mismo interrumpe el haz de luz. Debido a que el modo de operación de ésta clase de sensores se basa en la interrupción del haz de luz, la detección no se ve afectada por el color, la textura o el brillo del objeto a detectar. Estos sensores operan de una manera precisa cuando el emisor y el receptor se encuentran alineados

#### b. Sensor auto réflex (difuso)

La luz infrarroja viaja en línea recta, en el momento en que un objeto se interpone el haz de luz rebota contra este y cambia la dirección permitiendo que la luz sea enviada al receptor y al elemento sea sentido. Un objeto de color negro no es detectado ya que este color absorbe la luz y el sensor no experimenta cambios.

#### c. Sensor réflex

Tiene el componente emisor y receptor en un solo cuerpo; el haz de luz se establece mediante la utilización de un reflector catadióptrico. El objeto es detectado cuando el haz formado entre el componente emisor, el reflector y el componente receptor es interrumpido. Debido a esto, la detección no es afectada por el color del mismo. La ventaja de las barreras réflex es que el cableado es en un solo lado a diferencia de las barreras emisor-receptor que es en ambos lados.



**Figura 1.29** Tipos de sensor óptico de barrera [6]

## **CAPÍTULO II**

### **DISEÑO DEL AUTOMATISMO**

En el presente capítulo se describe la ingeniería del proyecto. El análisis y dimensionamiento de la solución, el diseño de la solución, características técnicas del equipamiento utilizado.

#### **2.1 Análisis de la solución**

Para el objetivo del proyecto, el diseño e implementación un sistema de automatización de la impresión de carretes de hilo se toma en consideración ciertos requerimientos los cuales son enumerados a continuación

El sistema:

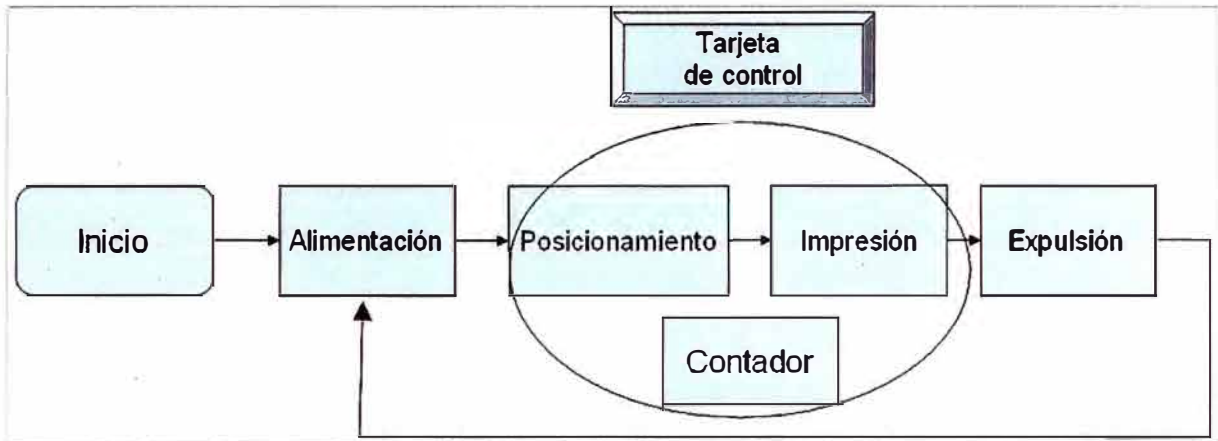
1. Debe imprimir en ambas bases del carrete, a) la marca del producto y b) el código del mismo.
2. Las impresiones deben ser simétricas, de tal manera que al rotar para ver las caras de impresión, la impresión se vea igual.
3. Debe permitir al operario programar la cantidad de carretes a imprimir, y además modificar en forma fácil y segura los caracteres a imprimir (el texto deseado).
4. Su velocidad de impresión mínima debe ser un carrete por segundo.
5. Debe poseer un abastecimiento independiente de la cantidad a ser impresa.
6. Debe ser realizado en un plazo máximo de cuatro meses, desde su concepción hasta su puesta en funcionamiento.

La solución de automatización de impresión de carretes de hilo es implementada de la siguiente manera.

##### **2.1.1 Definición de etapas**

Para la automatización del sistema de impresión de carretes, se debe primeramente establecer cada fase del sistema a fin de determinar las alternativas de solución para cada una de ellas. La Figura 2.1 muestra el resultado del análisis. Las fases principales son: a) alimentación, b) posicionamiento, c) Impresión y d) expulsión.

Se considera otro dos elementos involucrados en la automatización: 1) un contador para programar/registrar la cantidad de carretes impresos, y 2) Una tarjeta de control que se interrelaciona con el sensor óptico, el solenoide, el motor de paso a paso, el detector de proximidad, la impresora y el contador.

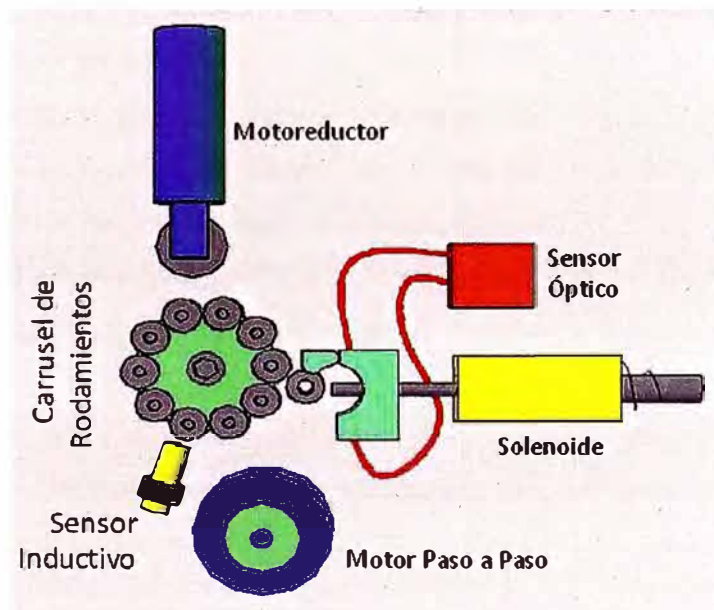


**Figura 2.1** Fases de automatización

### 2.1.2 Alternativas tecnológicas

Para cada fase se evalúan las opciones tecnológicas a utilizar para la solución. Todas deben cumplir con los requerimientos, sin embargo algunas decisiones fueron tomadas por disponibilidad mas que por precio. Las evaluaciones son separadas según las fases.

La Figura 2.2 muestra los elementos que componen las fases de posicionamiento e impresión.



**Figura 2.2** Componentes principales del sistema

#### a. Fase de alimentación

Consiste en proporcionar el producto a procesar al elemento principal del sistema, en este caso es la impresora. El alimentador debe consistir de una tolva vibradora que extraiga y encamine al carrete hacia la zona de posicionamiento.

Existen muchas tolvas vibradoras en el mercado internacional, la compra de estas implica un proceso de adquisición demasiado dilatado para la limitación de tiempo del que se dispone (4 meses). Se opta por acondicionar una tolva vibratoria helicoidal (en espiral) disponible en la planta la cual no venía siendo utilizada. Se usa un conducto

cilíndrico para el encaminamiento hacia la siguiente fase (transporte del carrete por efecto de la gravedad). La descripción de dicho acondicionamiento es descrito en la sección siguiente.

Debido a que la cantidad de carretes que la tolva vibratoria podía acumular por el tamaño de los mismos, no hubo necesidad de proveer una pretolva, que alimentara a la tolva vibratoria.

### **b. Fase de posicionamiento**

Esta fase consiste en enviar o colocar al carrete dentro de un elemento acumulador rotativo. Para ello se define la necesidad de que esta cuente con

1. Un sensor que detecte la presencia de un carrete.
2. Un actuador que coloque al carrete en línea para la impresión, y
3. Un elemento acumulador de los carretes que los lleve al cabezal de impresión.

Para la detección del carrete se decide utilizar un sensor óptico. De los tipos de sensores ópticos se opta por el sensor óptico de barrera de fibra de óptica, debido a que no ocupa mayor volumen en el área de trabajo. El mismo sensor es utilizado para activar un contador que lleve el registro de los carretes impresos. Su desarrollo será descrito cómo si fuera una fase adicional.

Respecto al actuador, se tiene cómo opciones al pistón neumático y al solenoide. Se escoge al solenoide porque no se requiere una fuente adicional de energía y tampoco se requería de gran fuerza para el proceso de posicionamiento.

Cómo elemento acumulador se concluye que la mejor opción es diseñar a la medida de los carretes, un carrusel de rodamientos de 16 posiciones que sea rotado por un motor paso a paso.

Para el correcto posicionamiento del carrusel (y por ende del carrete a imprimir) se adiciona un sensor inductivo que detecte los puntos tangentes del rodamiento sobre el cual se apoya el carrete. No se utilizó un fin de carrera pero no es tan sensible cómo un sensor inductivo.

### **c. Fase de impresión**

Se analiza el tipo de impresora a usar. Del análisis se decide por utilizar un tipo de impresora de inyección de tinta de uso industrial, debido que la otra opción, la impresión por contacto, corría la tinta y era menos veloz. Para la impresión se hace uso de dos cabezales ya que se debe imprimir ambas bases del carrete de manera simultánea.

Se optó por utilizar dos impresoras programables Video Jet Excel, básicamente por que cumplían con los requerimientos el sistema y estaba disponible en el mercado local.

Debido a que el cabezal de impresión es estático, es necesario hacer rotar al carrete. Para ello se decide por hacer uso de una rueda tangente (motoreductor) para

proporcionarle una velocidad angular específica. El cabezal actúa y el carrete queda así impreso. La velocidad de rotación óptima es parte del diseño que es descrito en la siguiente sección.

#### **d. Fase de expulsión**

Es la fase en la que el carrete debe ser extraído del carrusel luego de realizada la impresión. La fase de expulsión es lograda cuando se hace rotar el carrusel para la siguiente impresión, el carrete impreso es expulsado por acción de la gravedad y es encaminado por una canaleta hacia su punto de almacenamiento.

#### **e. Registro de carretes impresos**

No es parte del proceso de impresión del carrete propiamente dicho, pero es necesaria para llevar la contabilidad de los carretes que han sido impresos.

Se decide utilizar la señal proveniente del sensor óptico de barrera de fibra óptica para activar un contador digital.

Se opta por utilizar un contador-comparador-temporizador, que permita fijar la cantidad de carretes que sean impresos. Se adquiere el equipo Autonic .FX4S ya que cumple los requerimientos de diseño y se encuentra disponible en el mercado.

#### **f. Control del sistema**

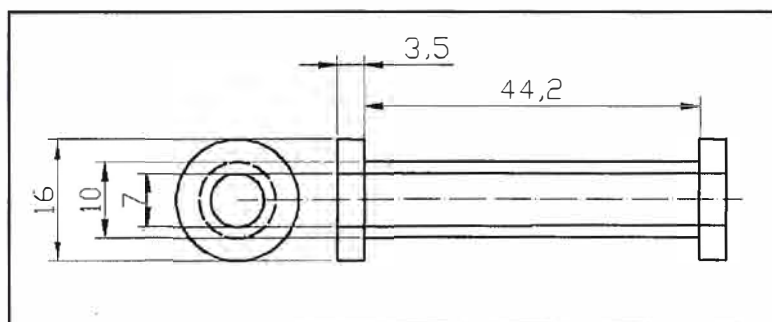
Para el control de los procesos descritos se evalúa entre utilizar un PLC o diseñar una tarjeta electrónica de control. Debido a los costos y a la independencia tecnológica, se decidió diseñar la tarjeta electrónica de control para que reciba información del sensor óptico y del detector de proximidad, y controle el solenoide, el motor de paso a paso, la impresora y el contador.

### **2.2 Diseño de la solución**

En esta sección se detallará las fases y elementos del diseño. La parte más importante será la explicación del diseño de la tarjeta electrónica.

#### **2.2.1 Fase de alimentación**

Es necesario saber las dimensiones físicas del carrete de hilo (producto) que es el protagonista de todos los procesos. La Figura 2.3 muestra dos vistas del carrete de plástico.



**Figura 2.3** Dimensiones del carrete en milímetros



El sistema puede adecuarse a carretes de similares dimensiones. La Figura 2.4 muestra (señalados con una llave) los carretes que pueden ser utilizados en el sistema



**Figura 2.4** Carretes de hilo de similares dimensiones (señalados)

La fase alimentadora consiste en acumular una gran cantidad de estos carretes para luego ser extraídos y encaminados hacia la fase de posicionamiento. Esto se realiza por medio de la tolva vibradora helicoidal mostrada en la Figura 2.5.



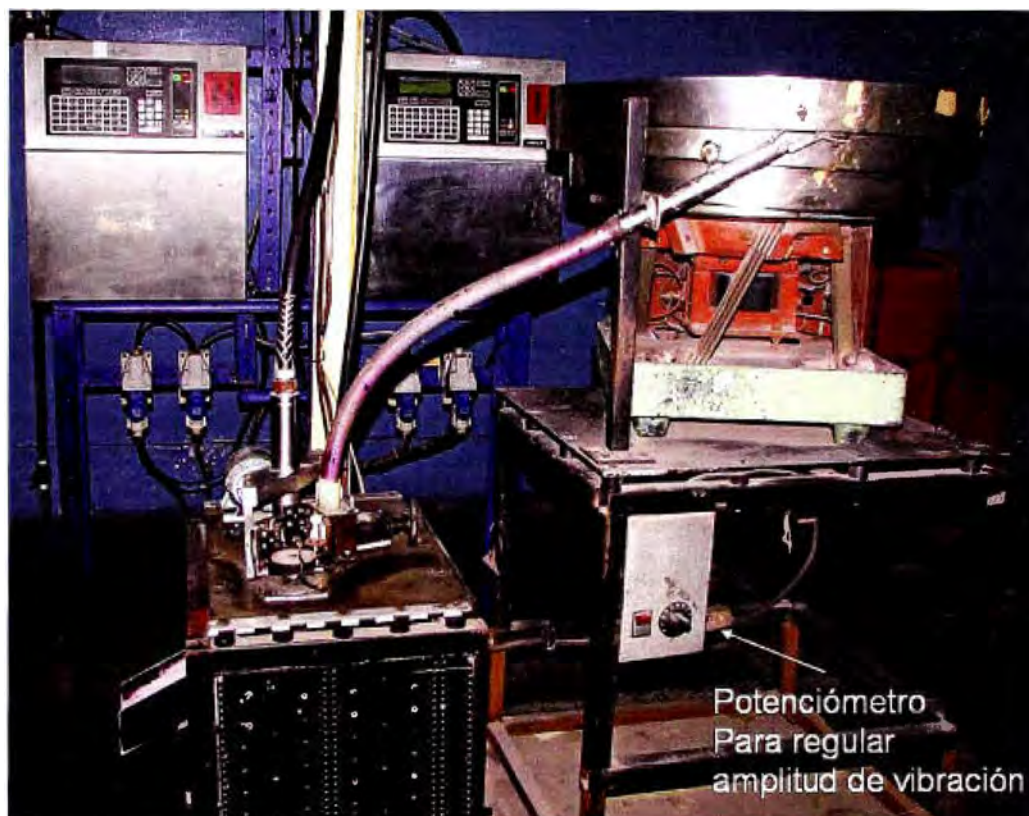
**Figura 2.5** Tolva vibradora

La parte superior de la tolva debía ser prolongada para poder encaminar los carretes. Estos debían caer por un conducto cilíndrico bastante holgado pero lo suficiente angosto que impidiera que estos se dieran vuelta y se atracaran. A la salida de la tolva, antes de entrar al conducto, se colocó un filtro físico (barrera de cierta dimensión) para que



permitiese el paso de sólo un carrito.

La Figura 2.6 muestra a la tolva (a la derecha), y al conducto que termina en la zona de posicionamiento en donde el carrito llega por gravedad. La tolva está separada de la zona de posicionamiento para evitar que la vibración la afecte. Al fondo se aprecia las dos impresoras. Dentro del conducto cilíndrico los carritos se encuentran apilados.



**Figura 2.6** Tolva, conducto e impresoras

### 2.2.2 Fase de posicionamiento

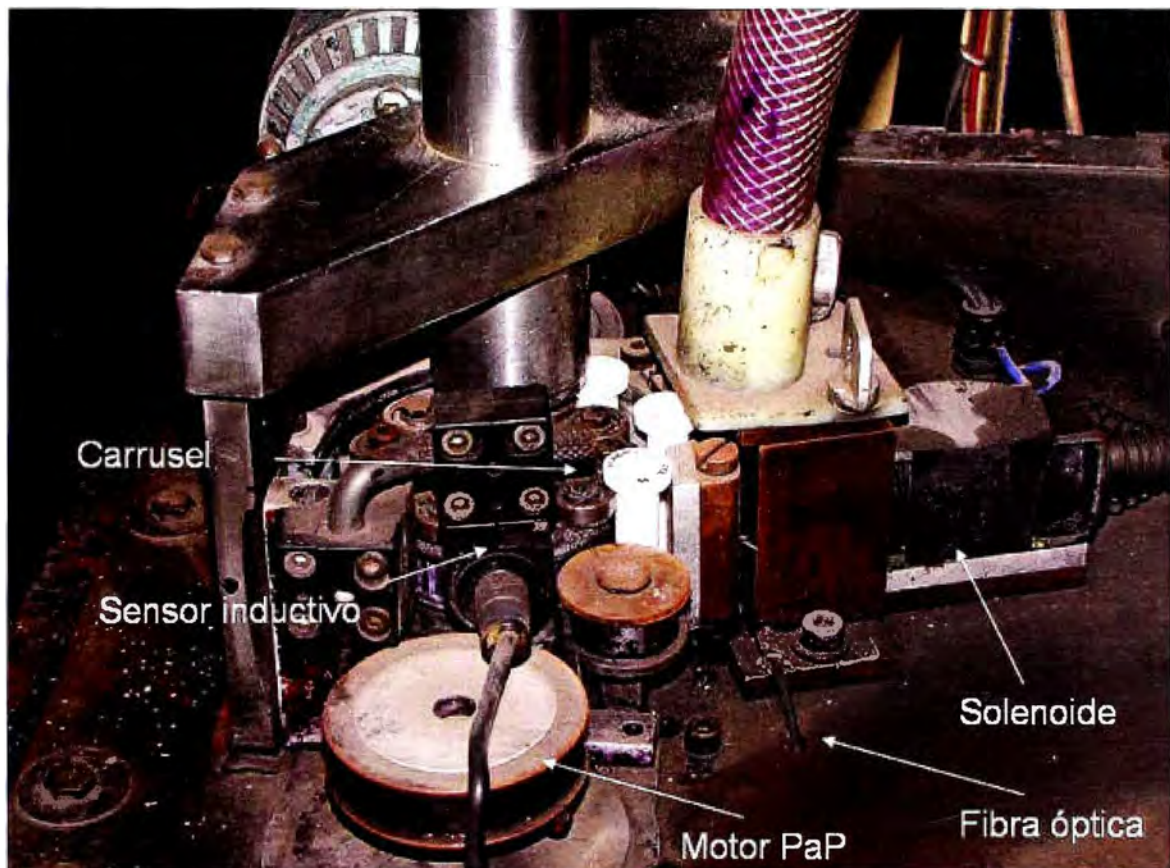
Cómo fue mencionado, para posicionamiento del carrito se necesita de un sensor de barrera que detecte la presencia de un carrito, de un solenoide que coloque al carrito en línea para la impresión, y de un carrusel de rodamientos de 16 posiciones que sea rotado por un motor paso a paso. También es necesario, para el correcto posicionamiento del carrusel (y por ende del carrito a imprimir), un sensor inductivo para la detección los puntos tangentes del rodamiento sobre el cual está apoyado el carrito.

La figura 2.2, mostrada líneas arriba muestra esquemáticamente la totalidad de los elementos mencionados. La descripción de los pasos de esta fase son los siguientes:

1. El detector de barrera es interrumpido por el carrito. Su señal es utilizada para accionar al solenoide, pero a través de la tarjeta de control.
2. El solenoide al activarse coloca al carrito dentro de uno de los 16 espacios del carrusel. El solenoide permanece activado para evitar que otro carrito caiga. El solenoide es desactivado cuando se termina la impresión.
3. La tarjeta de control ordena al motor paso a paso (a través de un driver) que rote, lo

cual es realizado hasta que el sensor inductivo detecta el punto tangente del rodamiento que lleva al carrito y envía esta señal a la tarjeta de control que decide detener el motor paso a paso.

La Figura 2.7 muestra una fotografía del sistema descrito, la fase de posicionamiento y sus elementos.



**Figura 2.7** Fase de posicionamiento

### 2.2.3 Fase de impresión

En la fase de impresión se utilizan dos impresoras programables Video Jet Excel 170i. La Figura 2.8 muestra las dos impresoras y el detalle de su panel de programación.



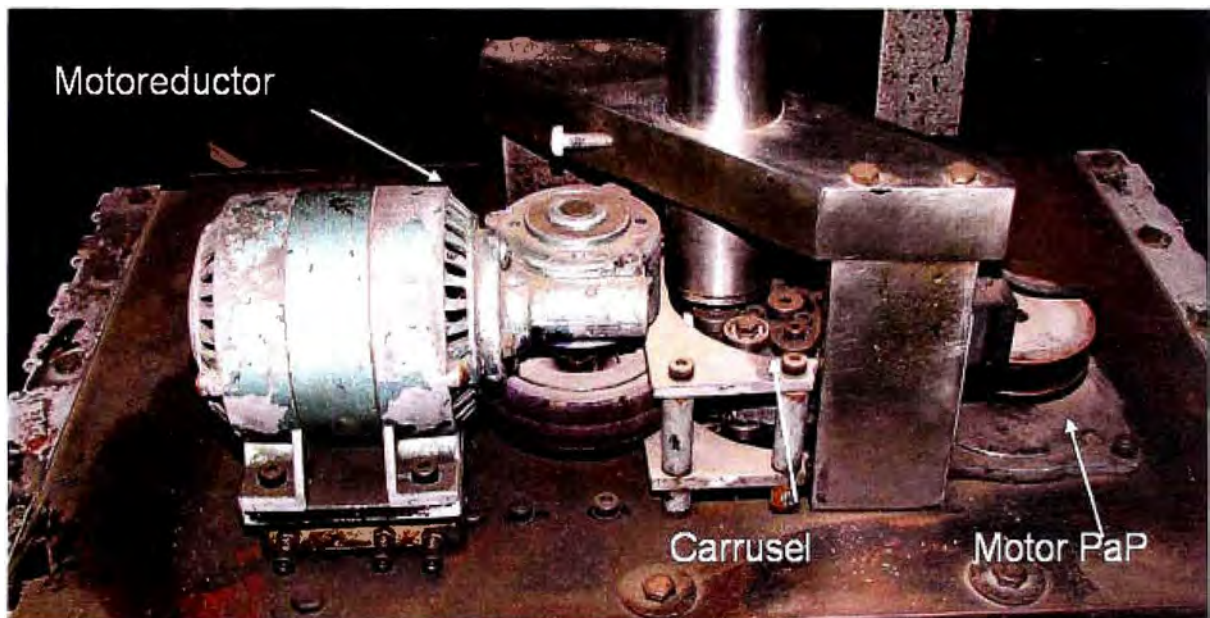
**Figura 2.8** Video Jet Excel 170i



Dado que el cabezal de impresión es estático (Figura 2.9), es necesario hacer rotar al carrete. Para ello se decide por utilizar una rueda tangente (motoreductor) para proporcionarle una velocidad angular específica. Figura 2.10.



**Figura 2.9** Cabezal (printhead) de la impresora Video Jet Excel 170i



**Figura 2.10** Vista en donde se aprecia en el conjunto al motoreductor

El cabezal actúa y el carrete queda así impreso Figura 2.11. La velocidad de rotación óptima es parte del diseño que es descrito en la siguiente sección.



**Figura 2.11** Vista de una e las bases del carrete de hilo impreso

Es necesario realizar ciertos cálculos para encontrar la velocidad tangencial a transmitir al carrete para lograr la impresión requerida. Se toma en consideración lo siguiente:

1. Las impresoras por inyección de tinta están diseñadas para una impresión lineal. El manual de la impresora indica que la velocidad máxima de impresión es de 279 m/min.
2. El radio del carrete es 5 mm.

Utilizando las ecuaciones de cinemática tenemos 2.1 y 2.2:

$$V = r\omega \quad (2.1)$$

$$\omega = 2\pi\eta \quad (2.2)$$

Dónde:

$V$  = velocidad tangente a una distancia  $r$ .

$R$  = radio del punto.

$\omega$  = velocidad angular.

$\eta$  = vueltas por minuto (RPM).

Calculando cual es el máximo de RPM que se le puede dar al carrete:

$$\eta = V / 2\pi r \quad (2.3)$$

$$\eta = 279 / 2 * 3.1416 * 0.005 = 8880 \text{ RPM}$$

Tomando en cuenta el valor de la velocidad angular máxima y considerando las condiciones físicas del tubo se puede deducir que la velocidad adecuada para la impresión del tubo es de 600 RPM.

Para la elección del motor de corriente alterna se tiene las siguientes consideraciones:

1. Radio de la rueda tangente al tubo de 50mm.
2. La velocidad de impresión es de 600 RPM.

En una transmisión de dos ruedas tangentes se tiene:

$$\omega_1 * r_1 = \omega_2 * r_2 \quad (2.4)$$

Dónde:

$\omega_1$  = RPM del tubo.

$r_1$  = radio del tubo.

$\omega_2$  = RPM del motor

$r_2$  = radio de la rueda de transmisión del motor.

$$\omega_2 = 600 * 0.005 / 0.05 = 60 \text{ RPM}$$

De acuerdo a los resultados, el sistema debe tener un motor reductor de 60 RPM

El motor tangente en todo momento se encuentra girando y transmitiendo esta velocidad al tubo para que el cabezal de impresión deposite los puntos de tinta en las caras del tubo y se genere el patrón de letras seleccionado.

Como se mencionó, después de la impresión se libera nuevamente el solenoide permitiendo la caída de otro tubo repitiéndose el ciclo de posicionamiento e impresión.

#### 2.2.4 Fase de expulsión

El carrusel de 16 posiciones no utiliza todos los espacios. El carrete es impreso luego de correr tres posiciones, y es expulsado cinco posiciones después de impreso. En resumen son 8 las posiciones que se mantienen llenas.

La fase de expulsión no requiere de ningún actuador. Solo es por efecto de la gravedad al llegar al punto establecido.

#### 2.2.5 Registro de la cantidad de carretes impresos

Es llevado a cabo mediante un contador/ temporizador (comparador), el cual posee una velocidad de conteo actualizada de: 1cps, 30cps, 2kcps y 5kcps. Puede ser contador hacia arriba o hacia abajo (Up/Down). Ver Figura 2.12



**Figura 2.12** Contador/Temporizador FX4S Autonics [10]

#### 2.2.6 Tarjeta de control

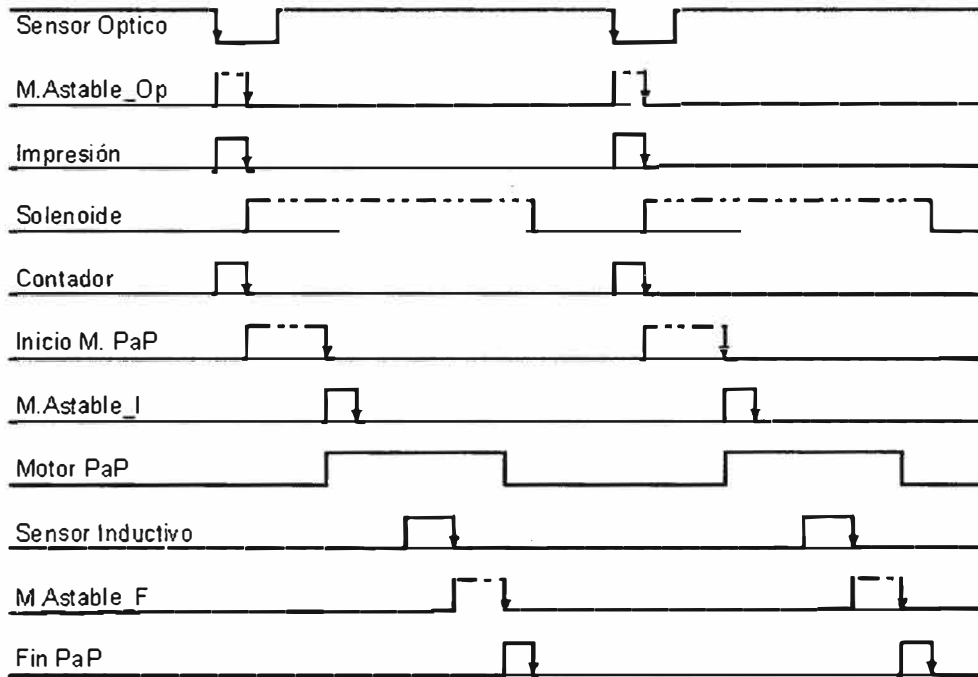
Según lo presentado en la Figura 2.1, es necesaria una tarjeta de control para que reciba la información del sensor óptico y del detector de proximidad (entradas), y a su vez comande el solenoide, el motor de paso a paso, la impresora y el contador (salidas).

Haciendo un análisis del ciclo de trabajo del sistema, se logró construir el diagrama de tiempos el cual es mostrado en la Figura 2.13. Este permitió implementar el circuito electrónico respectivo. Los flancos de activación son de bajada.

El ciclo se inicia con el sensor óptico de barrera., este sensor activa un monoestable cuyo flanco de bajada es enviado tanto a la impresión como al contador. Este mismo flanco de bajada inicia un monoestable que corresponde al del solenoide y otro que

corresponde al inicio del motor paso a paso. Esto concluye la parte de impresión

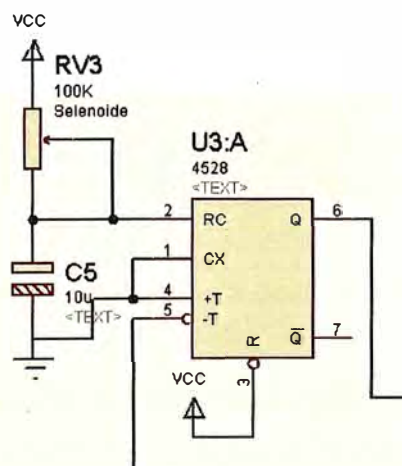
Como se mencionó, el ciclo del motor paso a paso se inicia al activarse la impresión. El sensor inductivo detecta el posicionamiento de una nueva impresión y detiene al motor PaP. El diagrama de tiempo de la última señal representa el ciclo de trabajo del motor paso a paso.



**Figura 2.13** Diagrama de tiempos del sistema

Debido a que la señal de cada sensor es del tipo on-off (representan eventos), estas fueron ingresadas a un generador de pulso del tipo monoestable. Para tal fin se utilizó el circuito integrado CD4528BC el cual es un doble multioscillador monoestable.

Cada dispositivo es redisparable y reinicializable. Este puede ser disparado ya sea con el flanco de subida o de bajada, la salida es un pulso de un ancho determinado. La duración del pulso y su precisión está determinada por los componentes externos RV3 y C5. (Figura 2.14)



**Figura 2.14** Multioscillador monoestable

De la hoja técnica del CD4825 se puede obtener que el ancho del pulso se calcula de la siguiente fórmula. Para  $C_x > 0.01\mu\text{F}$

$$PW = 0.2R_x C_x \ln[V_{DD} - V_{SS}] \quad (2.5)$$

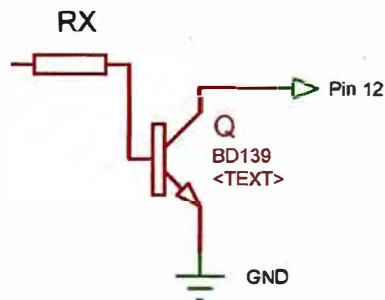
Donde:  $R_x = 100\text{K}$ ,  $C_x = 10\mu\text{F}$ ,  $V_{DD}=12$  y  $V_{SS}=0$ , obteniéndose  $PW_{MAX} = 0.5\text{ms}$

La finalidad de este monoestable es ser un buffer entre el sensor y el pulso de control, sirviendo de filtro y driver entre la señal de entrada y el generador del pulso de control.

El siguiente monoestable es el que determinara la duracion del evento, es regulable lo que permite adecuarlo para la aplicación específica. Para la activación de los dispositivos actuadores se trabajó con driver tipo transistores bipolares por la facilidad de configurarlo como interruptor, al ser este utilizado en sus estados de corte y saturación. El circuito utilizado es el de la Figura 2.15, donde se tiene que, para el cálculo de la resistencia de base se utilizó la siguiente ecuación:

$$V_{CC} + I_{BASE}R_x + V_{BE} = 0 \quad (2.6)$$

De la hoja de datos del transistor BD139 se obtiene que para el estado de saturación  $I_{BASE} = 100\text{mA}$ ,  $V_{BE} = 0.7$  y considerando que  $V_{CC} = 12\text{VDC}$ . Así se obtiene que el posible valor de  $R_x$  es de  $1.5\text{K}\Omega$ .



**Figura 2.15** Multioscilador monoestable

Las Figuras 2.16 y 2.17 muestra la implementación del circuito de la tarjeta de control. La alimentación de los circuitos de la tarjeta se realizó con el circuito integrado LM7812, el cual tiene un amplio rango de tensión de entrada y salida estabilizada de 12 VDC figura 2.18, para mejorar el rizado se coloradon condensadores tanto a la entrada como a la salida del mismo.

Con la finalidad de tener control manual de la impresión, se instalaron dos pulsadores. El pulsador asociado al circuito del selonoide nos permite mantener activado el botador de tubos con la finalidad de parar la impresión cuando se desee. El segundo pulsador es para hacer girar continuamente el motor paso a paso, lo que nos permite descargar la maquina.

Para la alimentación del sistema se utilizó una fuente estabilizada RS V9398 de 24 VDC y 250W, la que a su vez alimenta a la tarjeta de control de motor paso a paso y la tarjeta de control del ciclo de impresión.



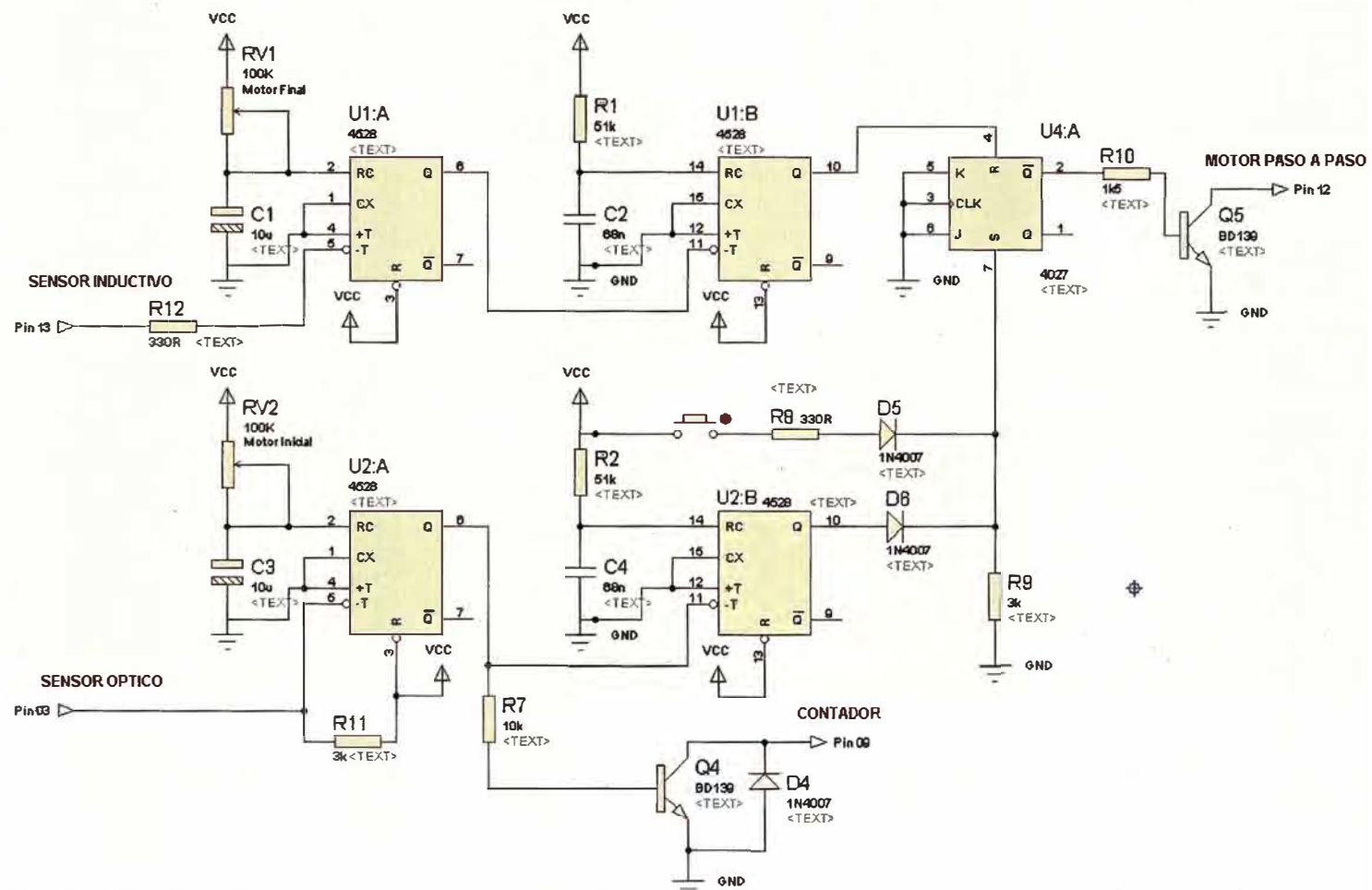


Figura 2.16 Parte del circuito. Entradas: Sensor inductivo y óptico; Salidas contador (Q4) y motor PaP (Q

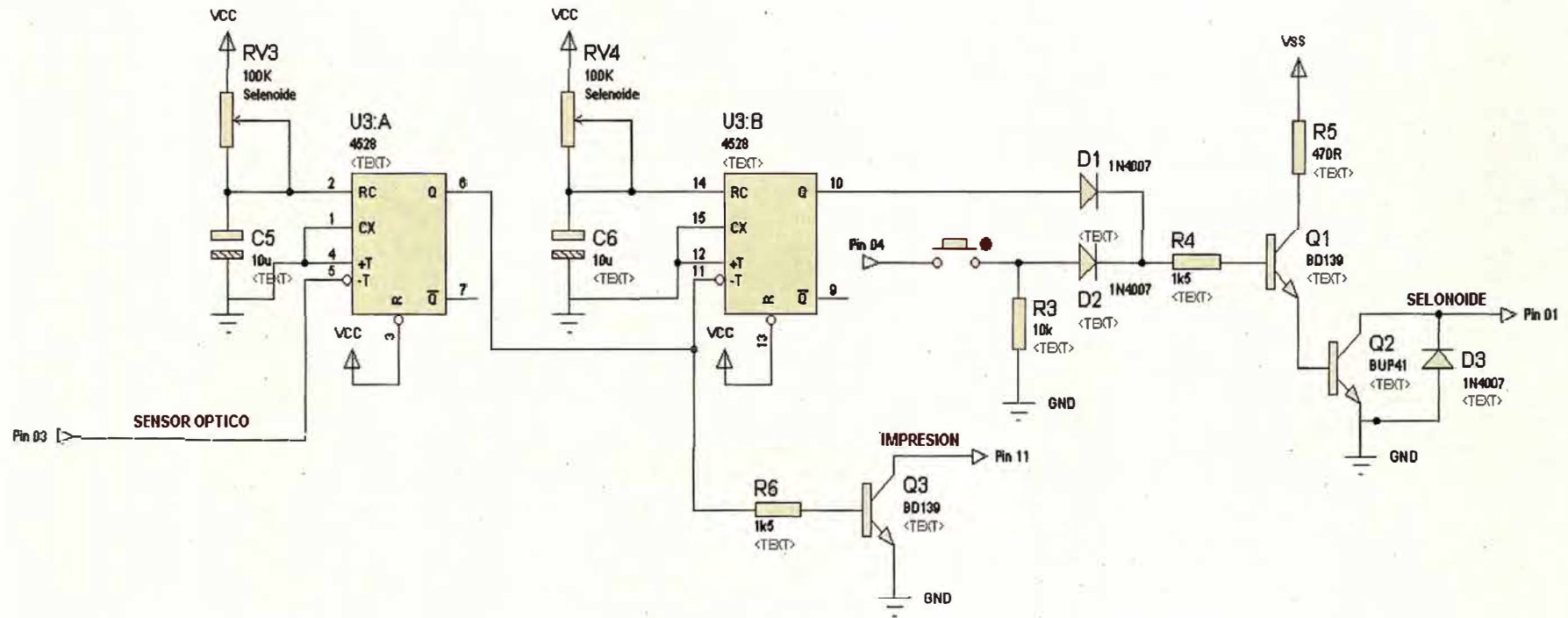
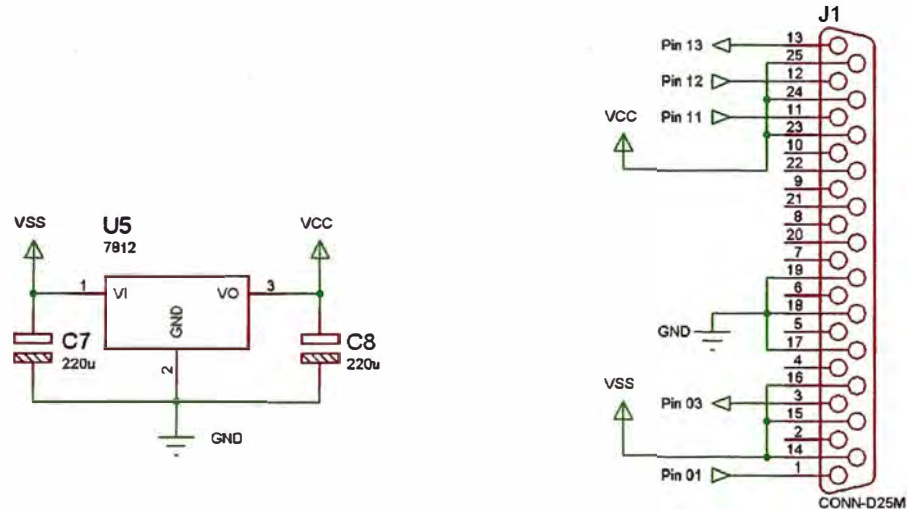
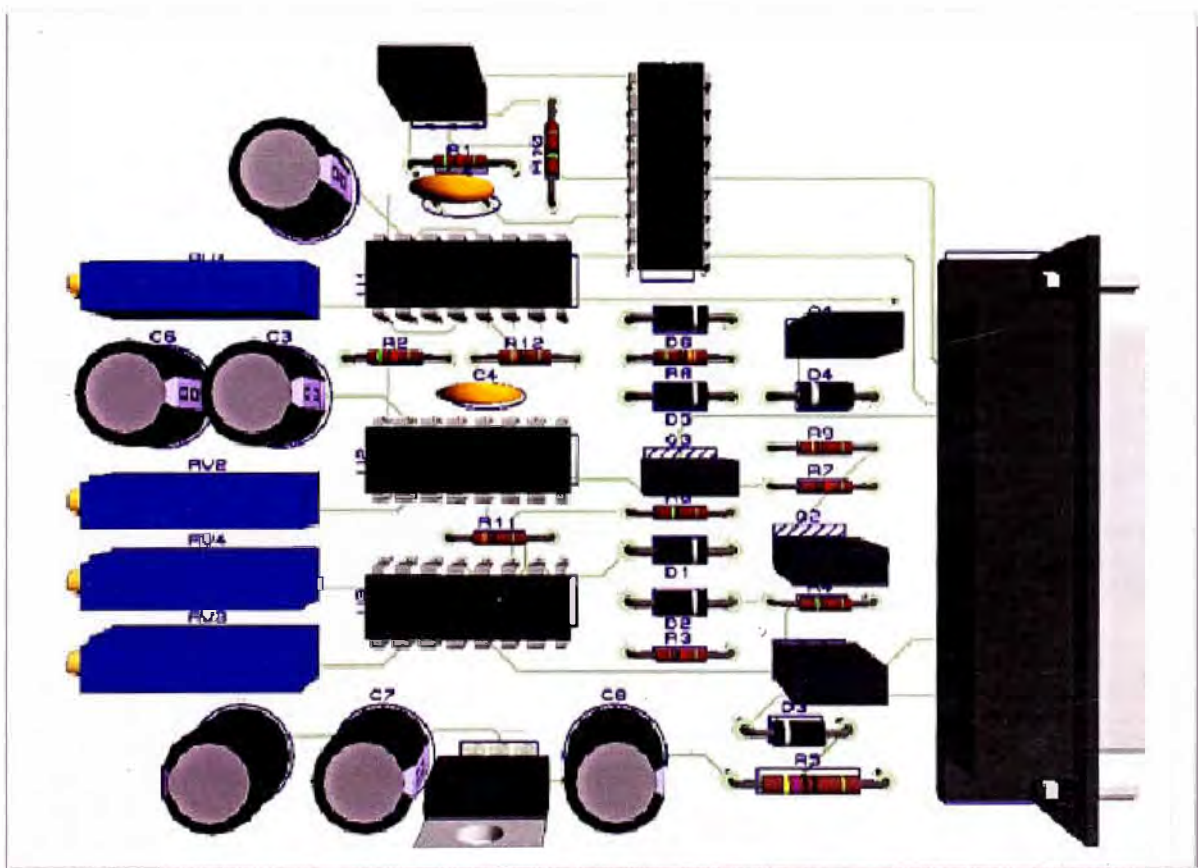


Figura 2.17 Parte del circuito. Destinado al solenoide (Q2) y la impresión (Q3) 5



**Figura 2.18** Fuente de alimentación y conector de E/S

La Figura 2.19 muestra una vista esquemática de elevación de la tarjeta de control y sus componentes.



**Fig. 2.19** Tarjeta de control

En el Anexo A se muestra la simulación del circuito realizado en Proteus, el diagrama de tiempos del mencionado circuito, así como una foto de la tarjeta de control.

### 2.3 Equipamiento

En concordancia con la explicación de la sección anterior, es necesario detallar algunos aspectos del sistema, en sí de las entradas y salidas (periféricos). La Figura 2.20

muestra el conjunto. En él se aprecia a las dos impresoras y a sus cabezales, así mismo la etapa para el posicionamiento (motor paso a paso, motoreductor, solenoide etc.).



**Figura 2.21** Sistema de automatización

### 2.3.1 La Tolva

Las únicas características importantes de este elemento alimentador están relacionadas al diámetro de elemento que va a ser procesado. En este caso la tolva vibradora está adecuada para diámetros de hasta 30 mm y longitudes de hasta 120 mm.

El funcionamiento de la tolva es independiente del resto del sistema, y por lo tanto de la tarjeta controladora. La tolva se enciende y luego se gradúa su nivel de vibración de acuerdo a la velocidad de alimentación de los tubos.

Los carretes se van introduciendo en el conducto cilíndrico hasta que está lleno. En esta situación los demás carretes que lleguen a la boca superior de tal conducto, no ingresan y caen nuevamente al fondo de la tolva.

Las características de la tolva son: Cubeta cilíndrica de acero, diámetro 50 cm (superior) y 30 cm (interior). Alimentación eléctrica AC 220V/60 Hz. Potencia 75 Watt.

Cómo se mencionó anteriormente, el motoreductor siempre está en funcionamiento y es una parte que también es independiente de la tarjeta de control

En las secciones siguientes se detallan los periféricos, esto es: a) las entradas (sensor óptico y sensor inductivo), y b) las salidas (el: contador, el solenoide, las impresoras y el motor paso a paso).



### 2.3.2 Sensor óptico

Se seleccionó al sensor de fibra óptica (sensor for plastic fibre optics) se la empresa SensoPart. El modelo es el FL20 R-PSM 4.. Ver Figura 2.21.



**Figura 2.22** Sensor óptico FL20 [15]

Es considerado un sensor muy potente para su tamaño, pues cubre todos los requerimientos tecnológicos de un sensor óptico en pequeños espacios, ofreciendo gran precisión de detección con suma facilidad. Sus características son:

- i. Tamaño: 32 x 20 x 12 mm
- ii. Botón de autocalibración (configuración sensibilidad óptica)
- iii. Gran frecuencia de conmutación (1,000 Hz)
- iv. Fuente óptica: Luz roja de longitud de onda = 660 nm
- v. Salida configurable a Normalmente abierto (N.O.), o a normalmente cerrado (N.C.)
- vi. Diámetro de Fibra óptica de 2.2 mm.
- vii. Máximo rango de escaneo = 100 mm
- viii. Máximo rango de trabajo = 1,000 mm (dependiendo de la fibra óptica)
- ix. Alimentación 24 voltios
- x. Salida NPN de 12 voltios (colector abierto)
- xi. Elementos indicadores. Cuenta con dos LEDs: Amarillo= recepción, Verde= estabilidad.
- xii. Homologación UL/CSA, CE

### 2.3.3 Sensor inductivo de proximidad

El sensor inductivo es un dispositivo electrónico que se activa cuando un elemento ferroso se encuentra próximo a él.

Para esta aplicación es el único dispositivo recomendado por el tamaño (12 mm). Se selecciona el modelo XS4 P12MA 230 (Schneider Electric) NPN de tres hilos. Posee un rango de sensado de 0 a 3.2 mm. Ver Figura 2.22.

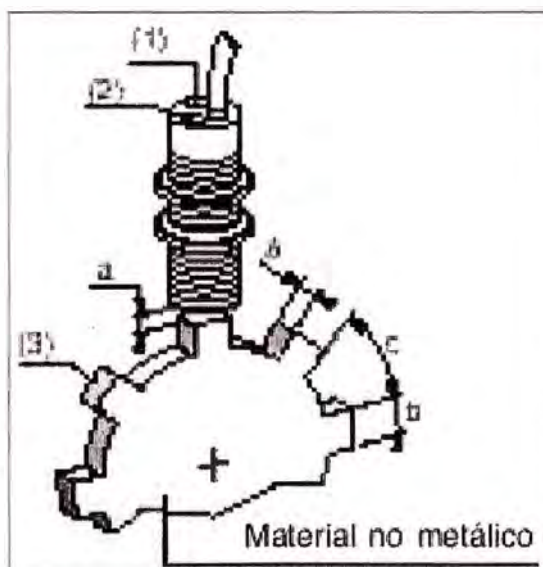


**Figura 2.23** Sensor inductivo

Sus características más relevantes son las siguientes:

- i. Grado de protección Según IEC 60529 IP 68
- ii. Temperatura en funcionamiento de 25 a 80 °C
- iii. Resistencia a las vibraciones Según IEC 60068-2-6 25 gn, amplitud  $\pm 2$  mm ( $f = 10$  a 55 Hz)
- iv. Señalización de estado salida LED anular
- v. Alimentación asignada 12 a 24 VDC con protección contra inversión de los hilos
- vi. Límites de tensión 10 a 38 VDC
- vii. Corriente consumida 10 mA
- viii. Corriente conmutada de 0 a 200 mA con protección contra sobrecargas y cortocircuitos
- ix. Tensión residual (cerrado)  $\leq 2$  VDC
- x. Frecuencia máxima de 3 hilos 5 kHz

La Figura 2.23 muestra un ejemplo de cómo se aplica el sensor inductivo de proximidad en el sistema.



**Figura 2.24** Ejemplo de aplicación

### 2.3.4 Solenoide

La Figura 2.24 muestra el esquema del solenoide (vista lateral e inferior), la Tabla 2.1 sus características dimensionales correspondientes a distintos modelos.

Tabla 2.1 Características dimensionales

	S-40-30	S-50-30	S-60-40
<b>A</b>	40mm	50mm	60mm
<b>B</b>	30mm	30mm	40mm
<b>C</b>	40mm	45mm	50mm
<b>D</b>	37mm 27mm	42mm 12mm	57mm 17mm
<b>Recorrido max.</b>	10mm	30mm	40mm
<b>ØE</b>	4.50	4.50	4.50
<b>G , H</b>	26 , 28mm	34 , 34mm	40 , 38mm
<b>F</b>	sin pasante	12mm 42mm	17mm 57mm

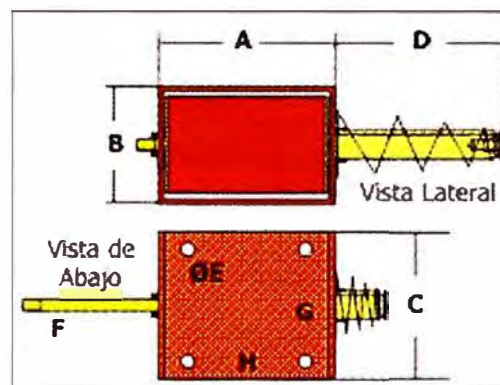


Figura 2.25 Dimensiones del solenoide

El modelo seleccionado es el 52- S60-40. Potencia consumida igual a 70 w, distancia de desplazamiento 10 mm. Fuerza de empuje 700 gramos.

### 2.3.5 Motor paso a paso

Bipolar de ½ hp el cual es controlado mediante una tarjeta Driver (Figura 2.25)

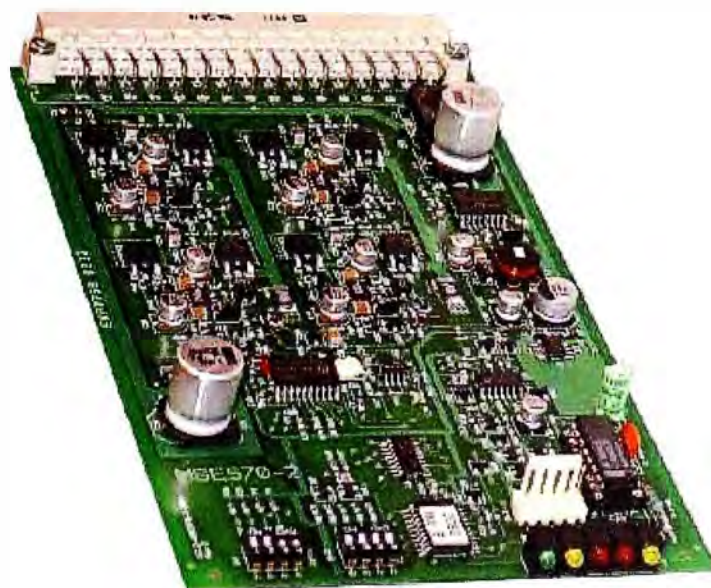


Figura 2.26 Dimensiones del solenoide [9]

Se utiliza el modelo MSE570 Evo 2. Sus características son las siguientes:



- i. Drive Bi-polar con corrientes preestablecidas de hasta 3.5 A por fase
- ii. Voltaje de operación hasta 48 VDC
- iii. Opción de ½ paso
- iv. No requiere disipador
- v. Un circuito oscilador puede ser añadido para un control manual simple o con interfaz a PLC.

La Figura 2.26 muestra el diagrama de conexiones. En él se puede ver a la entrada 14 "Step" en la cual la tarjeta de control ordena el avance. Mientras se encuentre polarizada el motor PaP avanzará. En el pin 13 "Direction" se configura para el motor PaP gira en sentido antihorario al aplicarle 12 VDC..

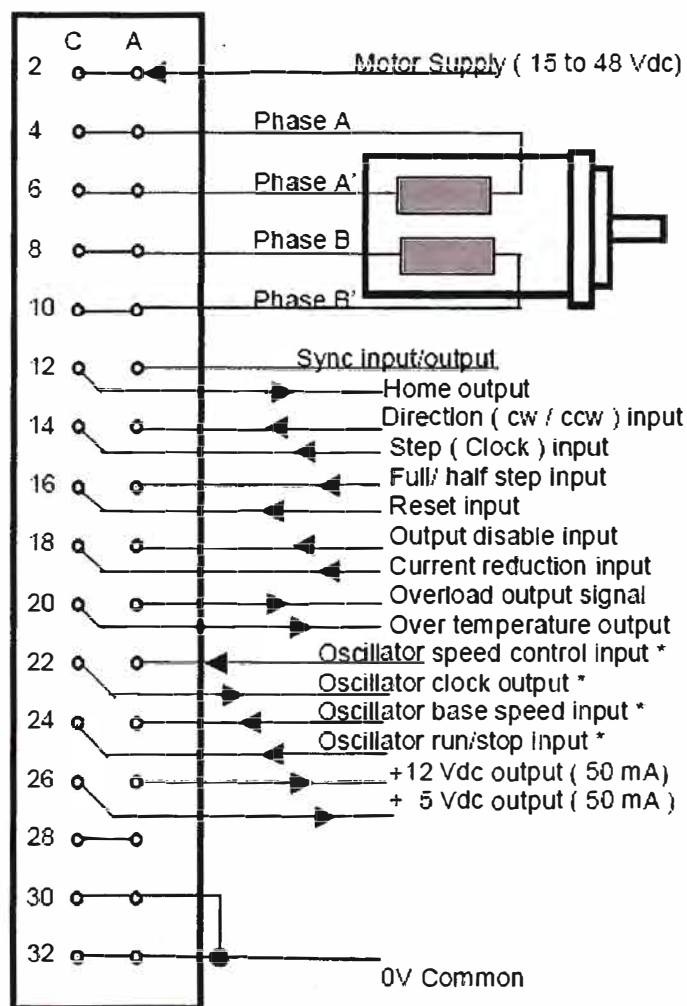


Figura 2.26 Diagrama de conexiones [9]

### 2.3.6 Impresoras

Se utilizan dos impresoras Videojet EXCEL® 170i. Esta impresora permite identificar productos en una, dos o tres líneas, con caracteres alfanuméricos, además de códigos de barra y logotipos personalizados. Esta impresora puede imprimir en virtualmente cualquier superficie (porosa o no porosa; suave, curvada, texturada) a cualquier velocidad de producción (uniforme, variable o intermitente).

Las características de esta impresora son las siguientes:

- i. Velocidad de la cadena de producción: 10 caracteres por pulgada y línea). Puede imprimir de 1 a 3 líneas a una velocidad de hasta 278 m/min.
- ii. Velocidad de impresión: Hasta 1832 caracteres por segundo, dependiendo del tipo de letra seleccionada.
- iii. Configuración de la matriz de la fuente: 5x5, 5x7, 5x7 línea doble, 5x7 línea triple, 7x9, 10x16, 16x24 y códigos de barra.
- iv. Altura nominal de caracteres: Seleccionable desde menos de 3.2 mm (1/8") a más de 8.4 mm (1/3")
- v. Teclado: Tipo membrana con retroalimentación táctil que incluye 66 teclas alfanuméricas y de función. Disposición abcd. El teclado resiste el lavado con agua y los disolventes.
- vi. Pantalla: LCD de ocho líneas (40 caracteres por línea), monocroma y retroiluminada.
- vii. Caracteres personalizados: Programables por teclado. También logotipos y gráficos
- viii. Interfaz de datos: 128 caracteres ASCII; programable vía teclado o RS232 a tasas de baudios seleccionables de hasta 19.2kbps
- ix. Almacenamiento de mensajes: treinta y dos de 62-caracteres en mensajes de línea simple; treinta y dos de 124-caracteres de mensajes de dos líneas; treinta y dos de 186-caracteres en mensajes de tres líneas; ampliable mediante memoria CompactFlash.
- x. Cabezal: Compacto, de acero inoxidable 35 mm de diámetro, capacidad omnidireccional.
- xi. Líquidos/Consumo: Amplia gama de fórmulas y colores. Hasta 67,5 millones de caracteres por cuarto de galón de tinta dependiendo de esta última, del trazo, de la absorción y los ajustes.
- xii. Temperatura/Humedad de funcionamiento: Rango 5°C a 43°C, 10% a 90% de humedad relativa sin condensación.
- xiii. Requisitos del aire: 65 a 85 psi mínimo (4.3 a 5.7 bars), dependiendo de la tinta; dos SCFM máximo; seco, filtrado y sin aceite.
- xiv. Requisitos eléctricos: Nominal de 110 a 240 VAC a 50/60 Hz; 75 watts
- xv. Peso aproximado: 37.2 kg
- xvi. Dimensiones Consola: Se muestran en la Figura 2.27 (además del cabezal).

Las Figuras 2.28 y 2.29 muestran a las impresoras utilizadas. Ambas son disparadas por la tarjeta de control.

El cable que viene desde la tarjeta de control ingresa a la primera impresora (cable blanco), para llevar la misma señal hacia la segunda impresora se hace uso de otro cable (cable gris). La señal de entrada para la activación es de 12 VDC.

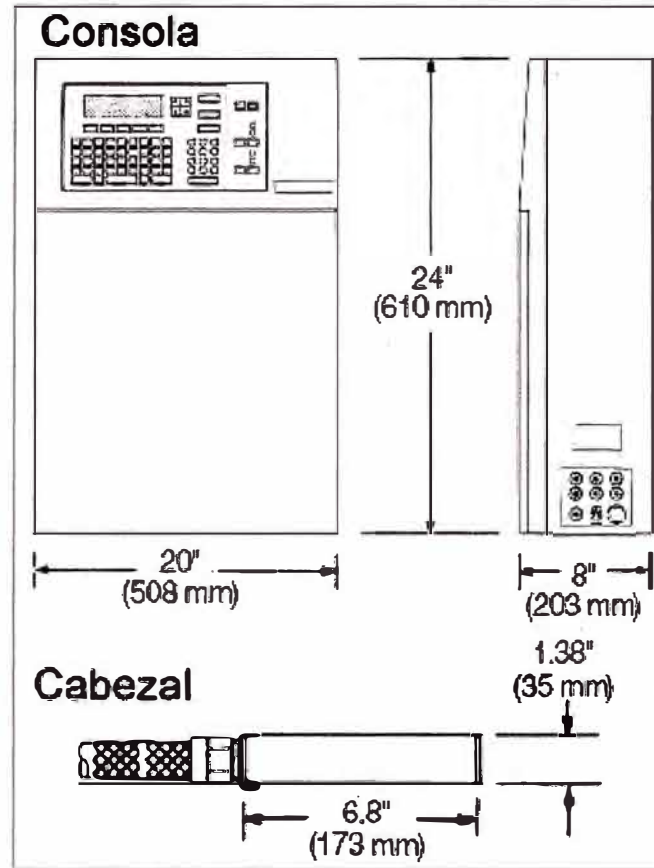


Figura 2.27 Dimensiones de consola y cabezal (printhead)

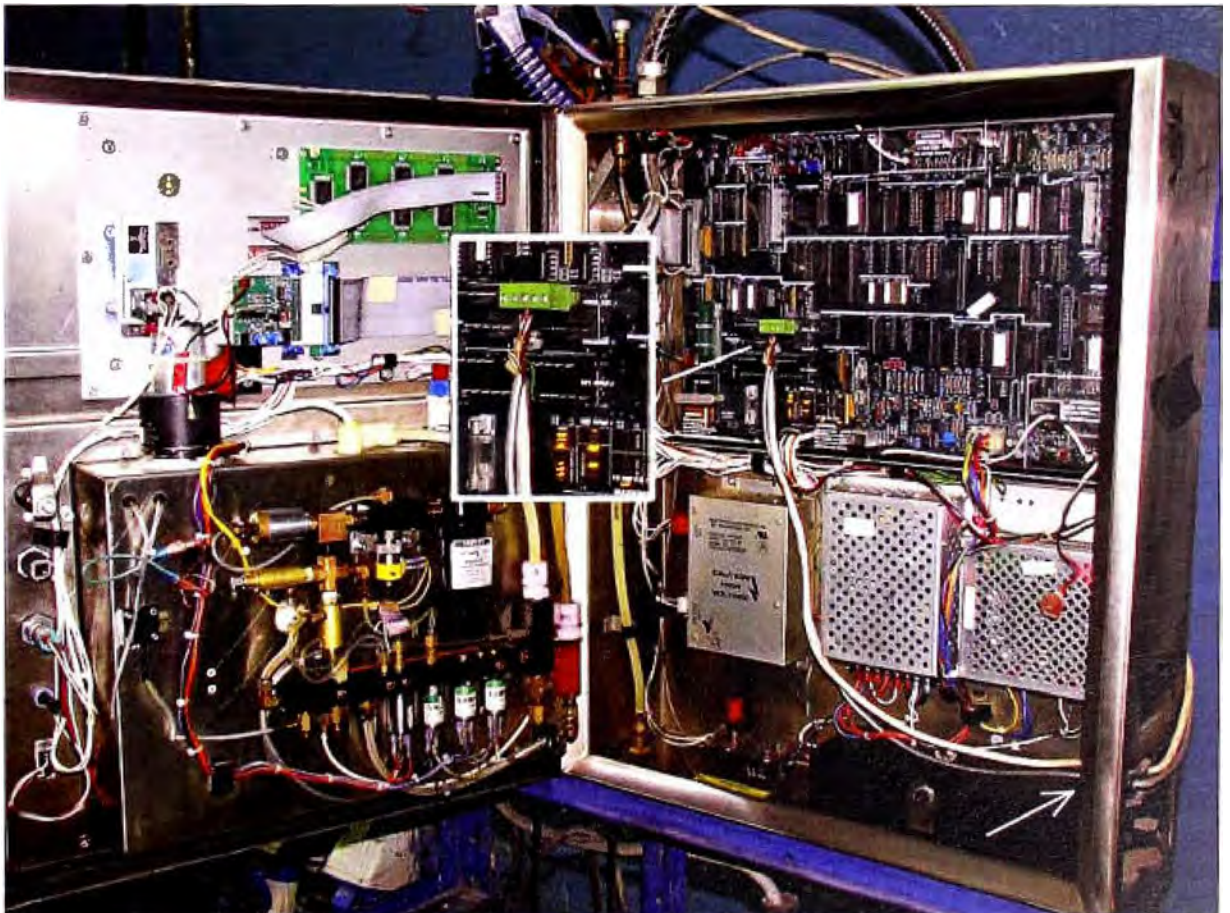
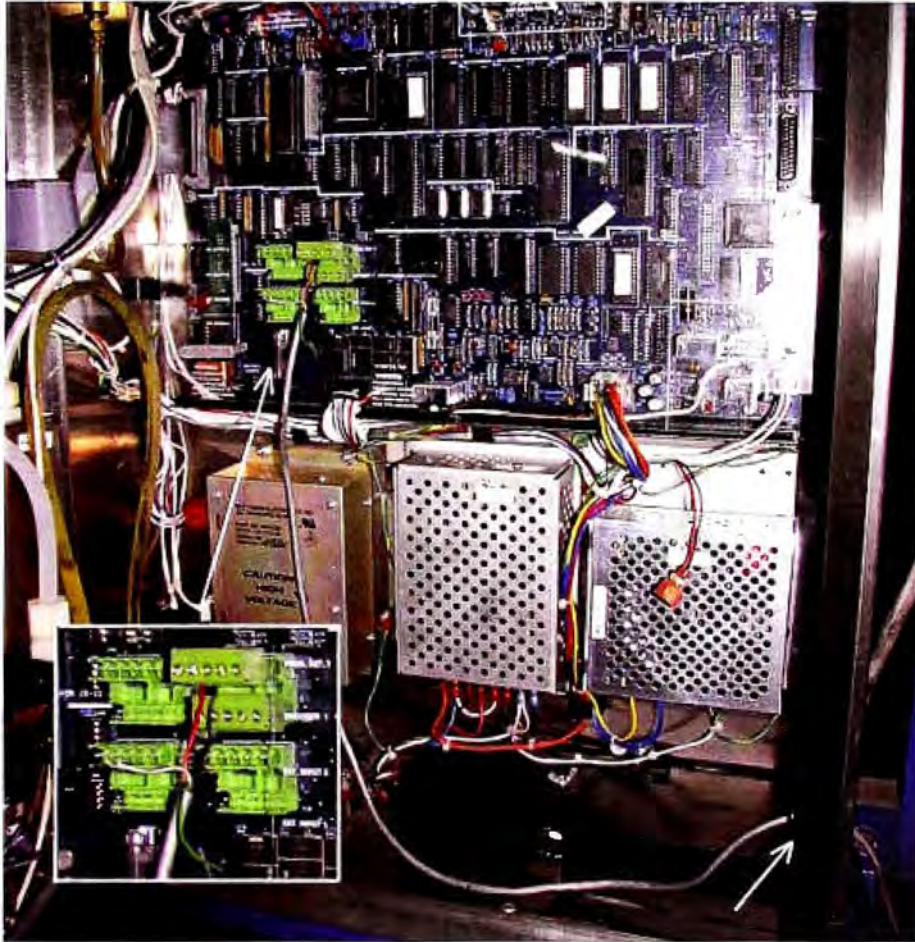


Figura 2.28 Primera impresora



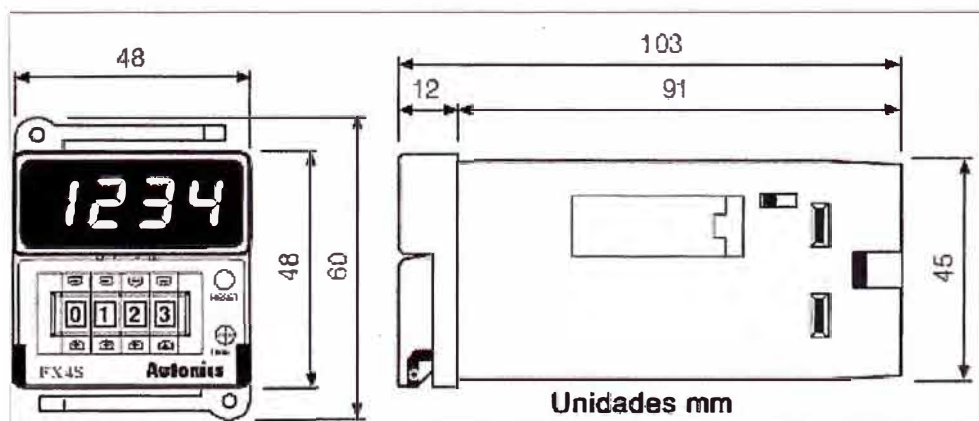


**Figura 2.29** Segunda impresora

### 2.3.7 Contador

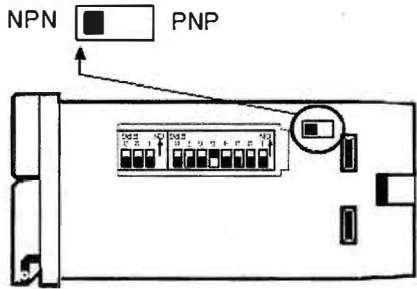
El FX4S es un contador de nivel simple que funciona también como temporizador de control. Posee dos salidas, un relé de 3A @ 240VAC y un transistor NPN de colector abierto de 100mA max. @ 30VDC max.

Una serie de diez DIP switches están localizados a un lado del contador y son usados para seleccionar el modo de entrada, la velocidad de conteo, si es temporizador o contador, el modo (arriba/abajo), etc. Las dimensiones del FX4S son mostradas en la Figura 2.30.



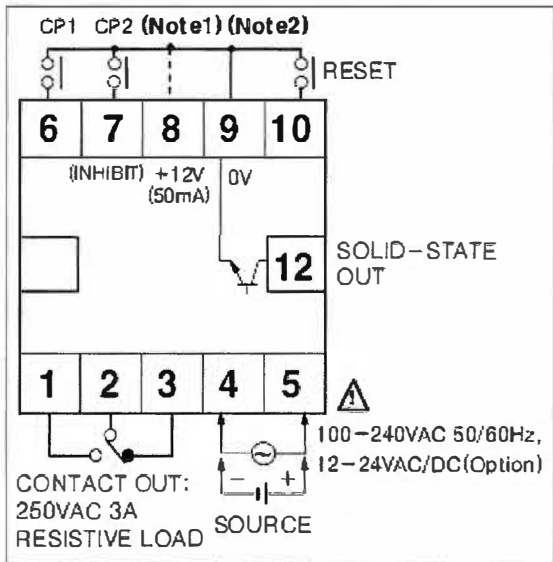
**Figura 2.30** Dimensiones del Contador/temporizador FX4S

Dado que la señal que proporciona la orden de conteo proviene del transistor (Q4) el cual es un NPN, el FX4S debe ser configurado para tal condición (Figura 2.31).

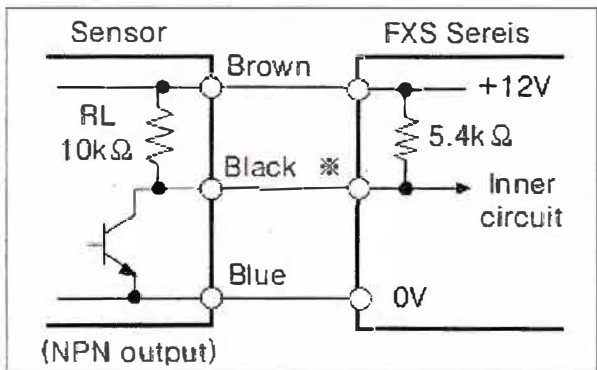


**Figura 2.31** Configuración para entrada NPN [10]

La conexión es desde el pin 09 de la tarjeta hasta el borne CP2 del contador/temporizador FX4S (Figura 2.32). La Figura 2.33 muestra esquemáticamente la conexión entre la tarjeta de control (o cualquier sensor) con el contador/temporizador FX4S de Autonic.



**Figura 2.32** Salidas y entradas del FX4S



**Figura 2.33** Conexión entre sensor NPN y el contador FX4S

Las especificaciones son las siguientes:

- Número de dígitos            cuatro
- Voltaje de operación        240VAC, 50/60 Hz.
- Potencia de consumo        4VA

Salidas	1 SPDT "C Relé"; 3A @ 250VAC y 1 NPN Colector abierto.
Energía para el sensor	12VDC $\pm$ 10%, 50mA
Velocidad de conteo	Seleccionable 30 cps o 2000 cps
Modos de conteo	Hacia arriba, hacia abajo,
Temperatura de operación	-10 a +55°C
Humedad	35 – 85% humedad relativa
Ciclo de vida del relé	10 millones mínimo

**Nota:**

En el siguiente capítulo se describirán los aspectos correspondientes al cronograma de los trabajos y la estimación de costos.

## CAPÍTULO III

### ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se tocan los temas involucrados al presupuesto al cronograma del proyecto de ingeniería y a la simulación e implementación de la tarjeta de control.

#### 3.1 Estimación de costos

Los costos para el sistema de automatización de impresión de carretes de hilo es mostrado en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1** Equipamiento y costos relacionados

Item	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio \$
1	Impresora VideoJet	2	14000.00	28000.00
2	Tolva Vibradora	1	730.00	730.00
3	Motor PaP y Driver	1	680.00	680.00
4	Motoreductor	1	200.00	200.00
5	Sensor Inductivo	1	120.00	120.00
6	Sensor Óptico	1	280.00	280.00
7	Solenoide	1	70.00	70.00
8	Sistema de transporte	1	400.00	400.00
9	Estructuras metálicas	paquete	800.00	800.00
10	Circuito de control	1	150.00	150.00
TOTAL				61440.00

Dando un total de USD 61,400.00 (Dólares americanos)

#### 3.2 Cronograma

La Tabla 3.2 se muestra el cronograma de los trabajos involucrados en el desarrollo e implementación del sistema de automatización de impresión de carretes.

**Tabla 4.2** Diagrama de tiempos para la diseño y implementación

ACTIVIDADES / TIEMPO EN PERIODOS DE 15 DÍAS	1	2	3	4	5	6
Procesos de instalación de impresoras	X					
Proceso de diseño	X	X				
Construcción de partes mecánicas			X	X		
Pruebas de funcionamiento manual					X	
Procesos de diseño del control					X	X
Finalización del proyecto						X

#### 3.3 Simulación e implementación

Estas ha sido realizada con el programa Proteus. Las Figuras 3.1 y 3.2 son la parte 1 y dos de la tarjeta de control. La Figura 3.3 muestra la simulación del diagrama de tiempos. La Figura 3.4 muestra una fotografía de la tarjeta de control implementadas.



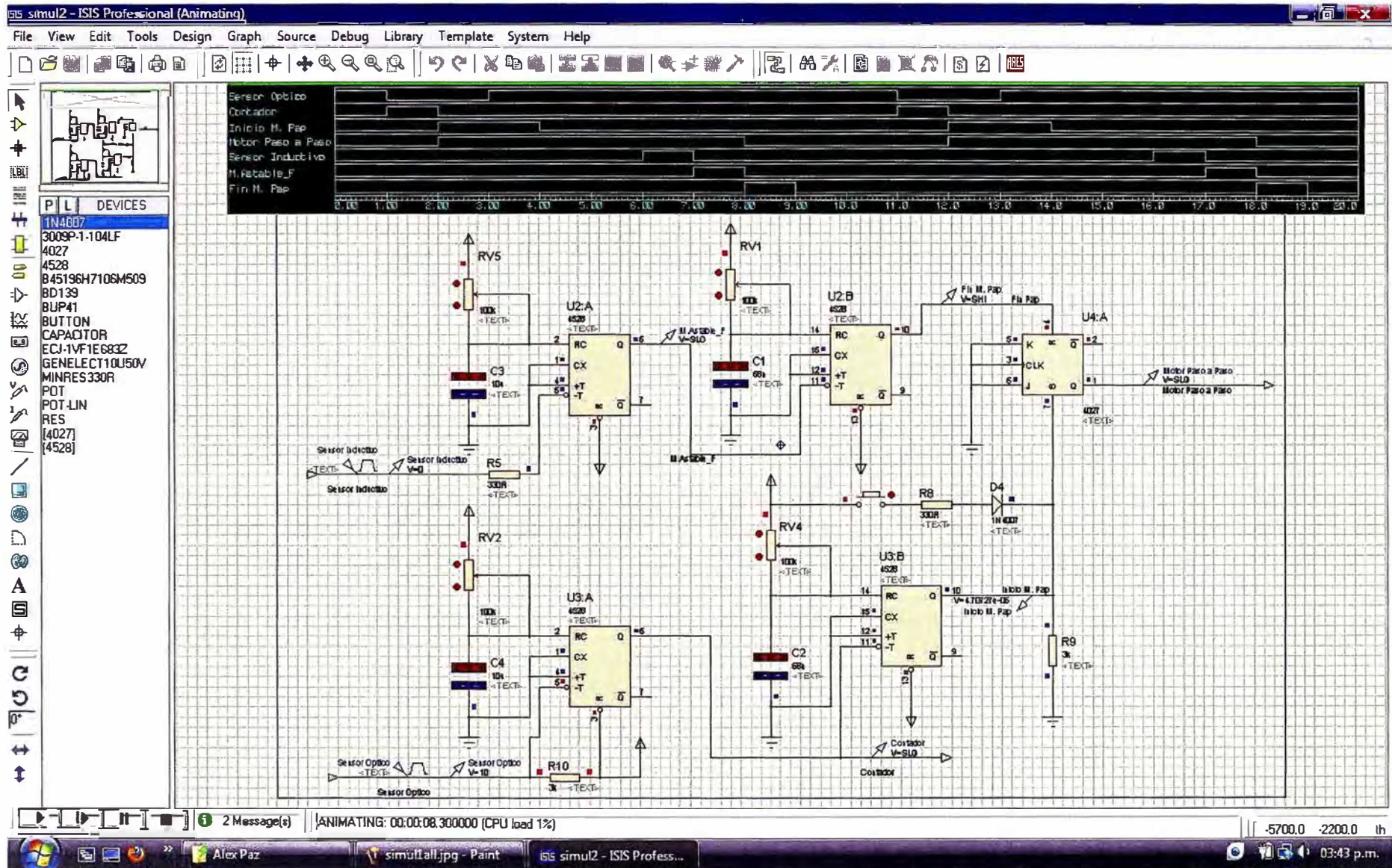


Figura 3.1 Simulación de circuito realizado en Proteus



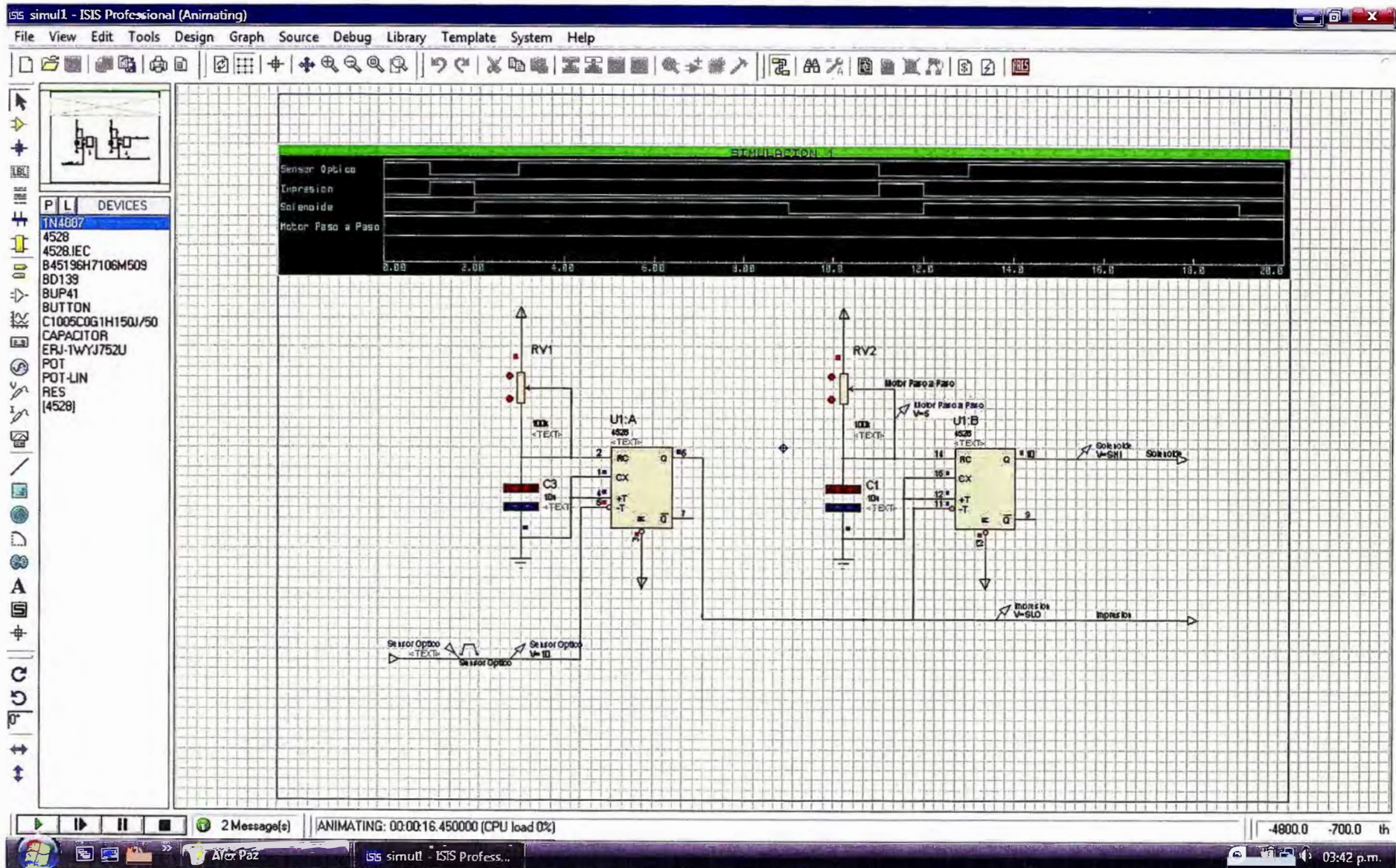
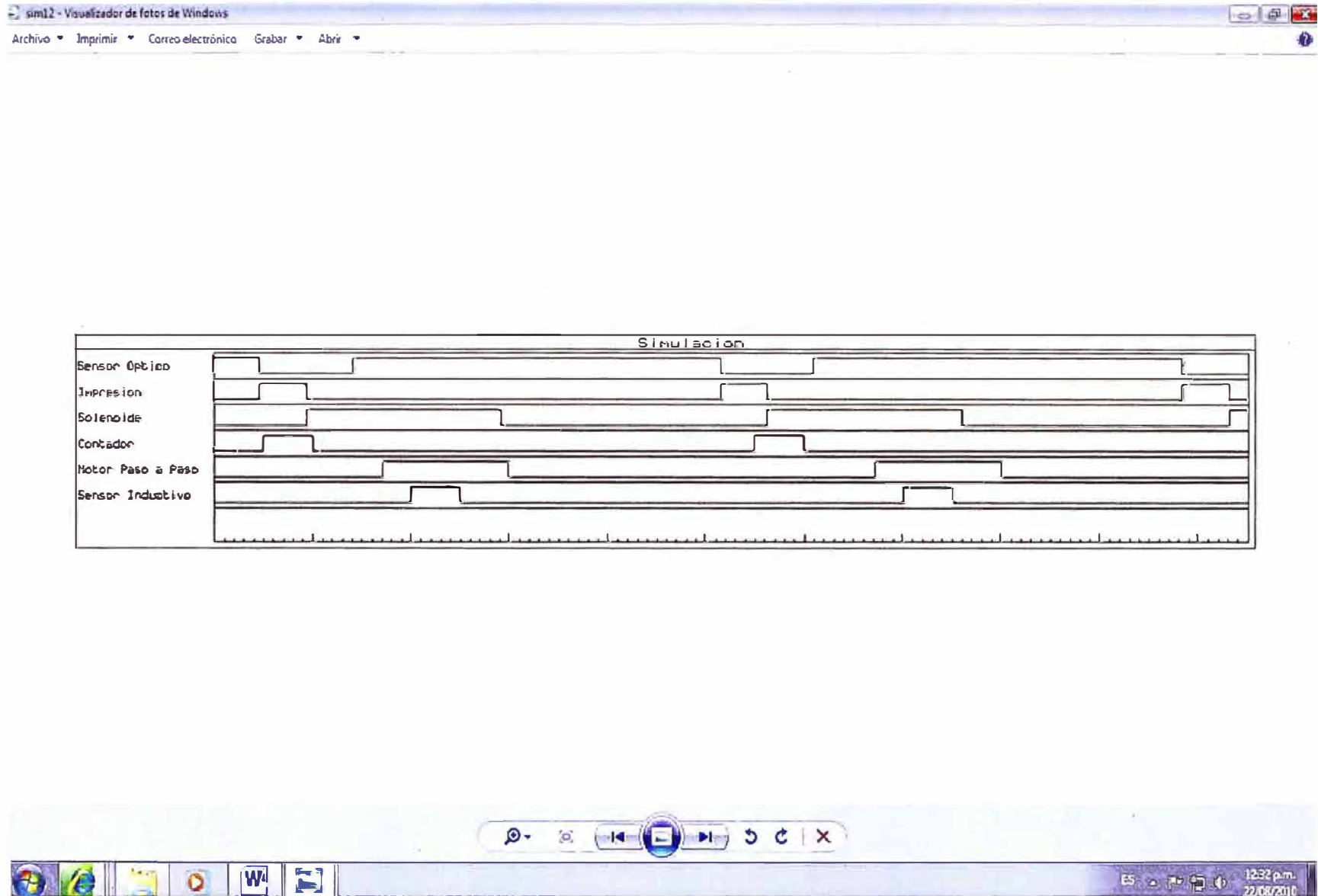


Figura 3.2 Simulación de circuito realizado en Proteus



**Figura 3.3** Simulación de circuito realizado en Proteus



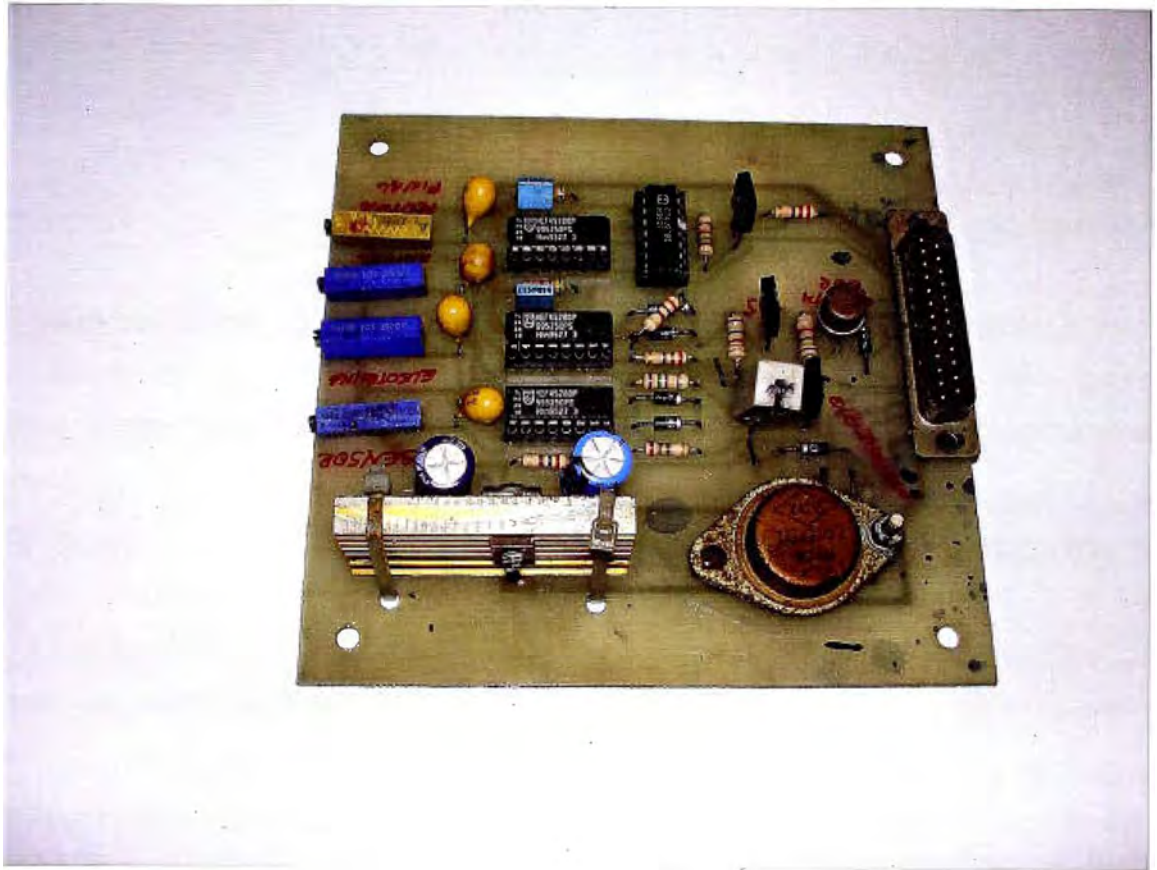


Figura 3.4 Tarjeta implementada

## CONCLUSIONES

1. El presente trabajo ha permitido a la empresa COATS CADENA S.A realizar el control del proceso de impresión de sus carretes de hilo, de la manera más simple y rápida posible, obteniéndose un gran ahorro en tiempo de desarrollo y gran independencia tecnológica.
2. El circuito de control fue construido con elementos discretos e integrados, pero también se pudo emplear un diseño con PLC. Esto último fue descartado ya que requería de mayor inversión en componentes electrónicos tales como buffers y drivers, así como en software especializado para el tipo de PLC empleado.
3. El costo de la tarjeta en total fue de 150 USD contra los 500 USD si hubiera sido implementado con un PLC. Esto representa un ahorro de 350 USD y las facilidades de calibración y modificaciones futuras para otro tipo de producto.
4. Las modificaciones o calibraciones para otro tipo de producto tan solo requerirán los ajustes en las ventanas de los circuitos monoestables. Lo cual puede ser realizado por el personal técnico de la empresa y no requieren de accesorios especializados ni software dedicado.

**ANEXOS**

## ANEXO A

### GLOSARIO DE TÉRMINOS

Detention Torque	Par de detención
Full step	Paso completo
Half step	Medio paso
Holding Torque	Par de mantenimiento
PM	motor de magneto permanente
Printhead	Cabezal de impresora
SPDT	Single Pole, Double Throw
Step angle	Angulo de paso
V.R.	Reluctancia variable
Working Torque	Par dinámico de trabajo.



## BIBLIOGRAFÍA

1. VideoJet EXCEL series 170i “Codificador Impresor”, Videojet System International Inc. Illinois USA.
2. Oleagordia Aguirre Iñigo, “Motores Paso a Paso.”, ETSEIT, 1983
3. Balcells Josep, Romera, I “Autómatas programables”, Marcombo, 1997
4. López Ernestes, “Diseño de Circuitos Digitales TTL y CMOS” 1ra Ed., Paraninfo, 1989
5. Romeral Martinez, Balcells Sendra Josep “Transductores y sensores industriales” ETSEIT, 1992
6. Schneider Electric, “Manual y Catalogo”, 2003
7. Hermosa Donate Antonio, “Electrónica digital práctica”, Marcombo, 1995
8. Fairchild “Semiconductor Handbook”, New York – USA. 1995
9. Mclennan Servo Supplies Ltd. “Controlador MSE570 Evo 2”, 2010.
10. Autonics, “Counter/Timer FXS Series Manual” Código EP - KE - 01 – 007J,
11. Tecnaumat, “Manual de Alimentadores”, 2005
12. [www.technologyreview.com](http://www.technologyreview.com)
13. [www.videojet.eu](http://www.videojet.eu)
14. [www.linxglobal.com](http://www.linxglobal.com)
15. [www.sensopart.com](http://www.sensopart.com)