

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE UN EQUIPO
ETIQUETADOR AUTOADHESIVO AUTOMÁTICO**

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Electrónico**, que presenta el bachiller:

Karel Gerson Palacios Broncano

ASESOR: Ing. José Manuel Mariños Velarde

Lima, Marzo de 2018

Resumen

Las actividades como transportar, contener o almacenar objetos en cajas, se realizan continuamente en los procesos de fin de línea de una industria. Estas actividades están vinculadas al manejo de información descriptiva, precisa y corta que debe ser mostrada para conocer el contenido de cada objeto.

La forma más común de transmitir esta información, es utilizando etiquetas autoadhesivas, las cuales son fáciles de utilizar y pueden adherirse a muchos tipos de superficie.

En el contexto industrial, se usan estas etiquetas mediante una máquina etiquetadora automatizada. Y en el caso de Perú, existe una alta demanda; sin embargo, existen pocas empresas que las fabriquen y la mayoría opta por importalas.

La presente tesis plantea el diseño e implementación de un sistema electrónico automatizado de una máquina etiquetadora autoadhesiva para cajas, para la empresa SISCODE S.A.

El objetivo principal de la tesis es obtener un etiquetado de cajas. Para ello se utilizó el chasis de una máquina etiquetadora, brindado por SISCODE S.A, y se desarrollo el sistema electrónico de la máquina en tres partes.

El desarrollo del sistema electrónico se baso en la utilización de sensores fotoeléctricos para poder calcular la velocidad de la caja y efectuar un movimiento adecuado del actuador.

Por otro lado se implementó una interfaz de usuario y una comunicación con el ordenador para manejar las funcionalidades de la máquina y la recepción de datos.

Los resultados de las pruebas otorgan un posicionamiento correcto, de la etiqueta respecto a los bordes de la caja. Se obtuvieron datos de cantidad de etiquetas y estos datos fueron almacenados en un archivo de texto dentro del computador. Se desarrollo un driver de motor paso a paso, el cual permitió el manejo del actuador para alcanzar una velocidad de 0.5 m/s.

Índice general

Lista de figuras	VI
Lista de tablas	IX
1. ETIQUETADO DE PRODUCTOS	2
1.1. Descripción, función e importancia de la etiqueta autoadhesiva	2
1.2. Tecnologías de etiquetado	3
1.3. Problemática del etiquetado autoadhesivo	4
2. SISTEMA DE UNA ETIQUETADORA AUTOADHESIVA AUTOMÁTICA PARA CAJAS	6
2.1. Máquina etiquetadora autoadhesiva	6
2.1.1. Método de aplicación	6
2.1.2. Funcionamiento de etiquetadoras autoadhesivas para superficie plana	7
2.2. Análisis de la estructura mecánica	8
2.2.1. Descripción de la estructura mecánica	9
2.3. Análisis del Sistema Electrónico	11
2.3.1. Descripción del sistema electrónico	12
3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN	16
3.1. Objetivos de la tesis	16
3.1.1. Objetivo general	16
3.1.2. Objetivos específicos	16
3.2. Planteamiento y requisitos del sistema general	16
3.3. Requerimientos y determinación del sistema mecánico	17

3.3.1.	Observación de la estructura mecánica proveída por SISCODE S.A	17
3.3.2.	Determinación y cálculo de los parámetros del actuador para el sistema mecánico	17
3.4.	Planteamiento del sistema electrónico	20
3.4.1.	Requerimiento e identificación del sistema electrónico	20
3.4.2.	Esquema general del sistema electrónico	21
3.5.	Desarrollo del Driver	21
3.5.1.	Actuador	21
3.5.2.	Diseño del circuito	24
3.6.	Desarrollo del Control	32
3.6.1.	Sensores	32
3.6.2.	Diseño del circuito de control	33
3.7.	Desarrollo de la interfaz de usuario y comunicación con el ordenador	37
3.7.1.	Visualizador	38
3.7.2.	Periférico de entrada	39
3.7.3.	Medios de comunicación	39
3.7.4.	Diseño del circuito de interfaz y comunicación	40
3.7.5.	Programa de recepción de datos	41
3.8.	Desarrollo del acondicionamiento de la fuente de alimentación	42
3.8.1.	Cálculo de la corriente total para el circuito Driver	43
3.8.2.	Cálculo de la corriente total para el circuito de control e interfaz y comunicación	43
3.8.3.	Diseño del circuito de acondicionamiento	44
4.	PRUEBAS Y RESULTADOS	46
4.1.	Sistema mecánico	46
4.2.	Implementación y pruebas del circuito Driver	47
4.2.1.	Resistencia de sensado RS1	48
4.2.2.	Gate de los MOSFET canal N	48
4.2.3.	Gate en los MOSFET canal P	48
4.3.	Implementación y prueba del circuito de control	49

4.4. Implementación y prueba del circuito de interfaz y comunicación	50
4.4.1. Menú del sistema	50
4.4.2. Programa en el ordenador y comunicación	51
4.5. Pruebas de funcionamiento	52
4.5.1. Prueba 2 cajas y 3 velocidades	53
4.5.2. Prueba de 1 caja a 1 velocidad	54
4.6. Presupuesto	56
Conclusiones	57
Recomendaciones	58

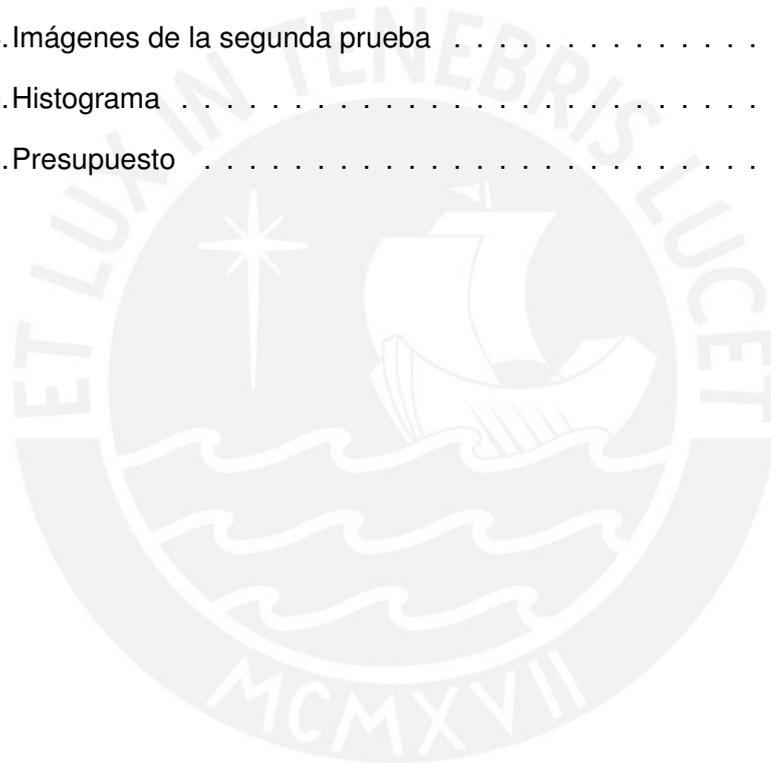


Lista de Figuras

1.1. Partes de la cinta portadora y autoadhesivo.	2
1.2. Rollo de etiquetas autoadhesivas	3
2.1. Etiquetado de una caja	7
2.2. Máquina Etiquetadora	7
2.3. Traspaso de la etiqueta a la caja	8
2.4. Diagrama de bloques para el etiquetado mediante contacto por superficie.	8
2.5. Descripción de la parte mecánica de la máquina etiquetadora	9
2.6. Eje mecánico	9
2.7. Rodillos de arrastre	10
2.8. Cuña	10
2.9. Contenedor de cinta	11
2.10. Receptor de cinta	11
2.11. Descripción del sistema electrónico	12
2.12. Máquina etiquetadora autoadhesiva automática NLT-200	12
2.13. Máquina etiquetadora autoadhesiva automática LA-100	13
2.14. Sensor fotoeléctrico modelo WLL170-2P132	14
2.15. Sensor fotoeléctrico modelo GK-14	14
2.16. Máquina con pantalla táctil	15
3.1. Estructura mecánica de la máquina etiquetadora autoadhesiva.	17
3.2. Fuerzas contrarias al movimiento	18
3.3. Transmisión de movimiento	19
3.4. Correa dentada estándar XL	20

3.5. Esquema general del sistema electrónico	21
3.6. Modelo esquemático del motor paso a paso	22
3.7. Pull-out torque	23
3.8. Motor 86J1880-842	24
3.9. Motor paso a paso bipolar	24
3.10. Esquema del circuito Driver	25
3.11. Circuito esquemático del puente H.	26
3.12. Funcionamiento del puente H	28
3.13. Regulador	29
3.14. Circuito esquemático del regulador.	29
3.15. Diagrama de flujo para el microcontrolador del driver	31
3.16. Circuito esquemático del circuito de control del driver.	32
3.17. Esquema del circuito de control	32
3.18. Ubicación de los sensores.	34
3.19. Circuito esquemático de recepción y adecuamiento de las señales.	35
3.20. Diagrama de flujo para el microcontrolador del circuito de control	36
3.21. Circuito esquemático del ATmega8 y conector de SPI en el circuito de control.	37
3.22. Esquema del circuito interfaz y comunicación	38
3.23. Pantalla LCD 2x16 de caracteres.	38
3.24. Teclado matricial 4x4.	39
3.25. Comunicación mediante <i>bluetooth</i>	40
3.26. Circuito esquemático de la interfaz y comunicación.	40
3.27. Diagrama de flujo del programa desarrollado en Visual Basic.	42
3.28. Imagen de la fuente de alimentación S-500-48.	42
3.29. Circuito esquemático de la fuente <i>switching</i>	44
4.1. Estructura mecánica con sensores y motor.	46
4.2. Driver implementado	47
4.3. Voltaje en la resistencia de sensado RS1	48
4.4. Entrada en el gate de los MOSFET canal N	48

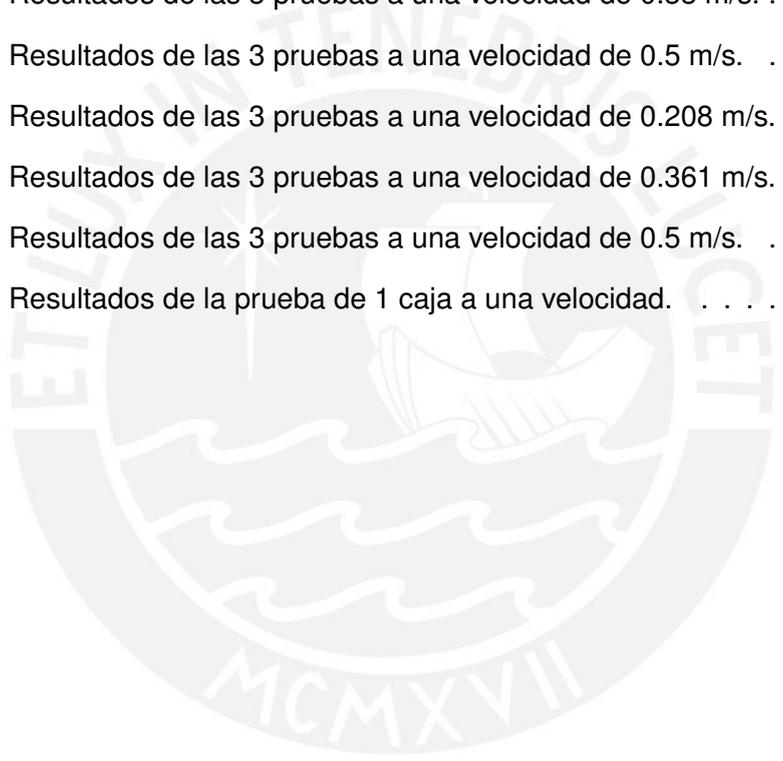
4.5. Entrada en el gate de los MOSFET canal P	49
4.6. Circuito de control implementado	49
4.7. Circuito de interfaz	50
4.8. Menú y teclado	50
4.9. Opciones que posee el sistema de la máquina etiquetadora.	51
4.10. Programa para la Etiquetadora Autoadhesiva	51
4.11. Programa en ejecución	52
4.12. Medidas realizadas para la toma de datos de etiquetado.	52
4.13. Imágenes de la primera prueba	53
4.14. Imágenes de la segunda prueba	54
4.15. Histograma	55
4.16. Presupuesto	56



Lista de Tablas

1.1. Cuadro de problemas	5
3.1. Cuadro comparativo entre el motor entre DC y paso a paso.	22
3.2. Especificaciones técnicas del motor	23
3.3. Secuencia de pulsos y polaridad.	25
3.4. Datos de los MOSFET IRF 540 y IRF 9540	25
3.5. Datos del transistor BJT BC546 y BC 55	27
3.6. Datos del optoacoplador ILQ2	27
3.7. Datos de las resistencias	27
3.8. Datos del transistor BJT 2N3906	27
3.9. Datos del diodo 1N5711	27
3.10. Datos de los diodos D5, D6, D7, D8, D9 y D10	28
3.11. Valores de las resistencias utilizadas en la parte del regulador.	30
3.12. OPAMP LM339N	30
3.13. Datos del MOSFET IRF Z44N	30
3.14. Datos del transistor BJT 2N3906	30
3.15. Resultados de tiempo de carga y descarga	31
3.16. Datos del microcontrolador ATmega8	31
3.17. Datos del optoacoplador TLP512	32
3.18. Datos del sensor de campo fijo Q12 y S18	33
3.19. Datos del sensor registrador de marca R58B y SLM30B6	33
3.20. Datos del transistor BJT 2N3906	35
3.21. Cuadro de valores de resistencias	36
3.22. Datos de los diodos D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7 y D8	36

3.23. Datos de la pantalla LCD 2x16	39
3.24. Datos de los módulos Bluetooth HC-06 y USB-WIFI232-B	39
3.25. Datos del regulador LM1117	41
3.26. Datos de la fuente de alimentación S-500-48	42
3.27. Datos del convertidor DC-DC MAX5033	44
3.28. Componentes para el funcionamiento del convertidor DC-DC MAX 5033.	45
3.29. Datos del regulador de voltaje L7805	45
4.1. Resultados de las 3 pruebas a una velocidad de 0.168 m/s.	53
4.2. Resultados de las 3 pruebas a una velocidad de 0.33 m/s.	53
4.3. Resultados de las 3 pruebas a una velocidad de 0.5 m/s.	53
4.4. Resultados de las 3 pruebas a una velocidad de 0.208 m/s.	54
4.5. Resultados de las 3 pruebas a una velocidad de 0.361 m/s.	54
4.6. Resultados de las 3 pruebas a una velocidad de 0.5 m/s.	54
4.7. Resultados de la prueba de 1 caja a una velocidad.	55



Introducción

Dentro de las necesidades humanas, el transmitir información ha ido creciendo a la par con la evolución misma del hombre. Y dentro de las actividades desarrolladas por este, por ejemplo la industria de manufactura, es imprescindible mostrar esta información, para establecer una comunicación adecuada.

En la industria de fabricación es común ver autoadhesivos con fechas, código de barras, números de serie, nombres y descripciones en las etiquetas pegadas en la caja de un determinado producto. La demanda de estos, requiere el uso de estas etiquetas para brindar una información no solo adecuada y ordenada, sino también, de algo relevante y fácil de entender.

El motivo para la utilización de una etiqueta autoadhesiva es la manera sencilla de adherirse a muchos tipos de superficie.

La aplicación de las etiquetas autoadhesivas se pueden realizar de muchas maneras; sin embargo, por la gran demanda que origina mostrar información mediante los autoadhesivos, se utilizan máquinas etiquetadoras autoadhesivas automáticas.

Actualmente, en el Perú, hay pocas empresas que fabriquen máquinas etiquetadoras eficientes y automatizadas para cajas. Así, la mayor parte de la industria las importa a un costo elevado.

La presente tesis plantea el desarrollo de un sistema de control electrónico para una máquina etiquetadora autoadhesiva automática de cajas para la empresa SISCODE S.A, de manera que pueda automatizar el etiquetado en los procesos de fin de línea de sus productos.

En el capítulo 1, se presentará las características de los autoadhesivos, las tecnologías existentes para el etiquetado y la problemática de este.

En el capítulo 2, se presentará las características del sistema mecánico y electrónico de las máquinas etiquetadoras autoadhesivas automáticas para cajas.

En el capítulo 3, se presentará el diseño y la implementación del sistema de automatización de la máquina etiquetadora autoadhesiva para cajas.

En el capítulo 4, se presentará los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en el sistema de automatización de la máquina etiquetadora autoadhesiva para cajas.

Capítulo 1

ETIQUETADO DE PRODUCTOS

1.1. Descripción, función e importancia de la etiqueta autoadhesiva

La etiqueta autoadhesiva es un objeto plano y delgado que lleva incorporado pegamento en una de sus caras y una etiqueta o inscripción en la otra. Es común encontrar la etiqueta autoadhesiva en una cinta portadora de estas.

El conjunto de la cinta portadora con la etiqueta autoadhesiva está formado por tres partes, ver en la Figura 1.1:

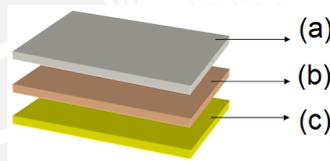


Figura 1.1: Partes de la cinta portadora y autoadhesivo.

Lámina o material frontal: Parte donde se coloca el material de la etiqueta (a). [52]

El adhesivo: Pega la etiqueta a la lámina de soporte o cinta portadora (b). [52]

Soporte siliconado: Papel soporte o cinta portadora de etiquetas (c). [52]

La fabricación del autoadhesivo puede estar hecha de varios tipos de materiales como: papel ilustración, papel termosensible, poliéster y prolipropileno.

Para la fabricación de etiquetas autoadhesivas se elige un papel soporte, el cual pasa por un proceso donde se le añade **silicona**, luego pasa a un túnel donde se produce la reticulación y polimerización. Este proceso le otorga, al papel soporte, un tratamiento antiadherente que permite que el autoadhesivo y el papel no se queden unidos permanentemente.

Posteriormente mediante presión se coloca el **adhesivo** a la cinta portadora y luego se procede al secado.

En la Figura 1.2 se observa un rollo con etiquetas autoadhesivas.



Figura 1.2: Rollo de etiquetas autoadhesivas. [8]

Es común ver etiquetas autoadhesivas con fechas, códigos de barra y descripciones pegadas a las cajas de productos que son usados día a día. Pero no sólo sirven para identificar estos en la línea de producción, sino también son útiles en la venta de estos, e interacción con el público consumidor.

Estas razones confirman la gran demanda que se tiene para el uso de las etiquetas autoadhesivas, que también sirven para ordenar, además de brindar información relevante y fácil de procesar.

1.2. Tecnologías de etiquetado

La utilización de las etiquetas en grandes cantidades se da generalmente en la industria, donde su utilización es frecuente y se requiere el uso de una máquina para hacer este trabajo. Esta máquina de etiquetar recibe el nombre de *Etiquetadora* y en inglés: *Labeling Machine* o *Labeler*.

Actualmente, no existe una división para los diferentes tipos de máquinas etiquetadoras. Al mencionar la palabra *etiquetadora* se puede abarcar desde máquinas semiautomáticas con autoadhesivos hasta máquinas modulares muy sofisticadas.

A continuación se menciona las tecnologías que existen para el proceso de etiquetado tomando de guía la diversidad de máquinas que ofrece la empresa KRONES, dado que es una de las más completas en fabricación y tecnologías utilizadas.

Etiquetadoras con adhesivo frío.- Toman las etiquetas ya cortadas de un almacén y es transportada a través de paletas recubiertas de goma hacia un rodillo encolador, para luego ser traspasadas a los envases respectivos [1].

Etiquetadoras con adhesivo caliente.- Usado para recipientes cilíndricos. Se utiliza dos fuentes de adhesivo caliente, una aplica una línea vertical de adhesivo caliente al inicio y la otra al final de la etiqueta. La aplicación es realizada con el envase girando y la etiqueta está precortada. [3].

Etiquetadoras con *sleeve*.- Son máquinas que utilizan etiquetas de Polietileno de baja densidad (LDPE) y son aplicadas por pinzas. Estas etiquetas vienen en tamaños pequeños y luego son estiradas, gracias las características de termoplástico [4].

Etiquetadoras con autoadhesivos.- Se utiliza una cinta portadora de etiquetas autoadhesivas posicionada en una bobina. El trabajo es hecho por servomecanismos para transportarlas a una cuña donde son despegadas y transferidas al envase [2].

1.3. Problemática del etiquetado autoadhesivo

La utilización de las etiquetas autoadhesivas es muy común, tanto para uso comercial como para la industria. Como se mencionó antes, las etiquetas sirven para identificar el contenido del producto, dar información precisa y para mostrar una marca para venta. Por esto último, la presentación de un producto se verá afectada si la etiqueta está mal colocada, descuadrada, con bolsas de aire o rota.

La mayoría de los problemas mencionados se deben a la forma manual de etiquetado. La precisión del hombre no siempre es fiable y en el sector industrial se le puede sumar el hecho de que los volúmenes de etiquetados crecen de acuerdo a la demanda; debido a que, el autoadhesivo se puede utilizar para muchas funciones como del envasado, almacenado o transporte. Para esta gran demanda se necesita máquinas que ayuden a la aplicación de éstas etiquetas en cajas o envases de los productos y así mejorar la eficiencia del proceso de etiquetado. Estas máquinas etiquetadoras automáticas tienen un amplio mercado y son requeridas por fábricas que van creciendo y crean líneas de producción automatizadas.

Para poder etiquetar las cajas manualmente se necesita personal, y aunque la tarea sea sencilla, si se desea etiquetar más cajas en poco tiempo, lo más probable es que se contrate más personal. Se puede observar algunas dificultades más en el Cuadro 1.1.

En cambio, automatizar la tarea de etiquetado requiere de fajas transportadoras y de máquinas etiquetadoras que tienen un costo elevado, pero el costo a largo plazo es menor a conseguir mayor personal. Además, una máquina etiquetadora autoadhesiva tiene como ventajas importantes la reducción del tiempo de etiquetado, incremento de la eficiencia, desarrollo de la línea de producción, etc.

Actualmente, en el Perú, hay muy pocas empresas que fabriquen máquinas etiquetadoras eficientes y automatizadas, y la mayor parte de la industria las importa a un costo elevado.

Finalmente podemos llegar a la conclusión que siempre ha existido la necesidad de transportar, contener, almacenar o envasar objetos, materiales, productos u otros. En la industria esta necesidad está vinculada al manejo de información descriptiva y precisa del contenido de la caja. La información mediante el uso de etiquetas autoadhesivas es la manera más común y sencilla de poder seleccionar e informarse del contenido del recipiente y ayudar a la manufactura. A medida que crecen las líneas de producción, y la demanda de productos es mayor, la forma de etiquetar estos eficientemente se convierte en un problema importante.

La numerosa mano de obra y el tiempo que son necesarios para etiquetar cajas manualmente, tienen como consecuencia una muy baja eficiencia y puede surgir un cuello de botella.

Problemas	Explicación
1.- Máquinas importadas	En el mercado nacional, las máquinas etiquetadoras son importadas de otros países. La importación implica alto costo y mucho tiempo de espera hasta que llegue la máquina.
2.- Ergonomía	La tarea de etiquetado manual implica una posición corporal estresante e incómoda.
3.- Precisión de la etiqueta sobre la superficie	Cuando se empieza el etiquetado, la posición de la etiqueta depende de la destreza y técnica de la persona. El desempeño de una máquina automatizada es mayor, ya que depende de la precisión del sensor a usar.
4.- Tiempo de etiquetado	Un operario puede etiquetar 40 cajas por minuto. En cambio una máquina etiquetadora de cajas automatizada puede superar las 100 cajas por minuto. [37]

Cuadro 1.1: Cuadro de problemas

El alto costo y tiempo de retraso que origina importar una máquina etiquetadora autoadhesiva automatizada es otro problema importante que puede retrasar la producción.

Capítulo 2

SISTEMA DE UNA ETIQUETADORA AUTOADHESIVA AUTOMÁTICA PARA CAJAS

2.1. Máquina etiquetadora autoadhesiva

Es el conjunto de elementos necesarios para etiquetar con autoadhesivos varios tipos de productos. Este conjunto puede estar automatizado de forma neumática, electro-mecánica o electrónica. En esta tesis se abarcará la forma electrónica. Se puede agregar que la máquina etiquetadora autoadhesiva automática se define por la forma de aplicar la etiqueta y por sus sistemas mecánico y electrónico.

2.1.1. Método de aplicación

Las máquinas etiquetadoras autoadhesivas pueden agruparse según el tipo de etiqueta, superficie a etiquetar y manera de etiquetar.

Para cajas

Entre los objetos más comunes para etiquetar están las cajas, que gracias a su gran utilidad para el envasado o empaquetado son necesarias en procesos de manufactura.

Normalmente se colocan etiquetas autoadhesivas sobre o en uno de los lados de la caja. Las máquinas etiquetadoras autoadhesivas automáticas para cajas son las más comunes en el mercado. Aplicar una etiqueta autoadhesiva sobre una caja se puede describir en tres partes, mostrados en la Figura 2.1:

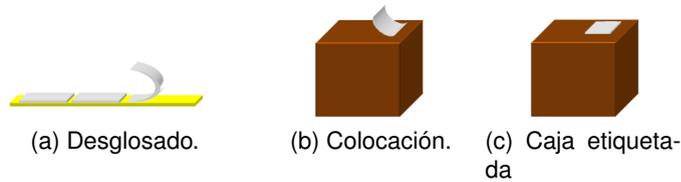


Figura 2.1: Etiquetado de una caja

2.1.2. Funcionamiento de etiquetadoras autoadhesivas para superficie plana

Se puede observar que la aplicación de las etiquetas se logra mediante el contacto entre la superficie a etiquetar y un medio que ejerce presión, en este caso las manos. Se llamará *contacto de superficie* a la acción de acercar el medio al objeto a etiquetar.

Etiquetadora autoadhesiva mediante contacto de superficie

De acuerdo a lo revisado en [26] y [5] se puede concluir que en la mayoría de máquinas autoadhesivas automáticas para cajas utiliza el método de contacto de superficie.

En la máquina de la Figura 2.2 se observan dos ejes principales, una contiene la cinta con las etiquetas autoadhesivas (Figura 2.2 (a)) y la otra recibe la cinta sin las etiquetas (Figura 2.2 (b)). El transporte de la cinta de una bobina a otra es tensado con los rodillos guía (Figura 2.2 (c)). La cinta portadora de etiquetas se desplaza hacia la cuña (Figura 2.2 (d)) por donde pasará la superficie de la caja, enviada por la faja transportadora, y se transferirán las etiquetas.

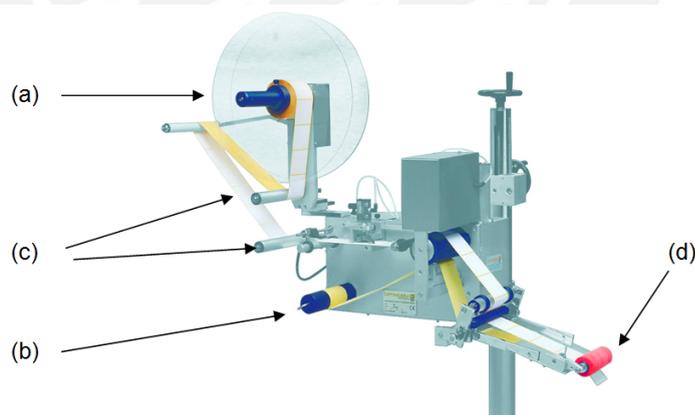


Figura 2.2: Máquina etiquetadora autoadhesiva automática [15].(a) Contenedor de la cinta. (b) Receptor de la cinta. (c) Rodillos guía. (d) Cuña.

El número de ejes o rodillos guía dependen del material de la cinta portadora y de las etiquetas. La ubicación de estos ejes se hace de manera que se mantenga toda la cinta tensada durante su movimiento. En la Figura 2.3, se observa que mediante los ejes y el accionamiento de un servomecanismo se realiza un movimiento circular (Figura 2.3 (a)), que está conectado a los rodillos de arrastre y receptor de la cinta. Al mover la cinta tensada se obtiene un desenrollado continuo desde el portador de

etiquetas. En la cuña de aplicación, posicionada en un ángulo adecuado (Figura 2.3 (b)), la etiqueta es despegada de la cinta y transferida al envase gracias al empuje y tracción. Para realizar la transferencia de la etiqueta a la caja, la velocidad de la etiqueta debe coincidir con la velocidad de la faja transportadora que envía la caja.

Se utiliza un sensor (Figura 2.3 (c)) para obtener la posición exacta para poder efectuar el accionamiento del sistema. Con otro sensor ubicado en la parte superior de la cinta portadora de etiquetas (Figura 2.3 (d)) se registra la taca o fin de una etiqueta para detener el movimiento del servomecanismo.

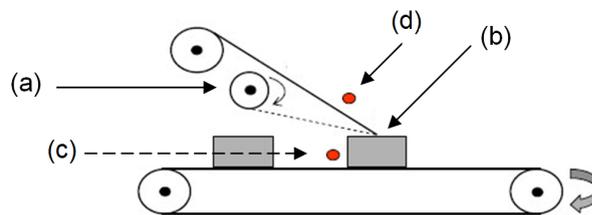


Figura 2.3: Traspaso de la etiqueta a la caja. (a) Eje motorizado. (b) Cuña. (c) sensor de presencia.(d) Sensor de fin de etiqueta o de taca.

En el diagrama de bloques de la Figura 2.4 se tiene una explicación simplificada del funcionamiento del sistema de transferencia de la etiqueta.

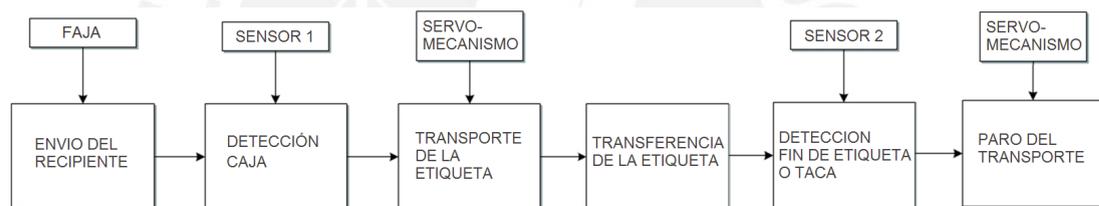


Figura 2.4: Diagrama de bloques para el etiquetado mediante contacto por superficie.

2.2. Análisis de la estructura mecánica

La estructura mecánica se encarga, principalmente, de :

- Alojarse el rollo de la cinta portadora de etiquetas autoadhesivas.
- Facilitar el transporte de la etiqueta autoadhesiva.
- Desglosar la etiqueta de la cinta portadora.
- Almacenar la cinta sobrante sin las etiquetas

La parte mecánica define características como las medidas, cantidad de etiquetas, tamaño de la máquina etiquetadora y tamaño de las cajas que se van a etiquetar.

El ejemplo mostrado en la Figura 2.5, presenta la estructura mecánica de una etiquetadora autoadhesiva por contacto de superficie para cajas y se muestran sus principales elementos mecánicos. De acuerdo a lo revisado en [9], [35], [23], [7], [46], [33],

[45] y [37] el material de las principales piezas de una máquina etiquetadora es acero inoxidable con aleación de aluminio bajo la norma AISI 304. [15].

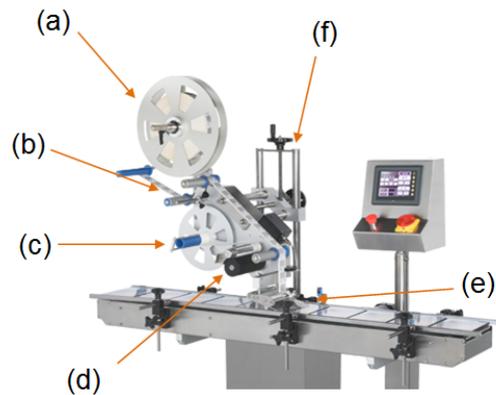


Figura 2.5: Descripción de la parte mecánica de la máquina etiquetadora [9]. (a) Contenedor de cinta. (b) Sistema de ejes mecánicos. (c) Receptor de cinta. (d) Rodillos de arrastre. (e) Cuña. (f) Sistema de posicionamiento

La máquina utiliza una faja transportadora cuya función es que las cajas lleguen de manera adecuada para poder proceder con el etiquetado.

2.2.1. Descripción de la estructura mecánica

Las partes mecánicas descritas son las más importantes y generales para el sistema. Existen máquinas etiquetadoras autoadhesivas automáticas en las cuales varían el número o funciones de algunas partes.

Ejes mecánicos

También llamados rodillos guía. Su característica principal es el giro libre sobre su eje. Se utilizan para mantener tensada la cinta portadora y guiar las etiquetas autoadhesivas hacia la cuña. El largo de los ejes debe ser mayor al ancho de las etiquetas y tener un diámetro que no provoque un doblado extremo, debido a que la etiqueta podría desglosarse. Ver Figura 2.6.



Figura 2.6: Eje mecánico. (a) Eje. (b) Diámetro del rodillo.

Rodillos de arrastre

Por lo general son dos rodillos. El rodillo 1 tiene una transmisión con el motor para poder mover toda la cinta portadora de etiquetas. El rodillo 2 es un eje mecánico y sirve para aprisionar la cinta portadora contra el rodillo 1. La presión entre los rodillos no es más que la necesaria para arrastrar la cinta con etiquetas. El rodillo 1 tiene que

ser recubierto de caucho para poder hacer presión contra el rodillo 2. El rodillo 2 tiene una superficie rugosa para poder aumentar la fuerza de fricción y al pasar la cinta de manera tangencial entre los dos rodillos, pueda ser halada [37]. Ver Figura 2.7.

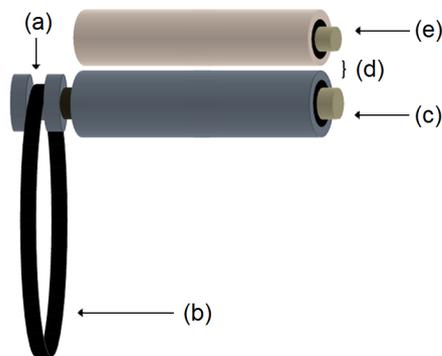


Figura 2.7: Rodillos de arrastre. (a) Polea. (b) Faja de transmisión. (c) Rodillo 1. (d) Paso de la cinta. (e) Rodillo 2.

Cuña

También es llamado plancha separadora de etiquetas. Es un elemento mecánico plano y delgado el cual termina con forma de punta de flecha. Tiene la función de despegar las etiquetas de la cinta portadora. Las medidas de la cuña dependen del ancho máximo de las etiquetas, debe poseer un chaflán y la punta debe ser redondeada para permitir un fácil deslizamiento de la cinta. Ver Figura 2.8.

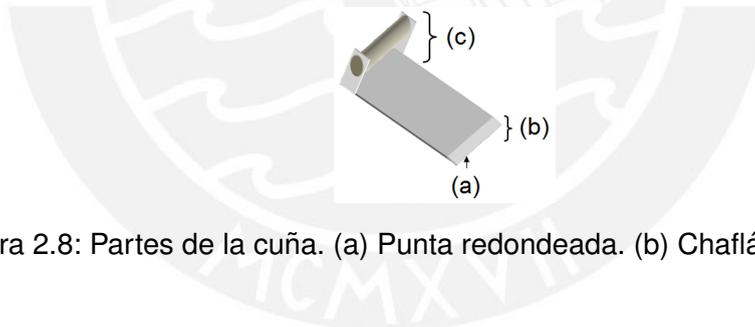


Figura 2.8: Partes de la cuña. (a) Punta redondeada. (b) Chaflán. (c) Soporte.

Contenedor de cinta

Aquí se coloca el rollo de autoadhesivos. Posee un rodillo y generalmente dos cubiertas de soporte. Ver Figura 2.9. El rodillo puede girar libremente o poseer un tipo de freno que ayude a la tensión de la cinta. El diámetro del rodillo puede variar, puesto que tiene que ir de acuerdo al radio del rollo de etiquetas autoadhesivas que se van a utilizar. También se debe tener en cuenta el diámetro exterior del rollo con etiquetas para que la cubierta de soporte pueda mantenerla. Uno de los soportes puede moverse de acuerdo al ancho mínimo y máximo de las etiquetas que se puedan colocar.

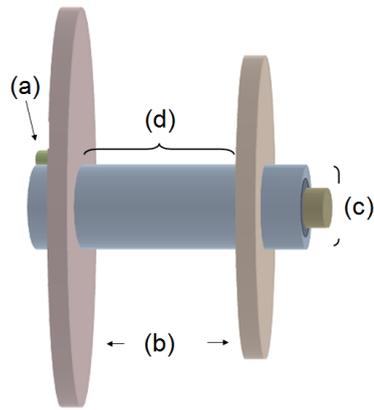


Figura 2.9: Partes del contenedor de cinta. (a) Freno. (b) Soportes. (c) Diámetro del rodillo. (d) Ancho del rollo de etiquetas.

Receptor de cinta

Recepciona la cinta sin autoadhesivos cuando estos han sido desglosados. El contenedor no posee un giro libre ya que esta conectada al servomecanismo de movimiento. Esto asegura que la cinta sin etiquetas se enrolle con la misma tensión de la cinta [37]. El diámetro del rodillo receptor normalmente es menor a la del rodillo contenedor. Pueden o no poseer una especie de gancho que facilita el ajuste de la cinta sin etiquetas y fijar el extremo de la cinta portadora al rodillo receptor. Ver Figura 2.10.

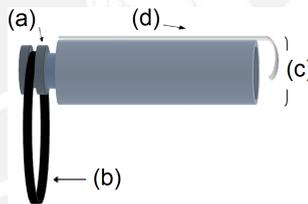


Figura 2.10: Contenedor sin etiquetas. (a) Polea. (b) Faja de transmisión. (c) Diámetro del rodillo. (d) Gancho.

2.3. Análisis del Sistema Electrónico

El sistema electrónico se encarga, principalmente, de :

- Controlar las funciones de la máquina etiquetadora autoadhesiva automática.
- Detectar cuando la caja está en la ubicación correcta para etiquetar.
- Darle marcha al actuador para que mueva los rodillos de arrastre y detenerlo cuando se detecte la taca o fin de la etiqueta autoadhesiva.
- Mover el eje la bobina receptora.

Los principales elementos electrónicos se presentan en la Figura 2.11.

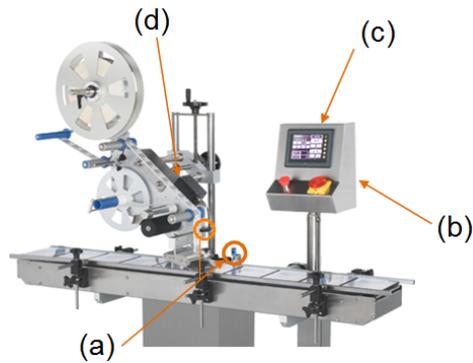


Figura 2.11: Descripción de la parte electrónica [9]. (a) Sensores. (b) Interfaz. (c) Elemento de control. (d) Actuador.

Estos elementos definen características como velocidad de etiquetado, facilidad de uso, versatilidad, precisión y potencia consumida por la máquina. También definen el precio de la máquina. De acuerdo a lo revisado en [9], [35], [23], [7], [46], [33], [45] y [37] el sistema puede tener comunicación con un ordenador.

2.3.1. Descripción del sistema electrónico

Las partes descritas en esta subsección son generales y dependen del precio de la máquina.

Elemento de control

Es el software y hardware que se encarga del funcionamiento del sistema. Hay varias maneras de controlar el sistema electrónico (sensores, actuadores, interfaces, etc.)

Un ejemplo es el NLT-200 de Neostarpack Co cuyo sistema es controlado por un microprocesador. Ver Figura 2.12.



Figura 2.12: Máquina etiquetadora autoadhesiva automática NLT-200. [35]

Otro ejemplo es la utilización del PLC como control de las máquinas etiquetadoras autoadhesivas DDL-601 de Guangzhou DADE Packing Machinery, DPM-A de Shanghai Skilt Machinery Equipment, AL-3130 de ABCDPACK y YXT-BB de Shanghai Kuixing Packaging Machinery.

Actuador

Se utiliza un motor que transforma energía eléctrica a energía mecánica rotacional. El motor usado puede ser de dos tipos.

Motor DC.- Son accionados desde una fuente de corriente directa. Poseen un giro continuo mientras se mantenga alimentado por la fuente de energía. Se puede utilizar una caja reductora para proporcionar un torque mayor.

Motor paso a paso.- Son accionados desde una fuente de corriente directa controlada. Poseen un movimiento limitado por el número específico de grados por cada pulso eléctrico recibido en su unidad de control. [14].

Se encontró métodos de control del motor paso a paso, utilizando inductancias y resistencias colocadas en serie a la fase del motor [36].

En el mercado de máquinas etiquetadoras comerciales, se utilizan mucho los motores paso a paso como por ejemplo la máquina etiquetadora autoadhesiva LA-100 de Autopack Co, que posee un motor paso a paso como actuador. Ver Figura 2.13.

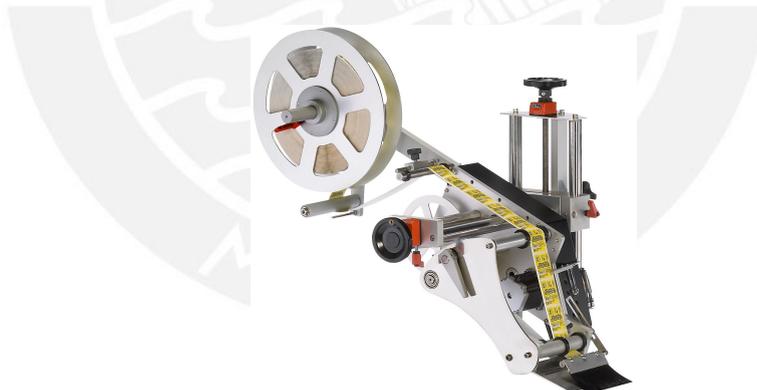


Figura 2.13: Máquina etiquetadora autoadhesiva automática LA-100. [7]

Sensores

Dispositivos que detectan magnitudes físicas. En el sistema se observan dos sensores de diferentes tipos: Próximidad y Fin de Taca. Este tipo de sensores también son utilizados en la máquina etiquetadora especificada en [37].

Proximidad.- Su objetivo es detectar cuando la caja enviada por la faja transportadora pasa por la posición adecuada. Pueden ser:

- **Fotoeléctrico de haz transmitido:** Utiliza la luz para detectar objetos. Se requiere de un emisor y un receptor. Distancias medianas (dm).

Como ejemplo se tiene al sensor WLL170-2P132, utilizado en la máquina etiquetadora autoadhesiva automática modelo LA-100, marca AXUS.[7]. Ver Figura 2.14.



Figura 2.14: Sensor fotoeléctrico modelo WLL170-2P132, marca SENSICK. [44]

- **Fotoeléctrico de campo fijo:** Utiliza la luz de uno de los leds y recibe el rebote con el otro. Detecta distancias cortas (cm). La caja puede ser detectada por el sensor cuando este cerca y la luz del sensor pueda reflejarse.

Fin de etiqueta o taca.- Su objetivo es detectar la llegada de la siguiente etiqueta. Pueden ser:

- **Sensor de ranura:** Emite luz por un extremo y lo recibe por el otro. Son en forma de C. Se usan para detectar el borde de la etiqueta.

Como ejemplo se tiene al sensor GK-14 de Leuze electronic, utilizado en la máquina etiquetadora autoadhesiva automática modelo DPM-A, marca Shangai Skilt Machinery. [46]. Ver Figura 2.15.



Figura 2.15: Sensor fotoeléctrico modelo GK-14, marca Leuze electronic. [19]

- **Sensor de taca:** Utilizan un lente por donde emiten un haz de luz y diferencian tonalidades pre establecidas. Al pasar la etiqueta autoadhesiva en el rango de visión del sensor, se puede detectar el momento que cambia la tonalidad de la taca.

Interfaz

Medio físico de la máquina que se utiliza para manejar el funcionamiento del sistema. Permiten el ingreso de datos e instrucciones y extraer información de la máquina etiquetadora autoadhesiva automática.

En el mercado se observa como ejemplo a la máquina etiquetadora autoadhesiva DPM-A que posee un Touch-screen HMI, modelo 6AV6648-01A de la marca SIEMENS [46]. Ver Figura 2.16.



Figura 2.16: Máquina con pantalla táctil 6AV6648-01A SIEMENS. [44]

Comunicación

La transmisión de datos depende de los elementos a comunicarse. Se realiza en base a los estándares y protocolos existentes.

Comunicación Serial RS-232 y R-S485.- Estándares de comunicación serial que se utiliza principalmente para comunicar PC con PC y PC's con microcontroladores de manera full duplex. Utiliza el protocolo de comunicación asíncrono que define velocidad de transmisión, bits por carácter, bit de paridad y número de bits de parada. [34].

- **RS-232:** Estándar que permite una comunicación punto a punto. Una velocidad máxima de 10 Kbps y 15 m de distancia para la transmisión. [34].

En [25] se observa este tipo de comunicación para conectar el sistema de control con una PC y un HMI.

- **RS-485:** Estándar que permite una comunicación multi-punto. Velocidad máxima de 10 Mbps y 1200 m de distancia para la transmisión.[34] . Brinda inmunidad al ruido eléctrico.

Ethernet.- Estándar que permite una comunicación con computadores ubicados en una red de área local. También se le conoce como IEEE 802.3 que define lo que se conoce comúnmente como el protocolo CSMA/CD [16]. Tiene definidas las velocidades de transmisión:

- 10 Mbps-10 Base-T Ethernet
- 100 Mbps Ethernet, Fast
- 1000 Mbps Gigabit Ethernet
- 10,000 Mbps Ethernet 10 Gigabit

Capítulo 3

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

3.1. Objetivos de la tesis

La tesis consiste en un proyecto que muestra el desarrollo de un sistema de control electrónico para una máquina etiquetadora autoadhesiva automática para la empresa SISCODE S.A. Los objetivos serán realizados utilizando la estructura mecánica otorgada por la empresa.

3.1.1. Objetivo general

Diseñar e implementar el sistema de control electrónico de una máquina etiquetadora autoadhesiva automática que permita etiquetar una caja correctamente, esto es, colocar una etiqueta autoadhesiva sin dobleces y bien posicionada sobre la superficie superior de la caja. Esta caja será enviada por una faja transportadora.

3.1.2. Objetivos específicos

- Obtener la velocidad de la caja enviada por la faja transportadora.
- Alcanzar una velocidad de etiquetado 0.5 m/s. Velocidad promedio del mercado.
- Controlar la velocidad de etiquetado en base a la velocidad de la caja enviada por la faja transportadora.
- Enviar la cantidad de número de etiquetas utilizadas a un ordenador.

3.2. Planteamiento y requisitos del sistema general

Se ha observado que una manera de etiquetar cajas es por *contacto de superficie*. Utilizando este método y tomando como guía el funcionamiento de una máquina etiquetadora autoadhesiva automática detallada en el capítulo 2, se desarrollará el sistema electrónico para cumplir los objetivos de la tesis.

Se tomará en cuenta detalles específicos para el sistema como:

- El objeto sobre el cual se coloca la etiqueta es una caja de medidas entre 5 cm hasta 10 cm por lado.
- La faja transportadora es un elemento del sistema mecánico necesario. Sin embargo, no se toma en cuenta en la investigación porque el sistema desarrollado funcionará de manera independiente de la faja.
- El sistema se desarrolló utilizando la estructura mecánica proporcionada por la empresa SISCODE S.A.

Para el funcionamiento automático de la máquina, se requiere una faja transportadora de cajas. Depende de la posición de las cajas, cuando llegan a la máquina, para que se puedan etiquetar correctamente. Se realizó el diseño del sistema dividiéndolo en sistema mecánico y sistema electrónico.

3.3. Requerimientos y determinación del sistema mecánico

3.3.1. Observación de la estructura mecánica proveída por SISCODE S.A

Como se observa en la Figura 3.1, la estructura mecánica realizada por SISCODE S.A posee los elementos mecánicos mencionados en el capítulo 2; sin embargo, esta estructura no cuenta con la transmisión para el motor ni para el receptor de cinta.



Figura 3.1: Estructura mecánica de la máquina etiquetadora autoadhesiva.

3.3.2. Determinación y cálculo de los parámetros del actuador para el sistema mecánico

El accionamiento de la máquina etiquetadora autoadhesiva depende esencialmente del actuador. El actuador funciona sobre el sistema mecánico para realizar el transporte de la cinta portadora de etiquetas. La combinación de las partes de la estructura

mecánica que intervienen en el transporte de la cinta, proporcionan la fuerza necesaria para mover la cinta contenedora de etiquetas. Esta fuerza proporciona el parámetro *torque* para determinar el actuador.

El funcionamiento de la máquina etiquetadora autoadhesiva requiere precisión; por esta razón es importante mencionar los medios adecuados para la *transmisión* del actuador con el rodillo de arrastre y el contenedor sin etiquetas.

Torque

Los elementos descritos en el capítulo 2, intervienen en el transporte de la cinta portadora de etiquetas. Estos elementos no son ideales y otorgarán resistencia a su movimiento. Esta resistencia se debe a la fricción (ejes mecánicos, rodillos de arrastre), peso y freno del contenedor de etiquetas, fricción por la punta de la cuña y ángulo de posición de la cuña.

Además, la cinta es desenrollada desde el contenedor por lo tanto tendrá un radio variable según la cantidad de etiquetas usadas. Este elemento proporcionará un torque dependiendo del radio del rollo contenedor y el freno utilizado en el contenedor de etiquetas mostrado en la Figura 3.2

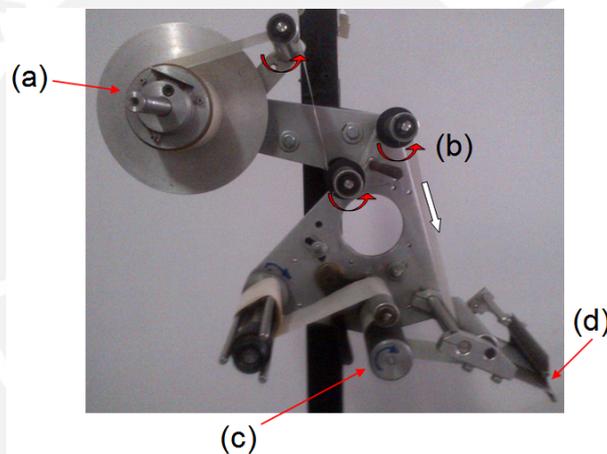


Figura 3.2: Fuerzas contrarias al movimiento. (a) Contenedor de etiquetas y freno. (b) Fuerza contraria en los ejes. (c) Rodillo de arrastre. (d) Cuña

Se observa que los efectos contrarios al movimiento de la cinta, deben ser calculados desde el eje del rodillo de en la Figura 3.2 (c), porque es el elemento que proporciona la fuerza para mover toda la cinta autoadhesiva.

Para el cálculo del torque se utilizó un brazo acoplado (masa despreciable) al eje, a una distancia de 2.1 cm y se le aplicó una masa variable hasta mover la cinta. Se tomó datos con el rollo de etiquetas con diámetro mínimo, porque ejerce el máximo torque para moverse; freno máximo y freno mínimo.

$$F = m \times g \quad (3.1)$$

$$\text{Torque} = F \times d \quad (3.2)$$

Utilizando el freno máximo (con 5 Kg):

$$F = 5 \times 9,81 = 49,05 \quad N$$

$$Torque = 49,05 \times 0,021 = 1,03 \quad Nm$$

Utilizando el freno mínimo (con 1.2 Kg):

$$F = 1,2 \times 9,81 = 11,77 \quad N$$

$$Torque = 11,77 \times 0,021 = 0,247 \quad Nm$$

Los torques calculados son parámetros que se toman en cuenta para la elección del motor a utilizar. Estos valores son los mínimos que debe poseer el motor para poder dar movimiento y jalar la cinta portadora de etiquetas.

Transmisión

El funcionamiento de la máquina etiquetadora requiere una precisión alta para mover el espacio requerido en la utilización de cada etiqueta autoadhesiva. De las opciones de actuadores, el motor paso a paso es el adecuado por tener una precisión de movimiento a grados sexagesimales. (1.8° generalmente en motores paso a paso de imán permanente. [17])

De acuerdo a lo revisado en [9], [35], [23], [7], [46], [33] y [45] se observa que las máquinas etiquetadoras autoadhesivas poseen una precisión aproximada de 1 mm para aplicar la etiqueta. Por lo tanto, se calcula la cantidad de grados que se requiere para mover 1 mm la etiqueta, esto es en el rodillo halador de etiquetas (Rodillos de arrastre). Ver Figura 3.3

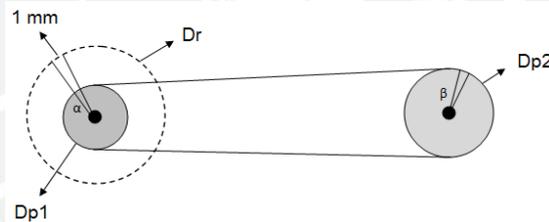


Figura 3.3: Transmisión de movimiento

En la Figura 3.3, Dr es el diámetro del rodillo halador de etiquetas, $Dp1$ el diámetro de la polea que se coloca en el eje del rodillo halador de etiquetas, $Dp2$ el diámetro de la polea que se coloca en el eje del motor paso a paso, α representa el ángulo que se mueve el rodillo halador de etiquetas por cada 1 mm y β representa el ángulo que se mueve la polea conectada al eje del motor. Calculando las dimensiones necesarias para las poleas, conociendo $Dr = 39,5 \text{ mm}$ y $\beta = 1,8^\circ = 0,03141623 \text{ rad}$:

$$\alpha \times \frac{Dr}{2} = 1 \quad mm \quad (3.3)$$

$$\alpha \times \frac{Dp1}{2} = \beta \times \frac{Dp2}{2} \quad (3.4)$$

Operando 3.3:

$$\alpha = 0,050644 \quad rad$$

Resolviendo la Ecuación 3.4:

$$0,050644 \times \frac{Dp1}{2} = 0,03141623 \times \frac{Dp2}{2}$$

$$\frac{Dp1}{Dp2} = 0,62033$$

En la transmisión se emplean dos poleas dentadas y una faja dentada para que la faja no patine en las poleas y se obtenga exactitud en la relación de transmisión. El estándar utilizado, para las medidas de los dientes en las poleas, es XL 037. Las poleas que cumplen una relación cercana a la hallada de la Ecuación 3.4 son: 13XL 037 y 21XL 037 [31]. La relación es: $\frac{Dp1=21,02mm}{Dp2=33,96mm} = 0,61896$. Lo que significa que por cada paso del motor, el rodillo halador de etiquetas moverá 1.00244 mm.

En la Figura 3.4 se muestran las poleas dentadas y la transmisión calculada.



Figura 3.4: Correa dentada XL 116, poleas dentadas 13 XL037 y 21 XL037.

3.4. Planteamiento del sistema electrónico

3.4.1. Requerimiento e identificación del sistema electrónico

El sistema electrónico posee:

- Control de sensores y driver para mover el motor.
- Manejo del funcionamiento por el usuario mediante una interfaz.
- Comunicación con una PC utilizando un estándar de transmisión y un protocolo el envío de datos.

Observando el sistema, se encuentran dos perspectivas para desarrollar el sistema electrónico de la máquina etiquetadora autoadhesiva.

Sistema con Hardware unido Desarrollar el sistema como uno solo y realizar un hardware que acople sus elementos conjuntamente para el funcionamiento. Debe diseñarse en conjunto: el microcontrolador y circuitos de sensores, drivers, comunicación, etc; en el mismo hardware.

Sistema con Hardware separado.- Estudiar el sistema como partes separadas y realizar el hardware de cada parte para luego conectarse. Puede diseñarse circuitos de sensores, control, driver y comunicación de manera independiente.

3.4.2. Esquema general del sistema electrónico

Utilizar un esquema del sistema electrónico con partes separadas es conveniente porque la máquina etiquetadora autoadhesiva posee partes con funciones diferenciadas. Estas partes son: el driver para el motor; sistema de control de sensores y motor; interfaz y comunicación. Las partes pueden desarrollarse independientemente y posteriormente conectarlas para realizar el funcionamiento del sistema.

Driver del motor.- es el circuito de potencia que manejará valores altos de corriente y voltaje. Por lo tanto es conveniente utilizarlo separado del resto del sistema. Realizar un driver con un hardware separado es útil para su reutilización con otros motores y en partes fuera del sistema.

Control.- es el circuito que recibe las señales de los sensores y manipula el motor según el algoritmo desarrollado para su funcionamiento. Además posee una comunicación con la interfaz para manipular el funcionamiento de la máquina etiquetadora autoadhesiva.

Interfaz y comunicación.- posee un hardware y software separados del control para poder darle una independencia de ubicación y además pueda ser reemplazado. Esta parte también se encarga de recibir y transmitir datos enviados por el ordenador.

El esquema general se observa en la Figura 3.5.

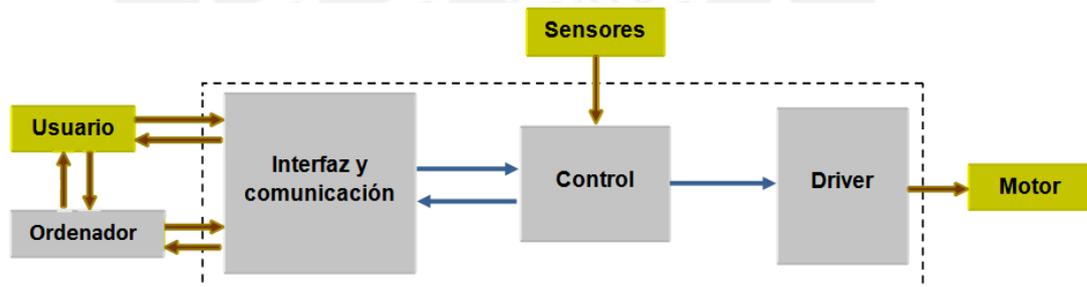


Figura 3.5: Esquema general del sistema electrónico

3.5. Desarrollo del Driver

3.5.1. Actuador

El driver es el circuito de potencia del sistema y depende del motor a usar. Este circuito funcionará de acuerdo al circuito de control y podrá ser utilizado en otros motores de igual tipo.

Selección del tipo de motor

Se realiza un Cuadro comparativo de las dos alternativas que se mencionó en el capítulo 2, motor paso a paso y el motor DC, ver Figura 3.1.

Motor	DC	Paso a paso
Control de movimiento	Utilizando señales PWM	Mediante pulsos
Precisión	Requiere la utilización de encoders	Sólo se mueve un número fijo de grados
Frenado	Depende de la carga que tenga acoplado en el eje	Se queda detenido con alto torque
Torque	Necesita una caja reductora para proporcionar un par alto	Posee un par muy elevado a poca velocidad

Cuadro 3.1: Cuadro comparativo entre el motor entre DC y paso a paso.

De lo expuesto la mejor alternativa es utilizar un motor paso a paso debido a que nos brinda mayor precisión, un torque elevado cuando está detenido y la velocidad de una máquina etiquetadora comercial es baja.

Motor paso a paso

Básicamente hay tres tipos de motores paso a paso. *Imán permanente*, poseen un rotor magnetizado. *Reluctancia variable*, poseen rotores de hierro dulce. *Híbridos*, combinan aspectos de los dos anteriores. Los motores más comunes en el mercado son los de imanes permanentes e híbridos. Estos motores se encuentran principalmente en dos tipos, unipolares y bipolares. En la Figura 3.6 se muestra la forma esquemática de los motores unipolares y bipolares.

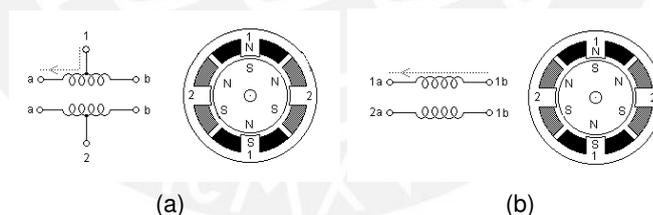


Figura 3.6: Esquemáticos de motores paso a paso. (a) Motor unipolar de imán permanente. (b) Motor bipolar de imán permanente. [32]

Como se observa, los motores unipolares usualmente poseen 5 o 6 cables y los motores bipolares 4. También hay motores bifilares, los cuales tienen ocho cables y permiten el acceso a las cuatro bobinas, por lo que pueden ser usados como bipolares o unipolares conectando los cables en serie o paralelo.

Comparación entre motores unipolares y bipolares

La elección entre motores unipolares y bipolares se basa en el torque que entreguen; estos son el torque pull-in y pull-out. El pull-in torque muestra el torque máximo de fricción con la que el motor puede empezar a moverse sin perder ningún paso. El pull-out torque es el más importante porque muestra el torque total disponible según la velocidad a la que se maneje. En la Figura 3.7 se observa los torques mencionados.

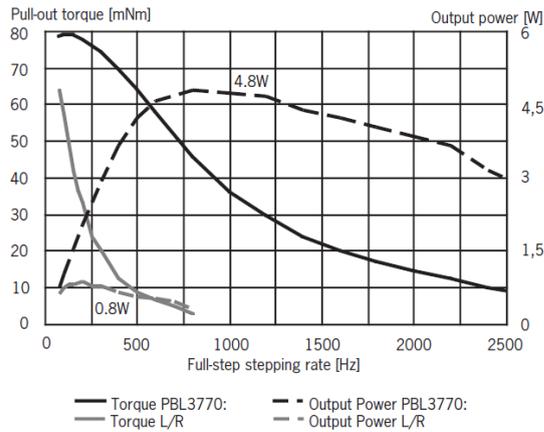


Figura 3.7: Pull-out torque utilizando un control bipolar respecto a uno unipolar.[56]

Se observa que la potencia del motor pueden incrementarse en un factor de 6 al utilizar un driver bipolar PBL3770 en lugar del método unipolar L/R.[56], por lo tanto el motor bipolar es el más adecuado como actuador.

Requerimientos y elección del motor bipolar

De acuerdo a las especificaciones; el motor debe mover la cinta portadora de etiquetas a una velocidad máxima de 0.5 m/s o 500 mm/s. Utilizando el modo *half step* para mover el motor, se convierte la velocidad lineal a pulsos por segundo:

$$2 \text{ pulsos} = 1 \text{ paso} = 1 \text{ mm}$$

$$1000 \text{ pulsos/s} = 500 \text{ mm/s} = 0,5 \text{ m/s}$$

Además, según lo expuesto en 3.3.2 el motor debe brindar un *Pull out torque*, para mantener una carga en movimiento, mayor a 1.03 Nm a la frecuencia de 1000 pps.

La empresa SISCODE S.A posee un motor bifilar modelo 86J1880-842 de la marca JMC-MOTION, con especificaciones en el Cuadro 3.2.

Ángulo por paso	Holding Torq.(N.m)	Current/ph(A)	Res/ph(ohms)
1.8 grados	4.5	4.2	0.8
Induct/ph(mH)	Detent Torq.(gcm)	Rotor Inertia(g-cm ²)	Wire Numbers
3.5	1300	1400	8

Cuadro 3.2: Especificaciones del motor 86J1880-842, marca JMC-MOTION.[30].

Las especificaciones mostradas anteriormente superan los parámetros mínimos requeridos, por lo tanto se utilizará como actuador. El torque máximo (motor detenido) es de 4.5 Nm, esto asegura suficiencia en fuerza. Se observa el motor en la Figura 3.8.

El motor mostrado es bifilar, por lo que se realiza una conexión de sus cables en paralelo para funcionar de manera bipolar.

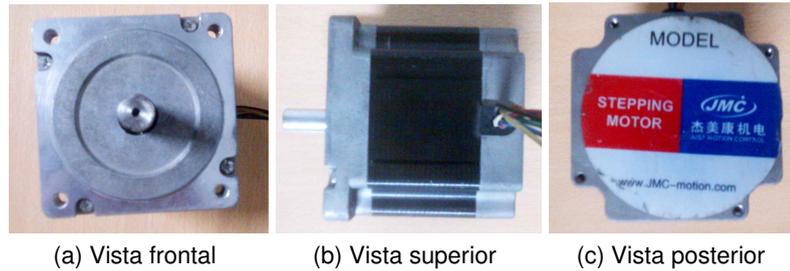


Figura 3.8: Motor 86J1880-842, marca JMC-MOTION.

3.5.2. Diseño del circuito

Los drivers para motores paso a paso comerciales, manejan corrientes hasta de 2 A por fase lo que hace imposible su utilización para el motor seleccionado (hasta 4.2 A y 48 VDC por fase). Un driver comercial que cumple los requerimientos es el R701 (marca LIN ENGINEERING) disponible en USA. En este contexto, por motivos de disposición es conveniente diseñar e implementar el circuito driver.

Técnica half stepping

El movimiento del motor bipolar se basa en generar una rotación del campo magnético a la cual se alinea el rotor. Este campo magnético se genera haciendo fluir la corriente a través de las bobinas del motor. Controlando el flujo de corriente y utilizando la técnica *half step*, se puede ubicar el campo magnético en 8 posiciones, ver Figura 3.9. La secuencia y polaridad para las posiciones se muestra en el Cuadro 3.3 .

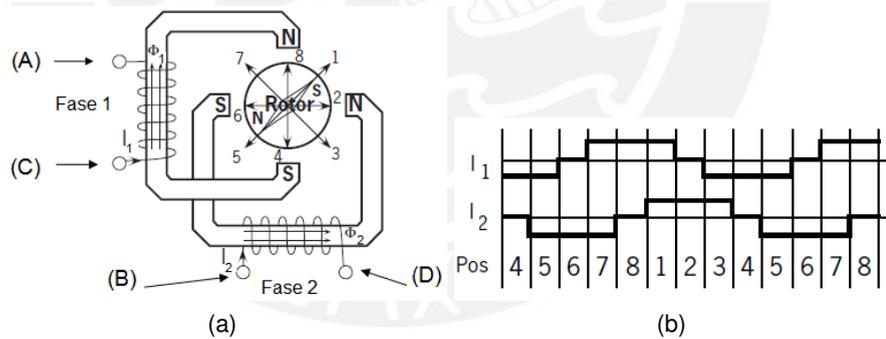


Figura 3.9: Motor paso a paso bipolar. (a) Posición del campo magnético. (b) Intensidad de corriente en cada secuencia del *half step* [55]

En la Figura 3.9 se observa que hay dos secuencias para cada fase en la que la corriente es cero. Esta transición para el cambio del sentido de la corriente, permite a las fases descargarse y poder hacer el cambio de polaridad. Este suceso permite que no suceda sobrepicos muy altos de corrientes y pueda dañar el circuito, ya que las fases son bobinas que están siendo energizadas. Por esta razón se eligió la técnica *half stepping*. Se puede observar también que el duty cycle de la onda que se envía es de 0.375 (5 secuencias en baja y 3 en alta).

Posición del campo magnético	Secuencia	Polaridad (A B C D)
1	1000	VCC GND GND GND
2	1100	VCC VCC GND GND
3	0100	GND VCC GND GND
4	0110	GND VCC VCC GND
5	0010	GND GND VCC GND
6	0011	GND GND VCC VCC
7	0001	GND GND GND VCC
8	1001	VCC GND GND VCC

Cuadro 3.3: Secuencia de pulsos y polaridad.

Diseño e implementación

El circuito diseñado consta de dos puentes H, uno para cada bobina, el circuito regulador y un Atmega8. El esquema se muestra en la Figura 3.10.

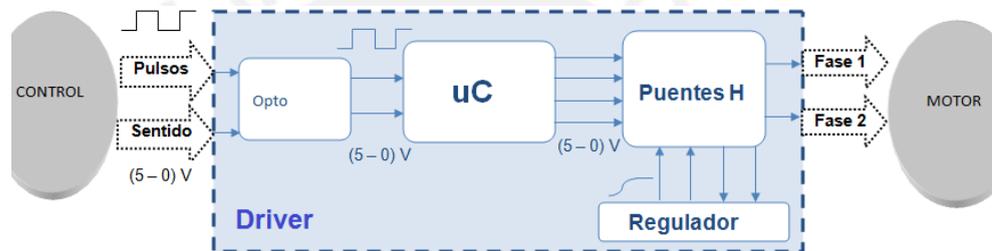


Figura 3.10: Esquema del circuito Driver. uC es el microcontrolador.

Puente H.- Permiten cambiar el sentido de la corriente en la bobina y funcionarán a frecuencias del orden de los KHz con una fuente de alimentación de 48 V, para ello se plantea el diseño que se muestra en la Figura 3.11.

Se utilizan MOSFET *Fast Switching* complementarios, mostrados en el Cuadro 3.4.

Componente	Tipo	Corriente (Ids)	Voltaje (Vds)	Rds	Vgs	Temp.
IRF 540	canal N	+ 22 A	+ 100 VDC	0.044	10 V	175°C
IRF 9540	canal P	- 22 A	- 100 VDC	0.117	-10	175°C

Cuadro 3.4: Datos de los MOSFET IRF 540 y IRF 9540.[38],[39].

Los transistores MOSFET de canal P, Q7 y Q8 (mostrados en la Figura 3.11), son accionados mediante voltajes de 48 V (OFF) y 36 V (ON) en el gate. Los transistores de canal N, Q3 y Q4, son accionados mediante voltajes de 0 V (OFF) y 12 V (ON) en el gate. Estos MOSFET poseen Rds pequeños y disipan menor potencia. Para el funcionamiento del circuito, se utiliza un valor de corriente promedio aproximado 3.4225 A. (su cálculo se explicará posteriormente).

Potencia y temperatura para los MOSFEET canal N:

$$W = I^2 \times R_{ds} = 3,4225^2 \times 0,03906 = \mathbf{0.45755 \text{ W}}; T = 0,45755 \times 62 + 25 = \mathbf{53.36 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Potencia y temperatura para los MOSFET canal P:

$$W = I^2 \times R_{ds} = 3,4225^2 \times 0,175 = \mathbf{2.0986 \text{ W}}; T = 2,0986 \times 62 + 25 = \mathbf{152.091 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

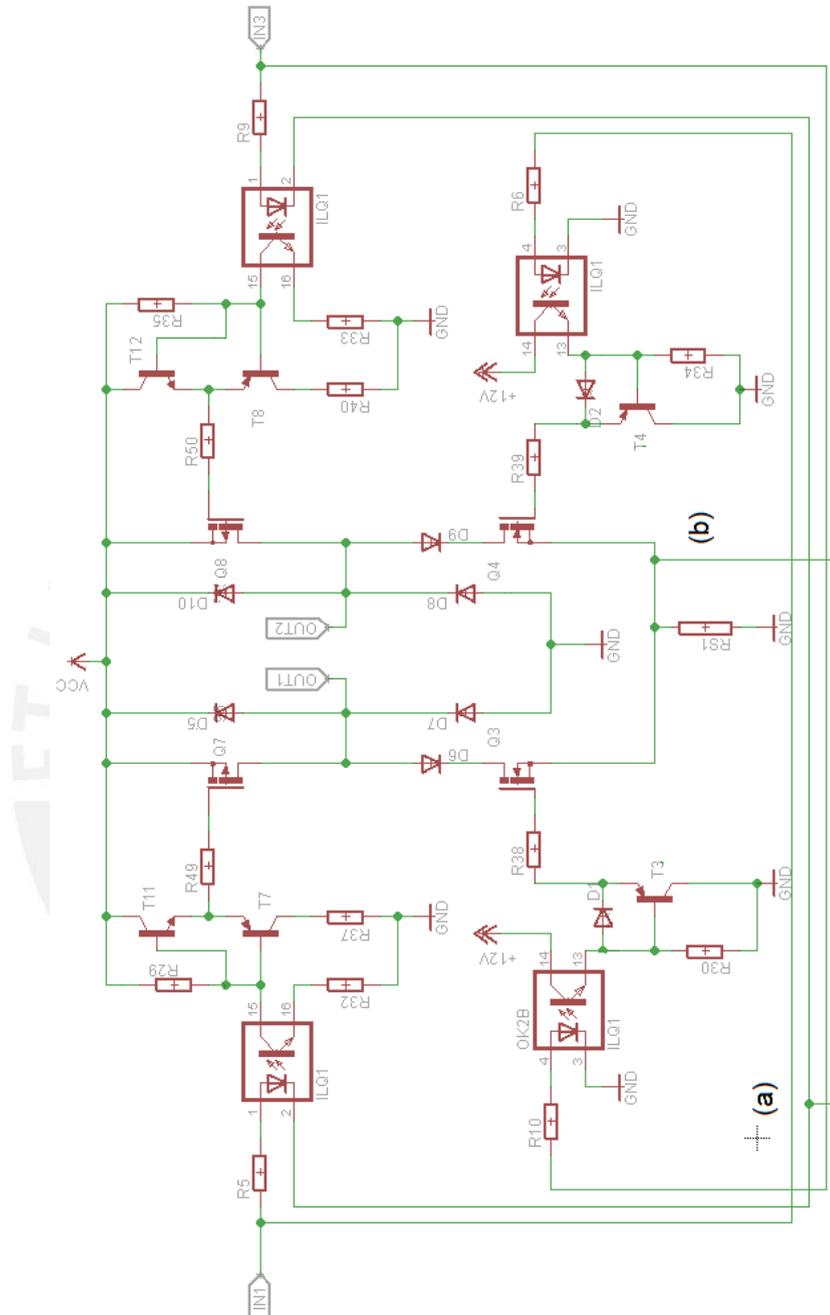


Figura 3.11: Circuito esquemático del puente H.

Se utilizan transistores BJT's complementarios, como salida Push-Pull para accionar y apagar el gate de los MOSFETS canal P, ver sus características en el Cuadro 3.5.

Se eligió el optoacoplador ILQ2 en la entrada de las bases. (ver Cuadro 3.6):

El optoacoplador es rápido. Su utilización simplifica la activación de los MOSFET, además de que puede ser controlado directamente desde el microcontrolador.

Componente	Tipo	Corriente (colector)	Voltaje (Vcbo)	Voltaje Vceo	Potencia
BC 546	nnp	100 mA	80 V	65 V	0.5 W
BC 556	pnp	-100 mA	-80 V	-65 V	0.5 W

Cuadro 3.5: Datos del transistor BJT BC546 y BC 556.[22],[21].

Componente	If(entrada)	Vf	Ice(máx)	CTR %	Encendido sat/no sat
ILQ2	60 mA	1.25 V	50 mA	170 % typ	15.5 us/4.8 us

Cuadro 3.6: Datos del optoacoplador ILQ2.[41]

Las resistencias R29, R32, R33 y R35 sirven como divisor de voltaje a 15 y 33 V. Se obtendra aproximadamente $V_{gs}(\text{MOSFET canal P}) = -15 \text{ V}$. Los valores de las resistencias (0.5 W) se eligieron buscando la máxima corriente que pueda circular a través de esta para mejorar el encendido y apagado del optoacoplador y así también del MOSFET.

R38, R39, R48 y R50 se utilizan para limitar la corriente al momento de cargar el Cgs y son de valores pequeños para obtener un tiempo corto de carga. R37 y R40 son resistencias que evitan que el Vce de T7 y T8 sobrepasen el valor de saturación.

Los valores de las resistencias, en ohmios, se muestran en el Cuadro 3.7.

R29	R32	R33	R35	R38	R39	R48	R50	R37	R40
1 K	2.2 K	2.2K	1 K	22	22	2 K	22	2 K	2 K

Cuadro 3.7: Datos de las resistencias.

Los MOSFET canal N de la parte inferior utilizan un diodo (D1 en la Figura 3.11) y un transistor BJT para activar el gate. Las características del BJT y el diodo se muestran en el Cuadro 3.8 y en el Cuadro 3.9 respectivamente.

Componente	Tipo	Corriente (colector)	Voltaje (Vcbo)	Voltaje Vceo	Potencia
2N3906	pnp	-200 mA	-60 V	-40 V	0.430 W

Cuadro 3.8: Datos del transistor BJT 2N3906.[48]

Componente	Tipo	If	Voltaje (Vf)	Tiempo de rec. inversa	Potencia
1N5711	Schottky	1 mA	0.41 V	1 ns	0.4 W

Cuadro 3.9: Datos del diodo 1N5711.[49]

Al accionar el optoacoplador, el voltaje de 12 V llegara al gate y encendera el MOSFET. El diodo (D1 en la Figura 3.11) sirve para obtener una diferencia de voltaje entre el emisor y la base del BJT y activarlo. Cuando el optoacoplador no está activado el MOSFET se descargara por el transistor pnp. De igual manera el diodo sirve para que el transistor pueda polarizarse.

Los diodos D5, D7, D8 y D10 están en inversa y sirven para descargar la corriente de la bobina. D6 y D9 son diodos que se utilizan para anular el diodo de cuerpo que se encuentra en la estructura del MOSFET [47]. Estos diodos son Schottky para aprovechar su velocidad, ver Cuadro 3.10.

Componente	Tipo	If	Voltaje Vf	Tiempo de rec. inversa	V. Reversa
50SQ100	Schottky	5 A	0.52 V	máx 500 ns	100 V

Cuadro 3.10: Datos de los diodos D5, D6, D7, D8, D9 y D10.[43]

Finalmente, se observa la resistencia de sensado RS1 y se utiliza para conocer la corriente que pasa a través de la fase. El valor de RS1 debe ser pequeño para variar poco la resistencia de las bobinas del motor.

Circuito Regulador.- La siguiente parte del circuito driver es el regulador de corriente, que es la continuación del puente H. Ver (a) y (b) en Figura 3.11. En (a) de la Figura 3.11, se observa que la entrada de los optoacopladores superiores no están conectadas a GND, sino a la etapa regulador. El funcionamiento se explica en la Figura 3.12.

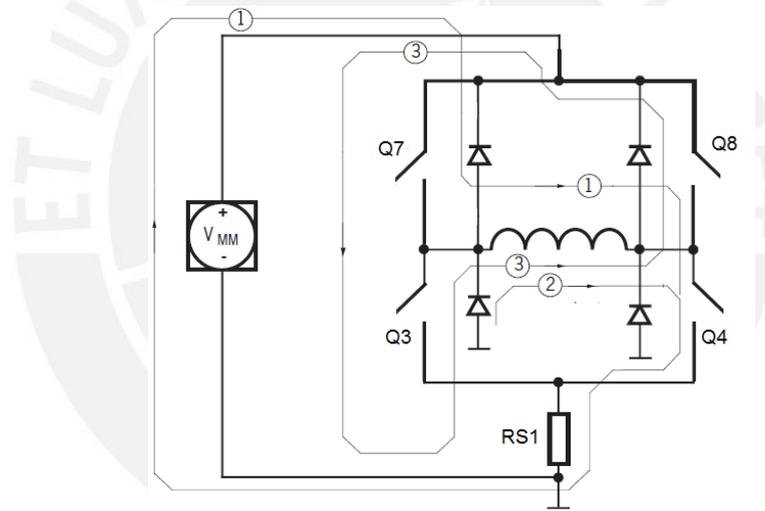


Figura 3.12: Funcionamiento del puente H con el circuito regulador.

Suponiendo que el motor inicie su movimiento con Q7 y Q4 activos, la corriente seguirá el camino 1 hasta cargar la bobina de la fase al valor deseado. La corriente se puede obtener midiendo el voltaje en la resistencia de sensado RS1. Este valor de voltaje se realimenta a un OPAMP comparador. Este comparador controlará los MOSFET Q7 y Q8, de acuerdo a los valores de una histéresis, y funcionarán como interruptores conmutando para mantener la corriente como se ve en la Figura 3.13 (b). El microcontrolador activará los MOSFET Q7 y Q4 o Q6 y Q3 de acuerdo a la secuencia en la que se encuentre el movimiento. Dado que sólo los MOSFET superiores conmutan y los inferiores no, durante la descarga la corriente tomará el camino 2. Cuando la secuencia cambie, el MOSFET Q7 se desactivará y la corriente circulará por el camino 3 hasta que se descargue la bobina. Los MOSFET superiores son manejados por los optoacopladores ILQ2. La idea del circuito es funcionar como interruptor, como se muestra en la Figura 3.13.

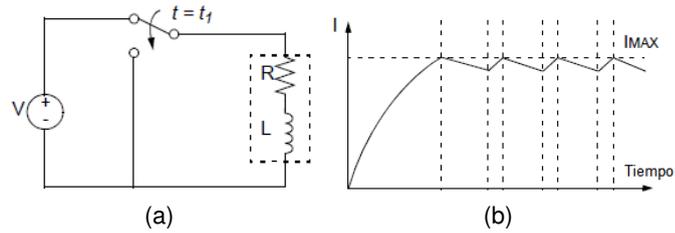


Figura 3.13: Regulador. (a) Esquemá del motor R-L e interruptor. (b) Forma de onda de la corriente en la bobina. [55]

En el diseño se utilizó el concepto de control de corriente o *chopper control*. Esto es hacer circular la corriente a través de las bobinas utilizando un alto voltaje de suministro hasta alcanzar el valor de corriente que se desee, como se observa en la Figura 3.13. Utilizando las ecuación de carga de una bobina:

$$I(\text{final}) = V/R \quad (3.5)$$

$$I(t) = I(\text{final}) - (I(\text{final}) - I(\text{inicial})) \times e^{-t \times R/L} \quad (3.6)$$

Se observa en (3.6) que suministrar voltajes más altos conduce a un aumento más rápido de la corriente a través de las bobinas y esto, a su vez, permite operar al motor a una velocidad más alta y obtener pares más elevados. El diseño del circuito regulador se muestra en la Figura 3.14. Las parte (a) y (b) vienen del circuito de puente H, mostrado en la Figura 3.11.

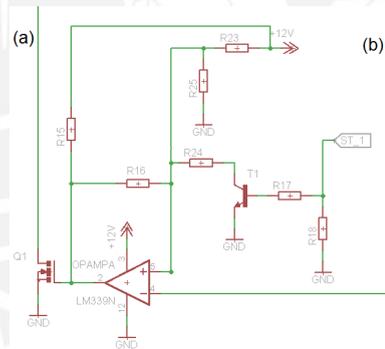


Figura 3.14: Circuito esquemático del regulador.

La resistencia de sensado RS1 es 0.33 ohms. El valor de voltaje de la resistencia de sensado se compara con un Vref (voltaje de referencia). El valor de Vref se calcula de acuerdo a la ecuación (3.7) según el requerimiento de corriente visto en la selección del actuador. Se considera 4 amperios por bobina como un valor máximo de corriente por precaución, ya que la corriente nominal de la fuente es de 10 amperios.

$$V = I \times R; \quad V_{ref} = V_{rs1} = 4 \times 0,33 = \mathbf{1.32 \text{ V}} \quad (3.7)$$

Según la ecuación (3.7) el voltaje de referencia debe ser menor a 1.32 V. Se calculan la relación de resistencias con un bajo consumo de corriente para obtener el Vref, se seleccionaron R25 y R23 el cual da un divisor de voltaje de 1.0909 V pero utilizando realimentación positiva para crear una histéresis se utilizan la ecuación (3.8) para hallar el voltaje en bajo y la ecuación (3.9) para el voltaje en alto.

$$V_{ref}(\text{max}) = 12 \times (R16 // R25) / ((R16 // R25) + R23) \quad (3.8)$$

$$V_{ref(min)} = 12 \times R_{25} / ((R_{23}/R_{16}) + R_{25}) \quad (3.9)$$

Los valores de las resistencias se muestran en el Cuadro 3.11.

R15	R16	R17	R18	R23	R24	R25
1 K	1 M	47 K	1 K	39 K	1.5 K	3.9K

Cuadro 3.11: Valores de las resistencias utilizadas en la parte del regulador.

R16 es un valor elevado para obtener una histéresis en un rango pequeño. De acuerdo al Cuadro 3.11 y las ecuaciones (3.8) y (3.9). $V_{ref(mín)} = 1.08705 \text{ V}$ y $V_{ref(máx)} = 1.12945 \text{ V}$ lo que nos da el rango de histéresis.

Se utiliza el OPAMP LM339 de manera de comparador para realizar el apagado de los optoacopladores. Se observa sus características en el Cuadro 3.12.

Componente	Tipo	Alimentación	Tiempo de respuesta	Ganancia
LM339N	Open Collector	hasta 36 V	0.3 μ S	200

Cuadro 3.12: Datos del OPAMP LM339N.[28]

En el circuito se observa que la salida del OPAMP va hacia el MOSFET canal p que está en serie con los diodos de los optoacopladores. Las características del MOSFET son:

Componente	Tipo	Corriente (Ids)	Voltaje (Vds)	Rds	Vgs
IRF Z44N	canal N	49 A	55 VDC	0.0175	10 V

Cuadro 3.13: Datos del MOSFET IRF Z44N.[39]

Como se observa en el Cuadro 3.13 el MOSFET utilizado manejará poca potencia y en este caso se eligió el IRF Z44N por la facilidad en conseguirlo.

Finalmente se observa el transistor BJT T1 tipo npn y se activa mediante la entrada ST 1 para disminuir el voltaje de referencia y el sistema consuma menor intensidad de corriente cuando el actuador se encuentre detenido. Esta entrada es activada por el microcontrolador. El transistor tiene las características mostradas en el Cuadro 3.14.

Componente	Tipo	Corriente (colector)	Voltaje (Vcbo)	Voltaje Vceo	Potencia
2N3904	nnp	200 mA	60 V	40 V	0.430 W

Cuadro 3.14: Datos del transistor BJT 2N3906.[40]

Cálculo de tiempo de carga y descarga del motor y en la histéresis

Seleccionando el valor de la resistencia de RS1(0.33 ohms), se utilizan:

$$I(t) = V_{ref(max)}/0,33; I(t) = I(final) - (I(final) - I(inicial))e^{-tR/L};$$

$$I(final) = V(fuente)/R. \text{ Los resultados se muestran en el Cuadro 3.15}$$

	I(t)	V	R (ohms)	I(final)	I(inicial)	L	Tiempo
(a)	3.42 A	48 V	0.73	65.75 A	0 A	3.5 mH	254.29 us
(b)	0 A	- 49.2 V	0.4	0 A	3.42 A	3.5 mH	246.96 us
(c)	3.42 A	48 V	0.73	65.75 A	3.29 A	3.5 mH	9.87 us
(d)	3.29 A	0.6 V	0.73	0 A	3.42 A	3.5 mH	183.48 us

Cuadro 3.15: Resultados de los tiempos de carga y descarga en las fases e histéresis.

El tiempo de carga de las fases se muestra en (a). Se utiliza el camino 1 en Figura 3.12. $R = RS1 + R(motor)$, $R(motor)$ es la mitad del valor de la hoja de datos porque se conectaron los cables en paralelo.

El tiempo de descarga se muestra en (b). La corriente sigue el camino 3 en Figura 3.12. Se utiliza el método *fast decay*. La descarga se realiza de manera más rápida mediante los diodos en inversa D5, D7, D8 y D10, ver [55]. El voltaje final (V_f) de los diodos para la corriente de 3.4225 A es aproximadamente 0.6 V. Considerando $R = R(motor)$. El tiempo de carga en la histéresis se muestra en (c). La corriente sigue el camino 1 en Figura 3.12. El tiempo de descarga en la histéresis se muestra en (d). La corriente sigue el camino 2 en la Figura 3.12.

Se observa que el motor demora en cargarse y descargarse 501.257 us esto equivale a 1994.98 Hz o 1994 pulsos por segundo. La frecuencia máxima de pulsos a utilizar es 1000 pulsos/segundo. Esto asegura el funcionamiento correcto a la frecuencia máxima de pulsos utilizando 3.4225 A por fase.

Circuito de control con ATmega8.- Se utilizó un ATmega8 como microcontrolador para que maneje el circuito driver. El driver del motor paso a paso recibirá pulsos como entrada y de acuerdo a esto genera la secuencia (vista en el Cuadro 3.3) adecuada para manejar el motor paso a paso, ver Figura 3.15.

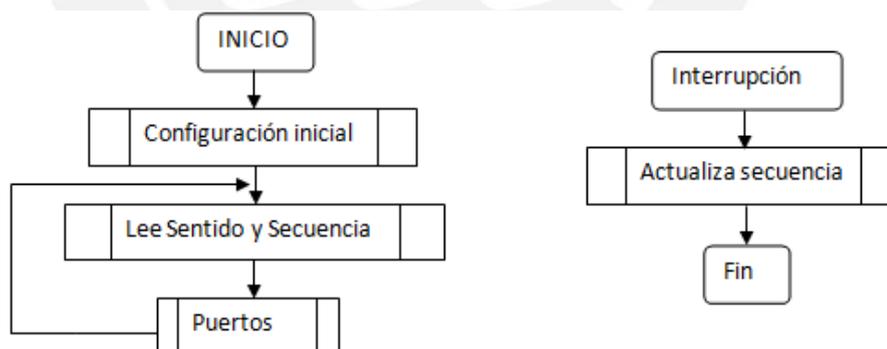


Figura 3.15: Diagrama de flujo para el microcontrolador del driver

Las especificaciones del ATmega8 se muestran en el Cuadro 3.16.

Componente	Tipo	Alimentación	Velocidad	EEPROM	RAM
ATmega8	microcontrolador	5 V	máx 16 Mhz	512 Bytes	1 Kbyte

Cuadro 3.16: Datos del microcontrolador ATmega8.[6]

El circuito diseñado se muestra en la Figura 3.16. Se utiliza optoacopladores para

separar la tierra de una entrada externa y la tierra del circuito del driver.

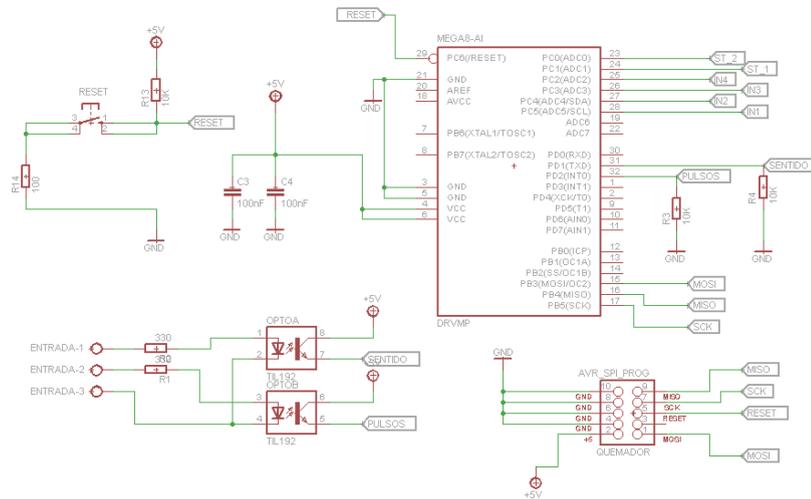


Figura 3.16: Circuito esquemático del circuito de control del driver.

Las características del optoacoplador se muestran en el Cuadro 3.17.

Componente	If máx (entrada)	Ice(máx)	CTR %	Ton y Toff
TLP 512	50 mA	50 mA	50 % min	28 uS

Cuadro 3.17: Datos del optoacoplador TLP512.[53]

3.6. Desarrollo del Control

El circuito de control se encarga de realizar tareas de acuerdo a las señales de los sensores, comunicación y el algoritmo que ejecute. Ver esquema en Figura 3.17.

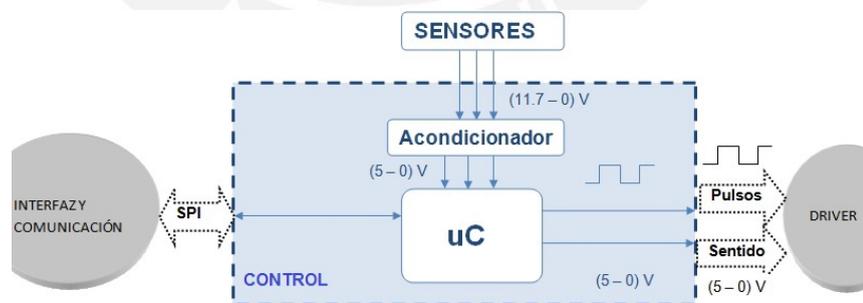


Figura 3.17: Esquema del circuito de control. uC es el microcontrolador.

3.6.1. Sensores

Para el sistema se utilizarán tres sensores fotoeléctricos. Dos se ubican paralelos y cerca a la faja transportadora; y son utilizados para accionar el actuador y calcular la

velocidad de la caja. El último se ubica cerca a las etiquetas para detectar el fin de etiqueta.

Selección de los sensores para detección de caja

Se tienen dos alternativas, ambas alternativas de la marca BANNER debido a la confiabilidad de sus productos y a la facilidad de la empresa SISCODE S.A para poder adquirirlos. Sus características se muestran en el Cuadro 3.18.

Sensor	Tipo	Alimentación	I máx	Rango	T. de respuesta
Q12 AB6FF30	Campo fijo	10 a 30 V	20 mA	10 a 30 mm	700 uS
S18 SP6DQ	Difuso	10 a 30 V	25 mA	0 a 100 mm	3 ms

Cuadro 3.18: Datos del sensor de campo fijo Q12 y S18.[11], [10]

De lo expuesto, la mejor alternativa es utilizar el **sensor difuso S18** debido a tener mayor alcance. Una desventaja del S18 SP6DQ es la precisión, sin embargo por motivos de limitaciones en la parte mecánica, SISCODE S.A decidió colocar los sensores a una distancia de la faja mayor a 5 cm. El primer sensor se ubica a 15 mm de la cuña y el segundo a 3 cm de este.

Selección del sensor para fin de etiqueta

El sensor de fin de etiqueta o taca sirve para detener el movimiento del motor y depende del tipo de etiquetas que se va a utilizar. La ubicación de este sensor debe estar en el camino que sigue la cinta portadora de etiquetas antes de llegar a la cuña.

La empresa SISCODE S.A, cuenta con dos sensores fotoeléctricos BANNER los cuales pueden detectar tonalidades. Sus características se muestran en el Cuadro 3.19

Sensor	Tipo	Alimentación	I máx	Rango	T. de respuesta
R58B	Registro de marca	10 a 30 V	75 mA	10 mm	50 uS
SLM30B6	Barrera de luz	10 a 30 V	25 mA	15 mm	500 uS

Cuadro 3.19: Datos del sensor registrador de marca R58B y SLM30B6.[12], [13]

El sensor R58B puede detectar colores, sin embargo depende mucho de la luz del ambiente. Además las etiquetas que serán utilizadas poseen separación entre ellas, como se muestra en la Figura 1.1. Por lo tanto la mejor alternativa es utilizar el **sensor SLM de barrera de luz** ya que cumple de manera más sencilla la función de detectar el cambio de transparencia en la cinta portadora de etiquetas.

La ubicación de este sensor depende de la longitud de la etiqueta. Se realiza una medición con la etiqueta puesta en el filo de la cuña y de acuerdo a esto se ubica el sensor.

3.6.2. Diseño del circuito de control

Este circuito maneja el actuador, se comunicará con la interfaz, recibirá las señales de los sensores y procesará todo para el correcto funcionamiento de la máquina.

La parte esencial de la etiquetadora es el movimiento del actuador el cual debe ser igual a la velocidad lineal de la caja para que la etiqueta pueda desglosarse y pegarse correctamente sobre su superficie. Una manera de obtener esta velocidad es utilizando una comunicación con el variador que mueve la faja transportadora.

La manera utilizada en el desarrollo de la tesis se basa en sensores, que gracias a su velocidad de detectar variaciones físicas, resulta más provechoso porque se pueden ubicar a conveniencia y obtener la velocidad de la caja. Esto permite al sistema tener independencia del variador o de la misma faja transportadora que envía la caja.

Cálculo de la velocidad del actuador

Se ubica los sensores fotoeléctricos S18 como se muestra en la Figura 3.18 de manera que los haces de luz salgan perpendicular a la trayectoria de la caja.

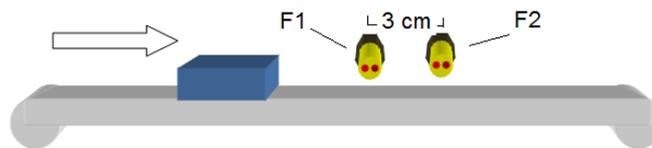


Figura 3.18: Ubicación de los sensores.

Cuando la caja pase por el sensor F1, se iniciará el conteo del tiempo que demora en llegar al sensor F2. De esta manera se obtiene el tiempo que demora la caja en recorrer 3 cm (contado cada 1 ms). La velocidad se puede calcular mediante:

$$distancia = velocidad \times tiempo \quad (3.10)$$

Como se señaló, el driver del motor recibirá pulsos. La frecuencia de los pulsos con el que se mueve el motor paso a paso depende de la frecuencia de pulsos que se le envíe al driver, transformando cada pulso en medio paso.

Para hallar la relación entre la velocidad y la frecuencia de pulsos, se utiliza la fórmula de cálculo de frecuencia para generar una onda CRC con el ATmega8.

$$f(pulsos) = \frac{f(osc)}{2 \times N \times (1 + OCRn)} \quad (3.11)$$

De acuerdo a esto, N es el preescalador y $(1 + OCRn)$ será una constante K multiplicada por el tiempo T. Esta constante K depende directamente de la distancia a la que se encuentran distanciados F1 y F2; y se halla experimentalmente.

Se toma como ejemplo una velocidad máxima de 0.5 m/s o 500 mm por segundo y la distancia de 30 mm entre los sensores:

$$\begin{aligned} 500 \text{ mm} & \text{-----} 1 \text{ seg} \\ 30 \text{ mm} & \text{-----} t \text{ seg} \end{aligned}$$

Resolviendo, $t = 0.06 \text{ s} = 60 \text{ ms}$, entonces $T = 60$. Se sabe que para 500 mm/segundo necesita una frecuencia de 1000 pulsos por segundo, entonces utilizando 3.11:

$$f(pulsos) = 1000 = 1\,000\,000 / (2 \times 60 \times K); \quad \mathbf{K = 8.333.}$$

En el caso de programar en assembler, K debe redondearse a 8. Utilizando los parámetros hallados $N = 1$, $T = tiempo$ y $K = 8$ se puede calcular la frecuencia de pulsos

necesaria para establecer la frecuencia de la onda CRC que se le envía al driver del motor paso a paso.

Diseño e implementación

El circuito diseñado posee la recepción y adecuamiento de las señales de los sensores, una comunicación mediante SPI con el circuito de interfaz y un ATmega8.

Recepción y adecuamiento de las señales de los sensores.- El diseño del circuito se muestra en la Figura 3.19.

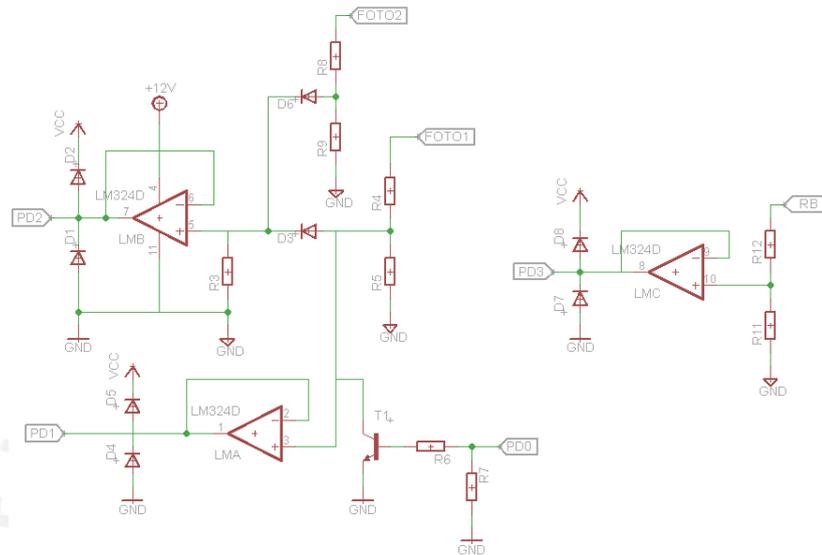


Figura 3.19: Circuito esquemático de recepción y adecuamiento de las señales.

Los tres sensores utilizados son alimentados con 12 V y funcionan en conexión pnp, de manera que al colocarle una carga se pueda realizar un divisor de voltaje.

Las señales de salida de los sensores difusos son FOTO1 Y FOTO2, y la del sensor de etiqueta es RB. FOTO1 y FOTO2 tienen una carga de 8.6 K ohms y le da un voltaje de polarización menor a 1 V (según hoja de datos). La carga colocada se divide en dos resistencias y crean un divisor de voltaje adecuado para la entrada del ATmega8.

El sensor FOTO1 detecta la caja y se obtiene un valor de voltaje entre 5.441 y 4.988 V en el ánodo del diodo D3. Este valor de voltaje disminuirá de acuerdo al V_f del diodo y es utilizado en la entrada positiva del OPAMP, que se encuentra en modo seguidor de voltaje. Mediante la realimentación llegará al pin del microcontrolador (PD2) para inicializar un contador de tiempo (de 1 ms).

La entrada del divisor de voltaje también es recibida por el microcontrolador mediante otro seguidor de voltaje que llega al pin (PD1). Luego el microcontrolador activa el transistor T1 para anular la señal del sensor FOTO1, y el voltaje en el pin PD2 volverá a 0 V. Las características del transistor T1 se muestran en el Cuadro 3.20.

Componente	Tipo	Corriente (colector)	Voltaje (Vcbo)	Voltaje Vceo	Potencia
2N3904	nnp	200 mA	60 V	40 V	0.430 W

Cuadro 3.20: Datos del transistor BJT 2N3906.[40]

Cuando la caja pase por el sensor FOTO2, llegará nuevamente una señal al pin PD2 del microcontrolador. Seguido a esto el microcontrolador calcula el tiempo que demoró la caja y halla la frecuencia de los pulsos que se deben enviar al driver del motor. La resistencia R3 sirve para no tener un valor flotante en la entrada positiva del OPAMP. Los valores de las demás resistencias se ven en el Cuadro 3.21.

R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
1 M	4.7 K	3.9 K	17 K	1.2 K	4.7 K	3.9 K

Cuadro 3.21: Valores de resistencias, medidas en ohms.

La entrada RB también utiliza el mismo divisor de voltaje que FOTO1 Y FOTO2 y llega al pin PD3 del microcontrolador utilizando el OPAMP en modo seguidor de voltaje. Esta entrada corresponde al sensor de fin de etiqueta. Cuando se active el pin PD3 se detendrá el actuador y se activará la señal de FOTO1 nuevamente.

Los diodos D3 y D6 se utilizan para realizar un OR en las entradas de FOTO1 y FOTO2. Los diodos D1, D2, D4, D5, D7, y D8 son de alta velocidad de cambio y son utilizados para protección, ver Cuadro 3.22.

Componente	Tipo	If	Voltaje (Vf)	Tiempo de rec. inversa
1N4148	High Speed	200 mA	0.4 - 0.8 V	5 - 20 ns

Cuadro 3.22: Datos de los diodos D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7 y D8.[42]

Se utiliza un mismo pin del microcontrolador, mediante un OR, para las señales de FOTO1 Y FOTO2, porque el ATmega8 solo cuenta con 2 entradas de interrupción externa. PD2 para las señales de FOTO1 y FOTO2; y PD3 para la señal de RB.

Circuito del ATmega8 y la comunicación SPI.- El circuito de control de la transmitirá datos mediante una comunicación serial al circuito de interfaz y recibirá ordenes de dicho circuito. Ver Figura 3.20

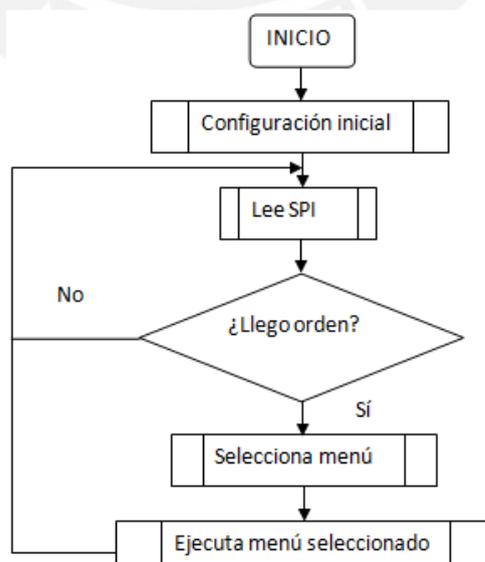


Figura 3.20: Diagrama de flujo para el microcontrolador del circuito de control .

Las alternativas que posee el ATmega8 para comunicarse son SPI e I²C.

La comunicación mediante SPI se realiza de manera serial y utiliza cuatro pines, para el caso de los Atmega, son el SCK, MOSI, MISO Y SS. Se debe configurar un dispositivo como *maestro* y uno o más como *esclavos*.

La comunicación mediante I²C también se realiza de manera serial y se utiliza tres líneas para transmitir.

Por motivos de facilidad y hardware se elige utilizar comunicación SPI. Dado que la transmisión es entre el circuito de control y el circuito de interfaz, basta con el protocolo SPI para comunicarlos. La velocidad de transmisión en el SPI es similar a la de I²C. Además, se puede aprovechar los pines de SCK, MOSI y MISO los cuales se utilizan para grabar el ATmega8.

El diseño de esta parte se muestra en la Figura 3.21.

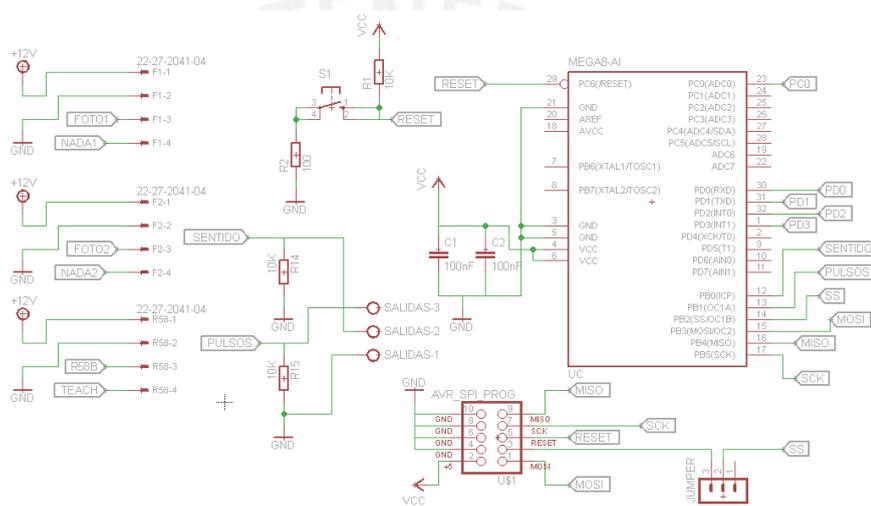


Figura 3.21: Circuito esquemático del ATmega8 y conector de SPI en el circuito de control.

En la parte inferior del circuito se observa la entrada del programador de 10 pines. Estos pines serán usados para la comunicación con la interfaz. Se utilizarán los pines de 5 V y GND para alimentar a la interfaz. En la parte izquierda del circuito se observan las entradas de los sensores.

3.7. Desarrollo de la interfaz de usuario y comunicación con el ordenador

En el circuito de interfaz de usuario se implementan el visualizador, periférico de entrada y una salida adecuada para adaptar un módulo de comunicación. El esquema se muestra en la Figura 3.22

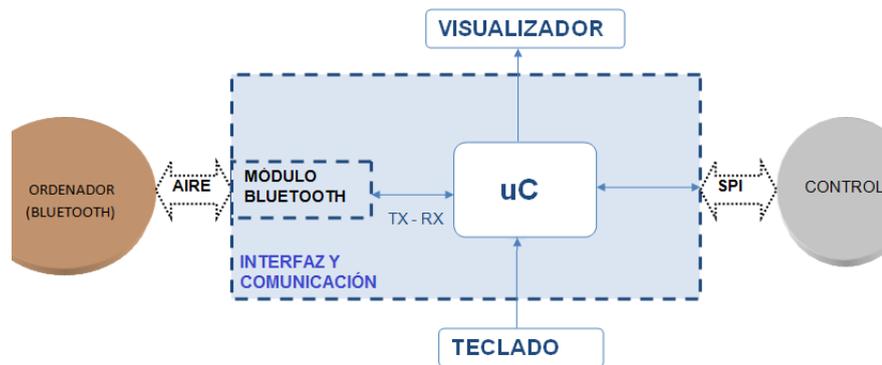


Figura 3.22: Esquema del circuito interfaz y comunicación. uC es el microcontrolador.

3.7.1. Visualizador

El sistema en funcionamiento, para la tesis, muestra un menú con información básica como número de etiquetas utilizadas en ese instante, número de etiquetas utilizadas en un instante anterior, sentido del actuador y un indicador de paro.

De acuerdo a los requerimientos del sistema y la practicidad, se tienen como alternativas para la pantalla LCD de caracteres y LCD gráfico. Dado que los datos del menú no necesitan la utilización de gráficos y se pueden mostrar de manera correcta utilizando caracteres alfanuméricos, se opta utilizar el LCD de caracteres.

LCD de caracteres.- Se muestra un menú de 4 opciones.

Inicio: Inicializa el sistema para recibir un caja enviada por la faja transportadora.

Paro: Detiene el actuador. Los sensores estarán energizados; sin embargo, el sistema no funcionará al detectar una caja.

Mover: Al conectar el motor al driver, se puede llevar los cables de una fase a la entrada incorrecta y el motor se moverá de manera inversa. Para esto se utiliza la opción mover el cual puede corregir el sentido del movimiento.

Número de etiquetas: Almacena el número de etiquetas en la memoria ram del microcontrolador de interfaz. Al detener el proceso se puede visualizar el número anterior guardado.

Para las cuatro opciones de menú, es suficiente utilizar un LCD de caracteres 2x16. La pantalla utilizada se muestra en la Figura 3.23 y sus características eléctricas en el Cuadro 3.23.



Figura 3.23: Pantalla LCD 2x16 de caracteres.

Componente	Tipo	Alimentación	Corriente	Frecuencia	Núm. de pines
Pantalla	LCD 2x16	5 V	10 mA	250 KHz	16

Cuadro 3.23: Datos de la pantalla LCD 2x16, marca Densitron.[18]

3.7.2. Periférico de entrada

Las funciones del sistema se muestran en la pantalla y el manejo resulta sencillo. Por este motivo se utiliza un dispositivo con botones. El teclado matricial 4x4 resulta una alternativa adecuada por la manera simple de utilización.

Teclado matricial 4x4.- En la Figura 3.24 se muestra el teclado matricial de 8 pines, 4 para las filas y 4 para las columnas.



Figura 3.24: Teclado matricial 4x4.

3.7.3. Medios de comunicación

El sistema electrónico de la máquina etiquetadora debe poseer una comunicación con un ordenador. Esta funcionalidad le permite enviar datos relevantes como el número de etiquetas y almacenarlo en un archivo dentro del ordenador.

Selección de la tecnología de comunicación

El medio de comunicación más atractivo es el inalámbrico gracias a sus características de practicidad y eliminación de cables. Entre las alternativas de comunicación inalámbricas están el *bluetooth* y *wi-fi*.

En el Cuadro 3.24 se muestran las características de los módulos *bluetooth* (Bluetooth HC-06) y *wi-fi* (USR-WIFI232-B) disponibles.

Módulo	Alcance	Consumo	Frecuencia	Baudrate
Bluetooth HC-06	10-100 m	3.3 V /50 mA	2.4 GHz	9600 bps
USR-WIFI232-B	20-70 m	3.3 V /170 - 300 mA	2.412 GHz	1200-230400 bps

Cuadro 3.24: Datos de los módulos Bluetooth HC-06 y USR-WIFI232-B [20],[54].

De lo expuesto, la mejor alternativa es utilizar el módulo bluetooth debido a que posee un rango de alcance adecuado (más de 10 m, según [20]), comunicación transparente y un consumo de energía bajo. Por otro lado es un protocolo de comunicación ampliamente usado.

Para la recepción de la señal bluetooth se utilizó un receptor USB Dongle, que funciona como convertor de señal bluetooth a un puerto COM del ordenador. En la Figura 3.25 se muestra el módulo bluetooth y el receptor utilizado.

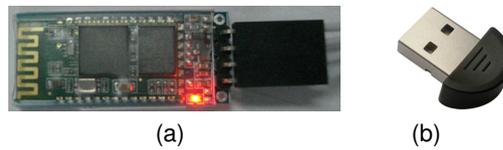


Figura 3.25: Comunicación inalámbrica por bluetooth. (a) Modulo bluetooth HC-06. (b) Receptor Dongle USB para la señal de bluetooth[51].

3.7.4. Diseño del circuito de interfaz y comunicación

Se utiliza el microcontrolador ATmega8 para controlar el bloque de interfaz y comunicación. El diseño del circuito se muestra en la Figura 3.26.

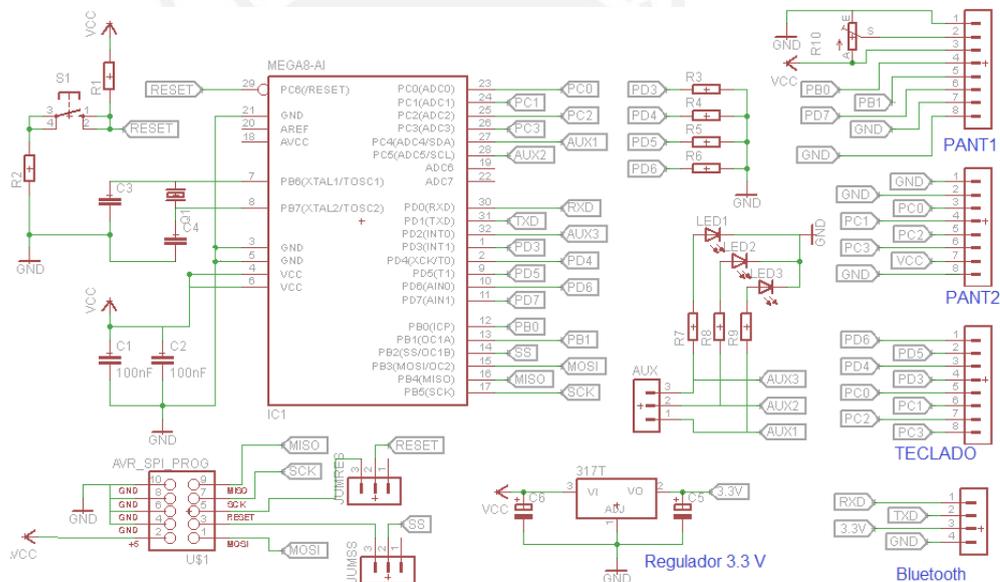


Figura 3.26: Circuito esquemático de la interfaz y comunicación.

Pantalla LCD 16x2

La pantalla LCD 2x16 tiene 16 pines de los cuales dos son para alimentación, tres para el manejo del contraste, dos para encender la iluminación, tres de control y ocho para el envío de instrucciones. Se utiliza cuatro pines para el envío de instrucciones, en forma de nibble; así se puede disminuir la cantidad de pines usados por la pantalla.

En la parte derecha del circuito esquemático se observan los conectores PANT1 y PANT2 para la pantalla con sus respectivos pines en el microcontrolador.

Teclado 4x4

El teclado tiene 8 pines y equivale a tener 16 interruptores en una matriz de 4x4. Los 8 pines del teclado se dividen en 4 para las columnas y 4 para las filas.

Las 4 filas van al puerto PC0, PC1, PC2 y PC3 del microcontrolador y se manejan en forma de salidas otorgando 0 o 5 V. Las 4 columnas van al puerto PD3, PD4, PD5 y PD6 y se manejan en forma de entradas para leer la ubicación del interruptor que se está presionando. Cuando se activa una salida (filas) y se pulse una tecla, se cerrará el interruptor y se podrá obtener 5 V en la columna donde se ubica dicha letra.

Debido a que los pines PD3, PD4, PD5 y PD6 son entradas, se les coloca una resistencia de valor 10 K a tierra para no dejarlas sin conexión y se tenga un valor de 0 V cuando no se utilice el teclado.

Comunicación SPI con el ATmega8 de circuito de control

De manera similar al circuito esquemático de control, se observa un conector AVR de 10 pines los cuales se utilizan para programar el ATmega8 y también para la comunicación SPI con el circuito de control. Se utilizan 2 *jumpers* que son conectados cuando el ATmega8 está en funcionamiento o cuando se desee programarlo.

Se colocó un cristal oscilador de 8 MHz y pines auxiliares, con leds, los cuales no se utilizan para el funcionamiento pero se colocaron para un uso de resguardo.

Comunicación Bluetooth

Gracias a la utilización del módulo bluetooth HC-06, el cual nos permite una comunicación transparente, los pines TX y RX del ATmega8 son directamente conectadas al módulo. La alimentación del módulo y las salidas se pueden observar en la parte inferior del circuito esquemático con los nombres Bluetooth y Regulador 3.3 V.

Las características del regulador utilizado se muestran en el Cuadro 3.25.

Componente	Voltaje de salida	Voltaje de entrada máximo	Corriente máx. de salida
LM1117-3.3	3.3 V	20 V	800 mA

Cuadro 3.25: Datos del regulador LM1117.[27]

3.7.5. Programa de recepción de datos

Se desarrolló un programa para poder recibir los datos de número de etiquetas en el ordenador, en la Figura 3.27 se muestra el diagrama de bloques del programa.

Se utilizó *Visual Basic* ya que es un lenguaje de programación sencillo, muy utilizado y con muchas potencialidades para trabajar con el sistema operativo Windows.

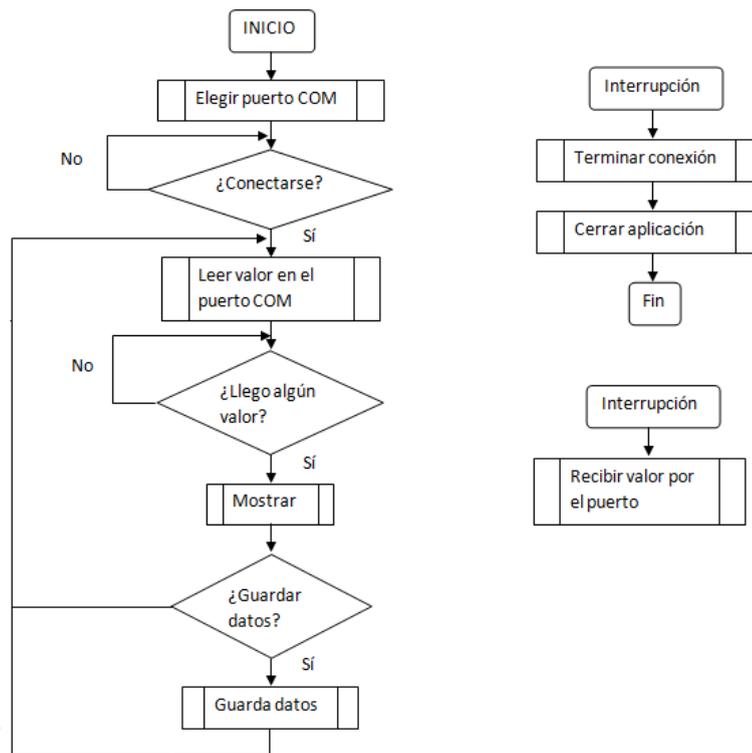


Figura 3.27: Diagrama de flujo del programa desarrollado en Visual Basic.

3.8. Desarrollo del acondicionamiento de la fuente de alimentación

Para el funcionamiento de la máquina etiquetadora autoadhesiva automática se utiliza una fuente *switching* de 48 V y 10 Amp, que se encuentra disponible en la empresa SISCODE S.A. Ver Figura 3.28 y sus características en el Cuadro 3.26.



Figura 3.28: Imagen de la fuente de alimentación S-500-48.

Fuente	tipo	Voltaje de salida	Voltaje de entrada	Protección de sobrecarga
S-500-48	Switching	36 - 48 VDC	220 VAC 60 Hz	115 - 300 %

Cuadro 3.26: Datos de la fuente de alimentación S-500-48.[24]

3.8.1. Cálculo de la corriente total para el circuito Driver

Intensidad de corriente para el gate de los MOSFET canal N:

$$I_g = \frac{12 V - 0,25 V}{1,2Kohms}; \quad I_g = 9,7916mA; \quad I_g \times 4 = \mathbf{39.1667 mA} \quad (3.12)$$

Intensidad de corriente en la utilización del OPAMP y el voltaje de referencia.

$$I (\text{output OPAMP}) = \frac{12 V - 0,14 V}{1Kohm} = 11,86mA \quad ; 11,86 \times 2 = \mathbf{23.72 mA} \quad (3.13)$$

$$I (\text{alimentacion OPAMP}) = 1,1mA; \quad 1,1mA \times 2 = \mathbf{2.2 mA} \quad (3.14)$$

$$I (\text{referencia}) = \frac{12 V}{40,083Kohm} = 0,2993mA; \quad 0,2993 \times 2 = \mathbf{0.5987 mA} \quad (3.15)$$

Intensidad de corriente a la entrada de los optoacopladores para los MOSFET canal N.

$$I (\text{entrada opto}(1)) = \frac{5 V - 1,25 V}{470ohms} = 7,978mA; \quad 7,978 \times 4 = \mathbf{31.914 mA} \quad (3.16)$$

Intensidad de corriente a la entrada de los optoacopladores para los MOSFET canal P.

$$I (\text{entrada opto}(2)) = \frac{5 V - 1,25 V}{220ohms} = 17,045mA; \quad 17,045 \times 4 = \mathbf{68.1818 mA} \quad (3.17)$$

Intensidad de corriente para la alimentación del ATmega8 y optoacopladores de entrada.

$$I (\text{ATmega8}) = \mathbf{7 mA} \quad (3.18)$$

$$I (\text{opto}) = \frac{5 V}{10Kohms} = 0,5mA; \quad 0,5 \times 2 = \mathbf{1 mA} \quad (3.19)$$

Sumando todas las intensidades: (3.12),(3.13),(3.14),(3.15),(3.16),(3.17),(3.18) y (3.19), se obtiene la intensidad de corriente total = **173.7812 mA**.

3.8.2. Cálculo de la corriente total para el circuito de control e interfaz y comunicación

Intensidad de corriente para la alimentación de los sensores fotoeléctricos y fin de etiqueta, en el circuito de control.

$$I (\text{sensores S18SP6DQ}) = \mathbf{52.72 mA} \quad (3.20)$$

$$I (\text{sensor SLM30B6}) = \mathbf{26.36 mA} \quad (3.21)$$

Intensidad de corriente para la alimentación del OPAMP en el circuito de control.

$$I (\text{LM324}) = \mathbf{50 mA} \quad (3.22)$$

Intensidad de corriente para la alimentación del ATmega8 en el circuito de control y las salidas de sentido y pulsos.

$$I (\text{ATmega8}) = \mathbf{7 mA} \quad (3.23)$$

$$I (\text{sentido y pulsos}) = \frac{5 V}{10Kohms} = 0,5mA; \quad 0,5 \times 2 = \mathbf{1 mA} \quad (3.24)$$

Intensidad de corriente para la alimentación de la pantalla (incluido el potenciómetro de contraste) en el circuito de interfaz.

$$I (LCD) = \mathbf{11 mA} \quad (3.25)$$

Intensidad de corriente para la alimentación del ATmega8 en el circuito de interfaz.

$$I (ATmega8) = \mathbf{7 mA} \quad (3.26)$$

Intensidad de corriente para la alimentación del módulo *bluetooth*.

$$I (bluetooth) = \mathbf{50 mA} \quad (3.27)$$

Sumando todas las intensidades: (3.20),(3.21),(3.22),(3.23),(3.24),(3.25),(3.26) y (3.27), se obtiene la intensidad de corriente total = **205.0809 mA**.

3.8.3. Diseño del circuito de acondicionamiento

De acuerdo a los cálculos de corriente que se necesita, se realiza un diseño de fuente de acondicionamiento para los valores de voltaje que se utilizan (12 V y 5 V) y son obtenidos de la fuente de poder de 48 V. Se utiliza un convertor de DC-DC *switching* para bajar el voltaje a 12 V y un regulador lineal para bajar el voltaje de 12 a 5 V. En la Figura 3.29 se observa el diseño del circuito para acondicionar la fuente de voltaje. La entrada de 48 V y GND se muestran a la izquierda del circuito esquemático. Las salidas de 12 V y 5 V se muestran a la derecha.

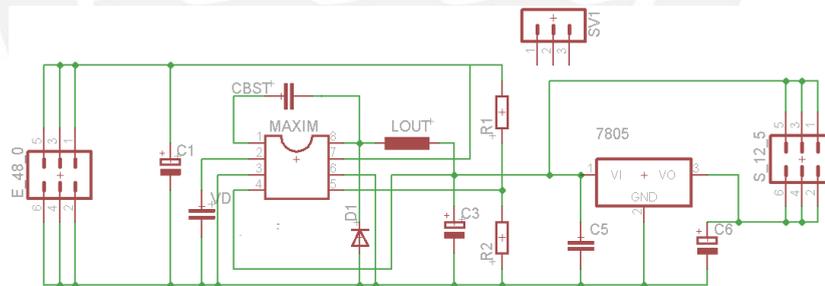


Figura 3.29: Circuito esquemático de la fuente *switching*.

El diseño original del circuito fue extraído de [29] dado que se utiliza el convertor DC-DC MAX5033. Se elige este integrado por su facilidad para implementar el convertor *switching* y por la cantidad de corriente que puede entregar, ver Cuadro 3.27.

Integrado	tipo	Voltaje de salida	Voltaje de entrada	Corriente máx
MAX5033	switching	12 VDC	7.5 a 76 VDC	500 mA

Cuadro 3.27: Datos del convertor DC-DC MAX5033.[29]

Los elementos que se añaden al MAX 5033 vienen detallados en su hoja técnica y deben ser colocados de acuerdo al voltaje que se desee obtener a la salida. Los valores adecuados para el funcionamiento de acuerdo a la hoja técnica se muestran

C1	VD	CBST	LOUT	D1	C3	R1	R2
47 uF	0.1 uF	0.1 uF	330 uH	50SQ100	1 uF	1 M ohm	384 K ohms

Cuadro 3.28: Componentes para el funcionamiento del convertor DC-DC MAX 5033.

Integrado	tipo	Voltaje de salida	Voltaje de entrada	Corriente
L7805	regulador	5 V	35 V	hasta 1 A

Cuadro 3.29: Datos del regulador de voltaje L7805.[50]

en el Cuadro 3.28. La salida del convertor MAX5033 se encuentra luego de la bobina LOUT. El valor de voltaje obtenido en C3 es 12 V, posteriormente se le agrega un regulador de 5 V. Las características del regulador se mencionan en el Cuadro 3.29.

El valor de C5 es 0.33 uF y asegura la estabilidad de voltaje en la entrada del regulador. El valor de C6 es 0.1 uF y mantiene el valor del voltaje a la salida del regulador.

Se utiliza un circuito acondicionador para alimentar el circuito de driver para el motor y otro para alimentar los circuitos de control, interfaz y comunicación. Esta disposición se debe a que el driver debe manejarse como un bloque independiente del sistema. Esto permite que haya flexibilidad en el *hardware* y el driver pueda ser reemplazado, mejorado o utilizado en otro sistema.

Las tarjetas de los acondicionadores de voltaje se colocarán encima de la tarjeta del Driver y otra en la tarjeta de control. Los elementos SV1, E48 y S12 son los conectores y a la vez soportes que servirán de acople entre las tarjetas.

Capítulo 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1. Sistema mecánico

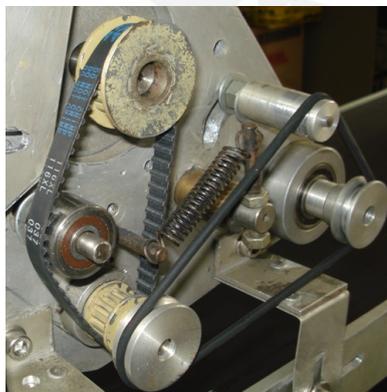
En la Figura 4.1, se muestran los sensores, motor y poleas acopladas a la estructura mecánica.



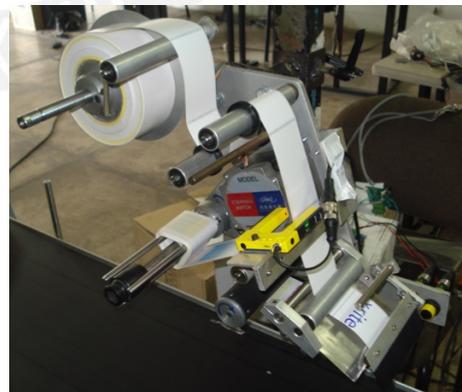
(a) Ubicación de la cinta con etiquetas a una distancia media entre los brazos del sensor



(b) Ubicación de los sensores FOTO1 Y FOTO2 en paralelo a la faja transportadora



(c) Acoplamiento de las poleas dentadas y poleas en V.



(d) Estructura mecánica ubicada sobre la faja transportadora.

Figura 4.1: Estructura mecánica con sensores y motor.

Se observa en (c) dos poleas en V que fueron acopladas, mediante un *o'ring* de goma, para mover el rodillo receptor de etiquetas. La estructura mecánica (d), se ubica a una

distancia ligeramente mayor al alto de la caja que se va a etiquetar. Debe haber un espacio aproximado de 0.5 cm entre la punta de la cuña y el borde superior de la caja.

4.2. Implementación y pruebas del circuito Driver

En la Figura 4.2 se observa el driver del motor paso a paso. En la Figura (a), el circuito que acondiciona los voltajes utilizados para el microcontrolador y activación de los MOSFET está acoplado en la parte superior. En la Figura (b), se muestra la cara posterior. Los MOSFET fueron ubicados para que puedan doblarse y ocupen menos espacio.

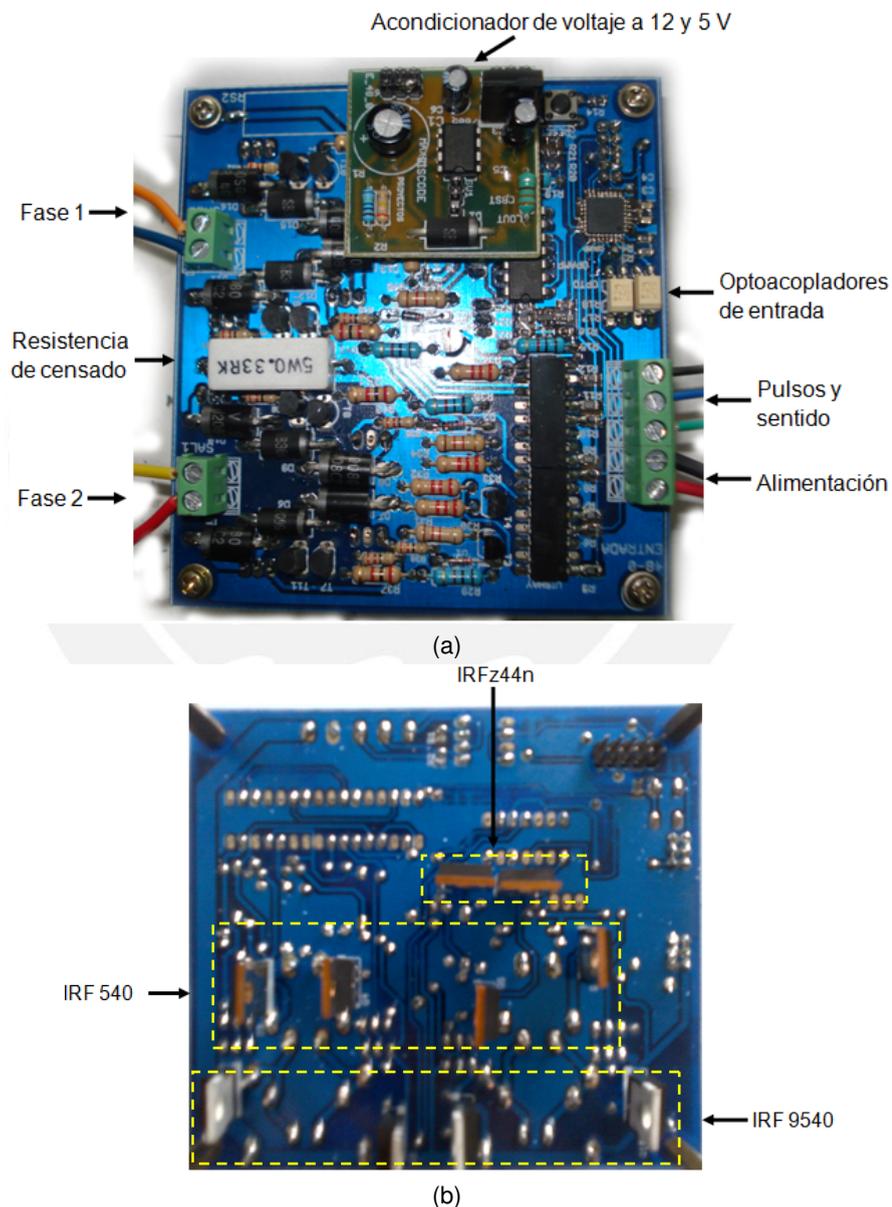


Figura 4.2: Driver de motor paso a paso implementado. (a) Vista frontal de la tarjeta Driver. (b) Vista posterior de la tarjeta Driver.

4.2.1. Resistencia de sensado RS1

En la Figura 4.3 se observa las formas de onda de voltaje en la resistencia RS1.

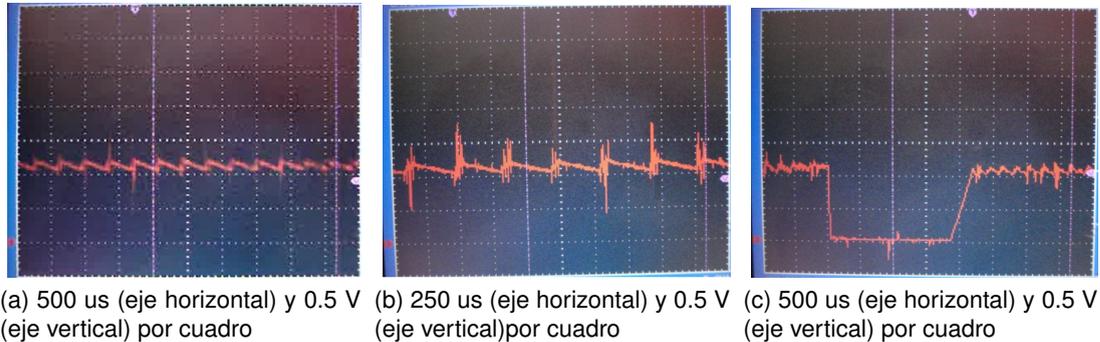


Figura 4.3: Voltaje en la resistencia de sensado RS1.

Utilizando la Figura (a) y (b) se comprueba el tiempo de carga y descarga de la histéresis. Valor calculado $9.8746 + 183.48 = 193.35 \mu\text{s}$. El Valor mostrado en el osciloscopio es $300 \mu\text{s}$ aproximadamente. En (c) se observa la carga de la bobina desde un valor 0 V . Valor calculado $254.3 \mu\text{s}$. Valor mostrado en el osciloscopio $240 \mu\text{s}$ aproximadamente. La diferencia de los valores calculados y mostrados se debe a las resistencias R_{ds} de los MOSFET y al grado de desgaste del cable de las bobinas.

4.2.2. Gate de los MOSFET canal N

En la Figura 4.4 se observa la entrada en el gate de los MOSFET canal N.

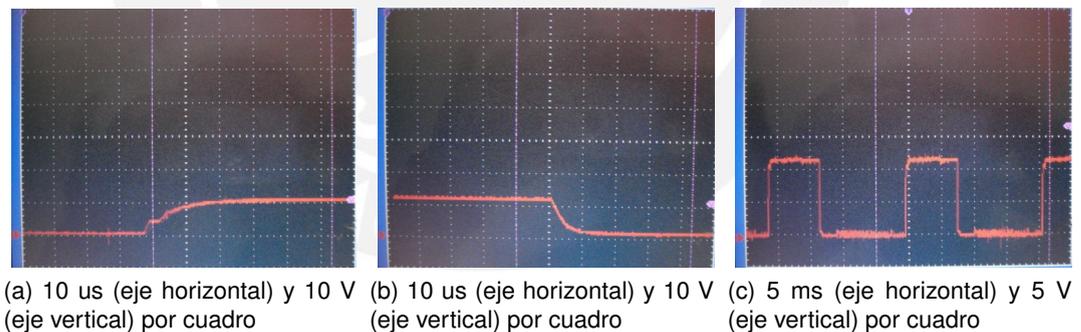


Figura 4.4: Entrada en el gate de los MOSFET canal N.

En (a) se observa el tiempo de encendido, aproximadamente $12 \mu\text{s}$. En (b), el tiempo de apagado, aproximadamente $11 \mu\text{s}$. En (c), la onda en el gate cuando el motor esta moviendose con el duty cycle de 0.375 que corresponde a lo calculado. Los tiempos de prendido y apagado dependen directamente del optoacoplador ILQ2 y la resistencia de 22 ohms que va en el gate.

4.2.3. Gate en los MOSFET canal P

En la Figura 4.5 se observa la entrada en el gate de los MOSFET canal P.

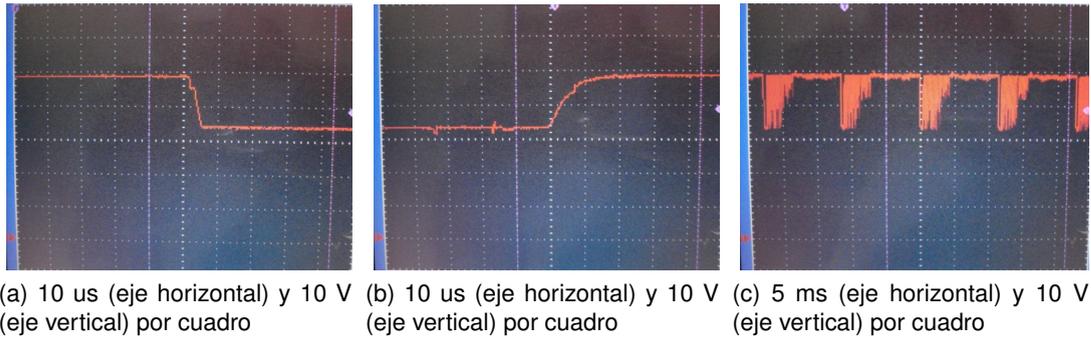


Figura 4.5: Entrada en el gate de los MOSFET canal P.

En (a) se observa el tiempo de encendido, aproximadamente 4 μ s. En (b), el tiempo de apagado, aproximadamente 12 μ s. En (c), la onda en el gate cuando el motor esta moviendose con el duty cycle de 0.375 que corresponde a lo calculado. Se observa que en el prendido la entrada del gate empieza a oscilar, este es el efecto del *chopper* para mantener la corriente en el valor deseado. Los tiempos de prendido y apagado dependen del optoacoplador ILQ2 y la resistencia de 22 ohms que va en el gate.

4.3. Implementación y prueba del circuito de control

En la Figura 4.6 se observa el circuito de control del sistema electrónico. En (a) se observa el circuito acondicionador de voltaje acoplado en la parte superior. En (b) se observa la cara posterior de la tarjeta y se ve el conector de 10 pines que lo comunicará con el circuito de interfaz y comunicación.

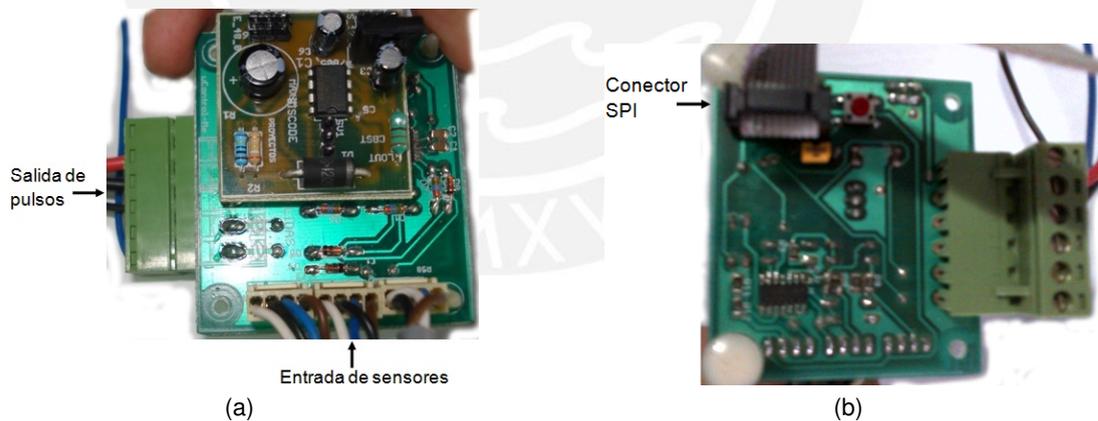


Figura 4.6: Circuito de control implementado. (a) Vista frontal de la tarjeta de Control. (b) Vista posterior de la tarjeta de Control.

En la bornera verde se encuentran las salidas para manejar el circuito driver. En (a), parte inferior, se observan los conectores utilizados para los sensores. Los valores de saturación de los sensores fotoeléctricos son 0.7 V y la del sensor de fin de etiqueta 1 V (ver [12], [13]).

4.4. Implementación y prueba del circuito de interfaz y comunicación

En la Figura 4.7 se observa el circuito de control del sistema electrónico.

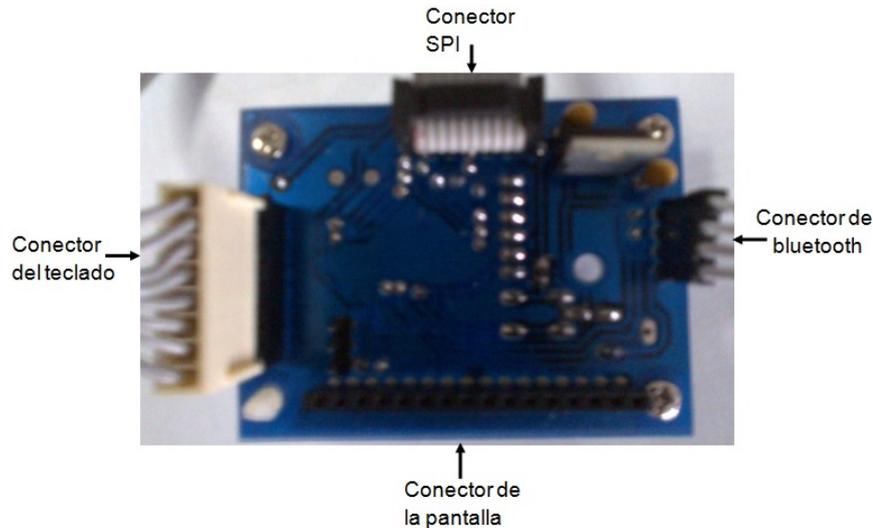


Figura 4.7: Circuito de interfaz implementado.

Se observa el circuito con los conectores de comunicación. También se observa, en la parte superior derecha, el regulador de 3.3 V que utiliza el módulo *bluetooth*.

4.4.1. Menú del sistema

En la Figura 4.8 se observa el menú desarrollado y el teclado para acceder a cada opción.



Figura 4.8: Menú en el LCD y teclado.

Los números del teclado representan cada opción del menú. Al encender la máquina se muestra el mensaje ETIQUETADORA AUTOADHESIVA. Se accede al menú mediante la tecla menú. Para ingresar a las opciones se utiliza el número que se muestra en cada opción. Para salir de las opciones se utiliza la tecla menú, excepto para la opción Mover que se utiliza la tecla 2ND.



(a) Se activa el sistema y se muestra el mensaje de Etiquetando y el número de etiquetas usadas hasta el momento



(b) Se detiene el actuador y se muestra el mensaje Paro



(c) Se muestra el mensaje sentido. El sentido se cambia utilizando las flechas del teclado



(d) Sentido inicial



(e) Cambio de sentido



(f) Se muestra el número de etiquetas utilizadas anteriormente

Figura 4.9: Opciones que posee el sistema de la máquina etiquetadora.

4.4.2. Programa en el ordenador y comunicación

Al encender el sistema, se activa el módulo *bluetooth* y se pone en espera hasta conectarse con un ordenador. En la Figura 4.10 se observa el programa para conectarse con el módulo *bluetooth* y recibir los datos del número de etiquetas.

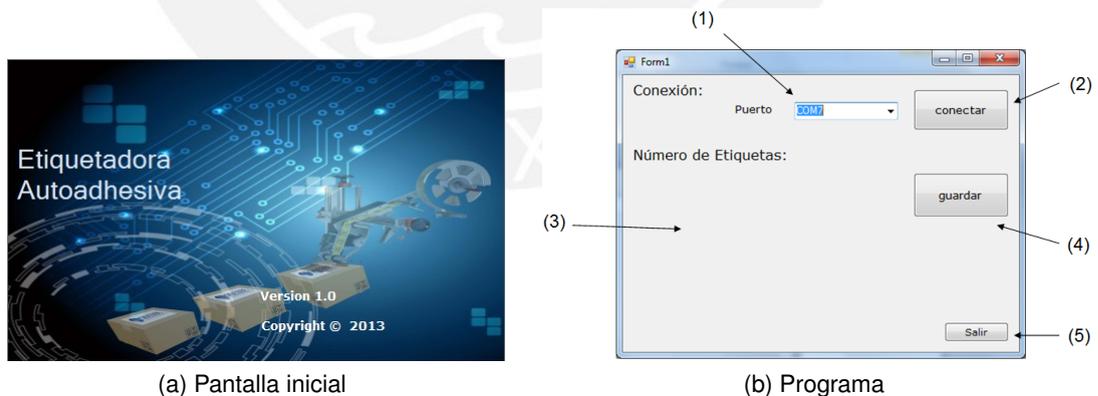


Figura 4.10: Programa de comunicación del ordenador al circuito de interfaz y comunicación.

En Figura 4.10 (a) se observa la pantalla inicial del programa desarrollado en Visual Basic 2012. Al cargar el programa se muestra la pantalla en (b). En (1) hay un menú desplegable donde se elige el puerto COM, del ordenador, por donde recibe la señal del *bluetooth*. Luego se utiliza (2) para establecer la conexión inalámbrica. En (3) se mostrará el número de etiquetas que se esta utilizando desde que se inició el

proceso de etiquetado. Para almacenar el número de etiquetas mostradas se utiliza guardar (4). Para salir del programa se utiliza (5). En la Figura 4.11 se muestran los resultados cuando la máquina esta en funcionamiento.

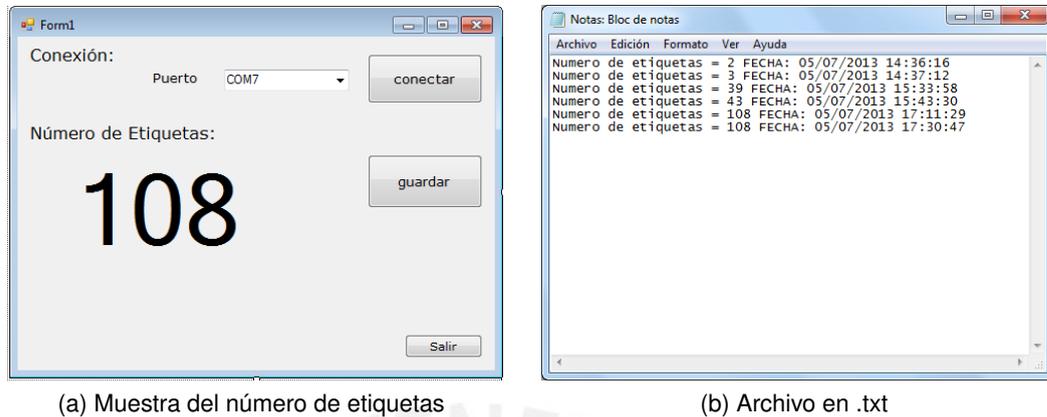


Figura 4.11: Programa de comunicación del ordenador mostrando el número de etiquetas y el archivo .txt donde lo almacena

Cada vez que se guarde el número de etiquetas, se almacenará la cantidad el archivo de texto (Notas.txt) que se crea cuando se ejecuta el programa. Los datos almacenados son el número de etiquetas, la fecha y la hora cuando se guardo la información.

4.5. Pruebas de funcionamiento

Se realizo 2 clases de pruebas para observar el funcionamiento de la máquina etiquetadora autoadhesiva. En la primera se utilizaron 2 cajas de diferentes tamaños a 3 velocidades cada una. En la segunda se realizaron 50 mediciones de una sola caja a una sola velocidad. Para mover la faja se utilizó un variador DELTA serie VFD.

Uno de los objetivos de la tesis es obtener una velocidad de etiquetado de 0.5 m/s. Esta velocidad fue superada y las pruebas se muestran en anexos. Para las medidas, se utiliza el siguiente formato, ver Figura 4.12, con valores de H y L en mm.

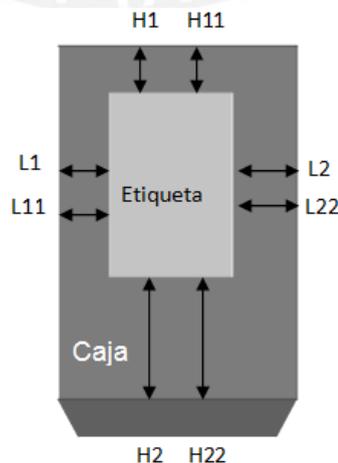


Figura 4.12: Medidas realizadas para la toma de datos de etiquetado.

4.5.1. Prueba 2 cajas y 3 velocidades

Caja 70 mm de alto, 136 mm de ancho y 247 mm de largo.

La cuña se ubico a 75 mm de la faja transportadora. Se realizó un cálculo de la velocidad de la faja respecto a la frecuencia del variador. Se hicieron 3 pruebas por cada velocidad. Los resultados de la prueba 1 se muestran en el Cuadro 4.1, de la prueba 2 en el Cuadro 4.2 y de la prueba 3 en el Cuadro 4.3.

Frecuencia	Velocidad aprox.	H1	H11	L1	L11	H2	H22	L2	L22
12.1 Hz	0.168 m/s	15	15	45	45	136	136	36.5	36.5
		14	14	45	45	137	137	36.5	36.5
		17.5	17.5	45	45	133	133	36.5	36.5

Cuadro 4.1: Resultados de las 3 pruebas a una velocidad de 0.168 m/s.

Frecuencia	Velocidad aprox.	H1	H11	L1	L11	H2	H22	L2	L22
24 Hz	0.33 m/s	27	27	45	45	124	124	36	36
		28	28	45	45	123.5	123.5	36	36
		28	28	45	45	124	124	35	35

Cuadro 4.2: Resultados de las 3 pruebas a una velocidad de 0.33 m/s.

Frecuencia	Velocidad aprox.	H1	H11	L1	L11	H2	H22	L2	L22
36 Hz	0.5 m/s	36.5	36.5	44.5	44.5	114.5	114.5	36.5	36.5
		32	32	45	45	119	119	35	35
		31.5	31.5	45	45	119.5	119.5	35	35

Cuadro 4.3: Resultados de las 3 pruebas a una velocidad de 0.5 m/s.

Observando los resultados se puede ver que las etiquetas están bien posicionadas, con sus lados paralelos al de la caja y sin dobleces. Sin embargo, el valor de H1-H11 varía de acuerdo a la velocidad. Al incrementar la velocidad, la distancia de posición de la etiqueta respecto al borde de la caja también se incrementa. En la Figura 4.13 se muestran imágenes de los resultados.



(a) Muestra a 12.1 Hz

(b) Muestra a 24 Hz

(c) Muestra a 36 Hz

Figura 4.13: Imágenes de la prueba. Observar que la caja esta echada.

Caja 100 mm de alto, 140 mm de ancho y 140 mm de largo.

Se hicieron 3 pruebas por cada velocidad. Los resultados de la prueba 1 se muestran en el Cuadro 4.4, de la prueba 2 en el Cuadro 4.5 y de la prueba 3 en el Cuadro 4.6.

Frecuencia	Velocidad aprox.	H1	H11	L1	L11	H2	H22	L2	L22
15 Hz	0.208 m/s	13.5	13.5	12	12	30.5	30.5	72	72
		13.4	13.4	12	12	30.6	30.6	72	72
		15	15	12	12	29	29	72	72

Cuadro 4.4: Resultados de las 3 pruebas a una velocidad de 0.208 m/s.

Frecuencia	Velocidad aprox.	H1	H11	L1	L11	H2	H22	L2	L22
26 Hz	0.361 m/s	21	21	12	12	23	23	72	72
		24	24	12	45	20	20	72	72
		16	16	12	45	28	28	72	72

Cuadro 4.5: Resultados de las 3 pruebas a una velocidad de 0.361 m/s.

Frecuencia	Velocidad aprox.	H1	H11	L1	L11	H2	H22	L2	L22
36 Hz	0.5 m/s	35	35	12	12	9	9	72	72
		32	32	12	12	12	12	72	72
		33	33	12	12	11	11	72	72

Cuadro 4.6: Resultados de las 3 pruebas a una velocidad de 0.5 m/s.

Se puede ver que las etiquetas están bien posicionadas, con sus lados paralelos al de la caja y sin dobleces. En este caso la distancia de L1-L11 es menor al caso anterior, esto se debe a la ubicación de la estructura mecánica. Se observa que el valor de H1-H11 varía de acuerdo a la velocidad. En la Figura 4.14 se muestran imágenes de los resultados.

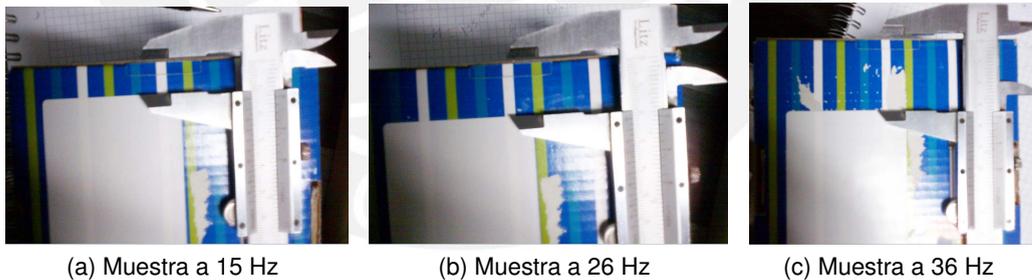


Figura 4.14: Imágenes del desfase, en mm, de la segunda prueba. (a) 12 mm. (b) 20 mm. (c) 34 mm.

4.5.2. Prueba de 1 caja a 1 velocidad

Se utiliza la primera caja de la prueba anterior. Se colocaron los sensores que detectan la caja a 12 mm después de la cuña. La cuña a una distancia de 79 mm de la faja. Se utiliza una frecuencia de 25 Hz equivalente a 0.3472 m/s. De las pruebas anteriores, se observa que las distancias laterales no cambian. Por lo tanto en esta prueba se toma prioridad a la distancia H1-H11. En la tabla 4.7 se muestran los datos de las mediciones.

Prueba	H1	H11	Prueba	H1	H11	Prueba	H1	H11
1	15	15	18	12	12	35	12	12
2	32	32	19	26.5	26.5	36	12	12
3	15	15	20	16	16	37	31	31
4	18	18	21	27	27	38	28	28
5	21	21	22	16.5	16.5	39	29	29
6	14	14	23	22	22	40	23	23
7	17.5	17.5	24	31.5	31.5	41	37	37
8	25	25	25	24	24	42	15	15
9	20	20	26	19.5	19.5	43	16	16
10	36.5	36.5	27	28	28	44	33	33
11	17.2	17.2	28	21	21	45	17	17
12	18	18	29	28	28	46	16	16
13	32	32	30	37	37	47	29	29
14	20	20	31	19.5	19.5	48	17	17
15	25	25	32	23	23	49	22	22
16	19	19	33	19	19	50	16	16
17	15	15	34	21	21			

Cuadro 4.7: Resultados de la prueba de 1 caja a una velocidad.

Los datos mostrados tienen una **media de 22.094 mm**; una **mediana de 20.5 mm** y una **desviación estandar de 6.8 mm**. Esto nos ayuda a observar el error del sistema respecto a H1. Se puede visualizar el histograma en la Figura 4.15.

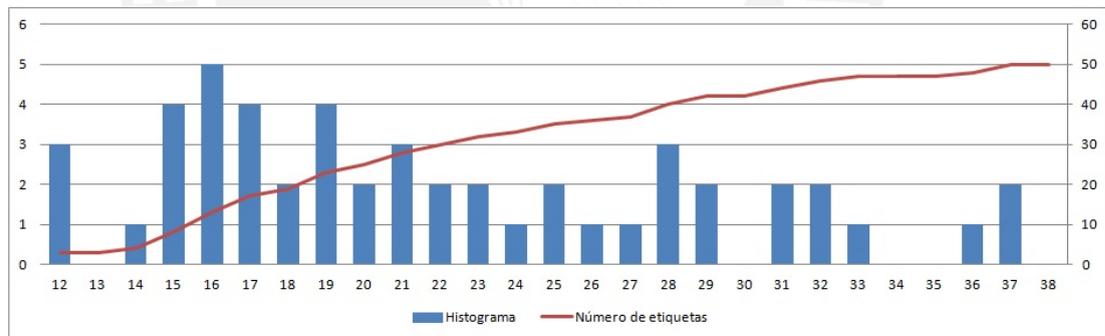


Figura 4.15: Rango de distancia donde se ubica la etiqueta.

Se puede concluir que para el rango donde puede ubicarse una etiqueta, para la velocidad de 0.374 m/s, es de 12 a 20 mm con una certeza de más del 50 por ciento

En las 3 pruebas realizadas se observa la relación de la posición de la etiqueta con la velocidad. Esto es debido a los sensores difusos utilizados, el diametro del lente que utilizan tiene 18 mm y la hoja de datos no precisa el ángulo de apertura del infrarojo. Otro motivo que interviene en la aplicación de la etiqueta son las variaciones (pequeñas) en la velocidad de la faja.

La parte mecánica también aporta error al etiquetado. La distancia entre la cuña y la parte superior de la caja puede variar el lugar de posición de la etiqueta. Se ha probado en varios ángulos y es preferible que la cuña este lo más paralelo a la caja; sin embargo, el etiquetado se puede considerar de acuerdo a los objetivos.

4.6. Presupuesto

El presupuesto para la implementación del proyecto se encuentra en la tabla de la Figura 4.16. Los precios en soles están en base al mercado local y los precios en dólares son elementos importados (excepto las poleas y la faja dentada).

Descripción	Cantidad	Precio Unitario (Dólares)	Precio Unitario (Soles)	Precio Total (soles)
Chasis de máquina etiquetadora	1	304	1064	1064
Polea dentada 13 XL037	1	58	203	203
Polea dentada 21 XL037	1	78	273	273
Correa de Trasnmisión dentada XL 116	1	26	91	91
Motor a pasos	1	40	140	140
MOSFET IRF 540	4	-	1.5	6
MOSFET IRF 9540	4	-	1.5	6
MOSFET IRF Z44N	2	-	1.5	3
Transistor BJT BC 546	4	-	0.5	2
Transistor BJT BC 556	4	-	1.5	6
Transistor BJT 2N3906	4	-	0.5	2
Transistor BJT 2N3904	2	-	1.5	3
Optoacoplador ILQ2	8	-	0.5	4
Resistencias, condensadores, leds	77	-	0.2	15.4
Diodo Schottky 1N5711	4	-	1	4
Diodo Schottky 50SQ100	9	0.5	1.75	15.75
Opamp LM339N	3	-	2.5	7.5
Regulador de Voltaje LM1117-3.3	1	-	1	1
Regulador de Voltaje L7805	1	-	1	1
Regulador de Voltaje MAX5033	2	3.6	12.6	25.2
Conectores y Borneras	20	-	1.5	30
ATmega8	3	-	28	84
Optoacoplador TLP512	2	-	2.5	5
Sensor Fotoeléctrico BANNER S18 SP6DQ	2	63.6	222.6	445.2
Sensor Fotoeléctrico BANNER SLM30B6	1	63.6	222.6	222.6
Diodo 1N4148	8	-	0.5	4
Pantalla LCD 2x16	1	-	25	25
Teclado Matricial 4x4	1	-	5	5
Módulo Bluetooth HC-06	1	-	25	25
Receptor Dongle USB Bluetooth	1	-	20	20
Fuente Switching S-500-48	1	24.5	85.75	85.75
Trabajo del tesista (días)	180	-	21.6	3888
			Total	6712.4

Figura 4.16: Presupuesto del sistema implementado.

Conclusiones

- 1.** Para implementar un puente H con MOSFETs se debe asegurar la no conducción del mismo cuando no sea activado por el gate. Esto debido a que para el MOSFETs puede activarse mediante una corriente inversa que pueda circular por el diodo de cuerpo. Colocar diodos en forma directa ayudará a eliminar el efecto del diodo de cuerpo, esto se puede observar en la Figura 3.11.
- 2.** Para mover el motor paso a paso a una velocidad alta (0.5 m/s) se debe incrementar el valor de voltaje de alimentación. Manejar el motor a voltajes altos disminuirá el tiempo de carga de sus fases de acuerdo a la Fórmula 3.6. Esto se comprobó en la Figura 4.3 (c) obteniendo un tiempo de carga de la bobina similar al calculado en la Sección 3.1. Realizado lo anterior se logró cumplir con el objetivo de alcanzar hasta 0.5 m/s (como se observan en 4.5 Pruebas de funcionamiento)
- 3.** La utilización de sensores fotoeléctricos para el cálculo de la velocidad instantánea de la caja es altamente confiable. En el proceso de etiquetado no hubo ningún doblez, lo que garantiza que la velocidad de la etiqueta es similar al movimiento de la caja.
- 4.** La precisión de posicionar la etiqueta autoadhesiva sobre una caja depende de la estructura mecánica para obtener los bordes de la etiqueta paralelos a los bordes de la caja y del sensor fotoeléctrico para ubicar la etiqueta en la misma distancia respecto al borde de la caja. Como se ha visto en la Figura 4.15, la variación de la posición de la etiqueta puede ser alta si no se posee un sensor con una precisión adecuada.

Recomendaciones

- 1.** La precisión al posicionar la etiqueta autoadhesiva se puede mejorar utilizando sensores de campo fijo. Por ejemplo el diámetro del foco del sensor de campo fijo Q12 RB6FF30 es 0.5 mm, esto asegura una precisión mayor para detectar objetos, respecto a los sensores difusos con 18 mm de diámetro de lente.
- 2.** La estructura mecánica debe ser mejorada. La cuña debe poseer un soporte más adecuado para no ceder ante la fuerza del motor a velocidades altas.
- 3.** El manejo del sistema electrónico puede mejorarse implementando el menú de funcionamiento en el software del ordenador. Programando dicho menú en Visual Basic, el sistema puede operarse a distancia mediante la conexión inalámbrica que se posee.
- 4.** La interfaz utilizada, pantalla y teclado, puede desacoplarse del sistema y utilizar componentes más especializados como PLC's o HMI para manejar la máquina etiquetadora. Esto puede realizarse fácilmente dado que el circuito de control es independiente de la interfaz y se puede comunicar mediante SPI.

Bibliografía

- [1] KRONES AG. Etiquetadoras de adhesivo frío de krones. Böhmerwaldstraße 5 93073 Neutraubling Alemania, Febrero 2017.
- [2] KRONES AG. Krones autocol. Böhmerwaldstraße 5 93073 Neutraubling Alemania, Febrero 2017.
- [3] KRONES AG. Krones contiroll. Böhmerwaldstraße 5 93073 Neutraubling Alemania, Febrero 2017.
- [4] KRONES AG. Krones sleevematic. Böhmerwaldstraße 5 93073 Neutraubling Alemania, Febrero 2017.
- [5] Alibaba. Top Header Labeler Machine (2017). [Consulta: 12 de Mayo de 2017]. Disponible en: <http://www.alibaba.com>.
- [6] Atmel. *ATmega8*. Atmel Corporation, USA, 2013.
- [7] Ltd. Autopack Co. Quotation la-100 label applicator. No.15, Ln. 316, Guangxing Rd., Bade City, Taoyuan County 33454, Taiwan (R.O.C.), Febrero 2013.
- [8] AvanShop. Ribbons y Etiquetas (2017) . [Consulta: 04 de Mayo de 2017]. Disponible en: <http://www.avanshop.es>.
- [9] AXUS PACKAGING MACHINERY CO. LTD. AL200 Top Labeling Machine (2013). [Consulta: 06 de Junio de 2017]. Disponible en: www.axus.cc.
- [10] BANNER. *Sensores EZ-BEAM*. Minneapolis, MN USA, 2004.
- [11] BANNER. *WORLD-BEAM Q12*. Minneapolis, MN USA, 2009.
- [12] BANNER. *R58B Series*. Minneapolis, MN USA, 2011.
- [13] BANNER. *SLM series Slot sensor*. Minneapolis MN, USA, 2012.
- [14] Stephen J. Chapman. *MÁQUINAS ELÉCTRICAS*. McGraw-Hill Interamericana., 2005.
- [15] CICRESPI. Aerlampo and Aerprime (2012). [Consulta: 06 de Junio de 2017]. Disponible en: www.hellotrade.com/cicrespi-spa/aerlampo-aerprime-labelling-heads.html.
- [16] CISCO. Ethernet (2017). [Consulta: 06 de Junio de 2017]. Disponible en: <http://www.cisco.com/c/en/us/tech/lan-switching/ethernet/index.html>.
- [17] Reston Condit. Stepping motors fundamentals. Technical report, University of Iowa, 2004.

- [18] Densitron. *Dot Matrix LCD Character Modules*, 1998.
- [19] Leuze electronic. Capacitive forked sensor. In der Braike 1 · 73277 Owen / Germany.
- [20] Emartee. HC-06 serial port bluetooth module (2013). [Consulta: 06 de Junio de 2017]. Disponible en: <http://www.emartee.com/product/41915/>.
- [21] FAIRCHILD. BC546/547/548/549/550 (2000). [Consulta: 23 de Mayo de 2013]. Disponible en: <http://itee.uq.edu.au/elec3400/datashts/BC549.pdf>.
- [22] FAIRCHILD. BC556/557/558/559/560 (2000). [Consulta: 06 de Junio de 2017]. Disponible en: <http://www.philohome.com/sensors/gp2d12/gp2d12-datasheets/bc558.pdf>.
- [23] Ltd. Guangzhou DADE Packing Machinery Co. Quotation automatic flat objects labeling machine. No.9, HaiKou Village, ShiJing, BaiYun District, Guangzhou, China., Febrero 2013.
- [24] WEI HAO. *S-500 automatic stabilizer 500W S-500-48*, 2012.
- [25] Cheng He. Research of the automatic shrinking-film labeling machine based on the data bus. Technical report, IEEE, 2011.
- [26] Direct INDUSTRY. Etiquetadoras (2017). [Consulta: 06 de Junio de 2017]. Disponible en: <http://www.directindustry.es/fabricante-industrial/etiquetadora-61840.html>.
- [27] TEXAS INSTRUMENTS. LM1117-N, LM1117I (2016). [Consulta: 06 de Junio de 2017]. Disponible en: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm1117.pdf>.
- [28] TEXAS INSTRUMENTS. LM339 QUAD DIFFERENTIAL COMPARATORS (2015). [Consulta: 06 de Junio de 2017]. Disponible en: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm239.pdf>.
- [29] Maxim Integrated. MAX5033 (2014). [Consulta: 06 de Junio de 2017]. Disponible en: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX5033.pdf>.
- [30] JMC-MOTION. 2 Phase Hybrid Step Motor-86 (2013). [Consulta: 23 de Abril de 2017]. Disponible en: <http://www.jmc-motion.com/en/product/show.php?id=34>.
- [31] JOCAR TRANSMISIONES S.L., c/Lezeaga 4. 480002 Bilbao. *POLEAS DENTADAS STANDARD*.
- [32] Douglas W. Jones. Stepping Motor Type. [Consulta: 06 de Junio de 2017]. Disponible en: <http://homepage.cs.uiowa.edu/~jones/step/types.html>.
- [33] ABCDPACK LIMITED. AI-3130 top labeling machine. Add: No.30 Zhongyi Feie industrial park, Street Zhongcun, Panyu district, Guangzhou city, Guang Dong Province, China., Febrero 2013.
- [34] Ing. Hugo Pratt Linares. Comunicación serial. PUCP, Octubre 2003.
- [35] LTD. Neostarpack Co. Quotation nlt-200 top label applicator with stand. No.42, Liba St., Bade City, Taoyuan County 334, Taiwan, Febrero 2013.

- [36] IEEE Branislav Kuzmanovic Petar Crnosija, Member and Stipe Ajdukovic. Micro-computer implementation of optimal algorithms for closed-loop control of hybrid stepper motor drives. Technical report, IEEE, 2000.
- [37] BAYARDO JULIÁN BARAHONA QUELAL. Construcción de una máquina etiquetadora automática para envases cilíndricos con etiquetas autoadhesivas. Technical report, Escuela Politecnica Nacional, 2011.
- [38] International Rectifier. IRF540N (1998). [Consulta: 06 de Junio de 2017]. Disponible en: <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irf540n.pdf>.
- [39] International Rectifier. IRF9540 (1998). [Consulta: 06 de Junio de 2017]. Disponible en: <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irf9540n.pdf>.
- [40] FAIRCHILD SEMICONDUCTORS. 2N3904 NPN General Purpose Amplifier (2014). [Consulta: 06 de Junio de 2017]. Disponible en: <https://www.fairchildsemi.com/datasheets/2N/2N3904.pdf>.
- [41] Vishay Semiconductors. ILD1, ILD2, ILD5, ILQ1, ILQ2, ILQ5 (2017). [Consulta: 06 de Junio de 2017]. Disponible en: <http://www.vishay.com/docs/83646/ild1.pdf>.
- [42] Vishay Semiconductors. Switching diode 1N4148 (2017). [Consulta: 06 de Junio de 2017]. Disponible en: <http://www.vishay.com/docs/81857/1n4148.pdf>.
- [43] Vishay Semiconductors. *50SQ100*, Octubre 2012.
- [44] SENSICK. WII 170(t) photoelectric switches. Waldkirch (Alemania), 2006.
- [45] Ltd. Shanghai Kuixing Packaging Machinery Co. Quotation yxt-bb adhesive sticker flat labeling machine. No.50 Lujiawan Jingguang village Sanlin town Pudong area Shanghai city China, Febrero 2013.
- [46] LTD. Shanghai Skilt Machinery Equipment CO. The catalogue of main labeling machine. No.1996 Guangtai Road, Jinhui Town ,Fengxian,Shanghai.China., Febrero 2013.
- [47] Ernesto. Soto Torres. Introducción y conceptos generales. PUCP, 2012.
- [48] STMicroelectronics. General Purpose Transistors 2N3906 (2010). [Consulta: 12 de Mayo de 2017]. Disponible en: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/2N3906-D.PDF>.
- [49] STMicroelectronics. SMALL SIGNAL SCHOTTKY DIODE 1N5711 (2001). [Consulta: 06 de Junio de 2017]. Disponible en: <http://www.learnabout-electronics.org/Downloads/1N5711.pdf>.
- [50] STMicroelectronics. Positive Voltage Regulators L7805 (2004). [Consulta: 12 de Mayo de 2017]. Disponible en: <http://pdf.datasheetcatalog.net/datasheet2/8/0ishsf7y9sp31h690e60g8gclc3y.pdf>, Noviembre 2004.
- [51] LM TECHNOLOGIES. LM505 USB Adapter (2017). [Consulta: 12 de Mayo de 2017]. Disponible en: <http://www.farnell.com/datasheets/1651166.pdf>.
- [52] S.A. Torrassapel. Formación papel autoadhesivo, 2008.
- [53] TOSHIBA. *TLP 512*, 2011.

- [54] USRCN. SERIAL TTL RS232 TO 802.11 B/G/N CONVERTER EMBEDDED WIFI MODULE (2013). [Consulta: 12 de Mayo de 2017]. Disponible en: <http://en.usr.cn/serial-ttl-rs232-to-802.11-bgn-converter-Embedded-WiFi-Module.html>.
- [55] Jonathan W. Valvano. Half stepping techniques. Technical report, THE UNIVERSITY OF TEXAS AT AUSTIN, 2013.
- [56] Jonathan W. Valvano. Stepper motor and driver selection. Technical report, THE UNIVERSITY OF TEXAS AT AUSTIN, 2013.

