

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE MEDICIÓN DE VOLUMEN DE CAJAS DE 5cm A 20cm DE LADO BASADO EN SENSORES DE PROXIMIDAD

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Electrónico**, que presentan los bachilleres:

Vladimir Edmundo Llallico Tovar

Juan Diego Jiménez Carpio

José Alejandro Herrera Jiménez

ASESOR: Ing. Willy Eduardo Carrera Soria

Lima, abril de 2015

RESUMEN

Actualmente, debido al crecimiento exorbitante de comercio de productos de consumo masivo, las industrias tienen la necesidad de contar con una mejor organización, gestión y control de los procesos en el ámbito logístico, para poder asegurar el uso de manera eficiente, eficaz y efectiva de los recursos materiales, financieros y humanos con los que cuenta.

Un aspecto importante en el área logística de las empresas es el almacenamiento de las existencias, donde se requiere controlar y sistematizar de manera adecuada y segura la utilización de las instalaciones, pues representan buena parte de los gastos que tienen que realizar las empresas. Asimismo, el transporte de los productos es otro factor que interviene y determina el desarrollo y evolución de la logística, pues las industrias necesitan conocer e identificar los volúmenes exactos de productos que requerirá de sus proveedores o entregará a sus clientes para poder calcular los costos y usar de manera eficiente los recursos de este rubro.

Por otra parte, las empresas requieren de un sistema de control de calidad de sus productos, para la detección y control de errores que se pueden presentar en ellos.

El presente trabajo propone una solución alternativa a la deficiente supervisión de los procesos involucrados en las industrias de fabricación de productos de consumo masivo, para ello se diseñará e implementará un sistema de dimensionamiento automático de cajas, que sirven para el empaque de los productos, con el objetivo de identificar y calcular los volúmenes de espacio requeridos por la empresa, costos de los procesos de almacenamiento y transporte, e implementar un sistema de control de calidad de las existencias para poder asegurar la entrega de un producto bueno y terminado a los clientes.

FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERÍA

 PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : Diseño e implementación de un sistema automático de medición de volumen de cajas de 5 cm a 20 cm de lado basado en sensores de proximidad.

Área : Circuitos y Sistemas # 1111

Asesor : Carrera Soria, Willy Eduardo

Alumno : Llallico Tovar, Vladimir Edmundo; Jimenez Carpio, Juan Diego; Herrera Jiménez, José Alejandro

Código : 20057234, 20077038, 20077061

Fecha : 23/05/13


Descripción y Objetivos

Los sistemas automáticos de dimensionamiento son dispositivos electrónicos y mecánicos que determinan las medidas de longitud, peso y volumen de objetos sin la necesidad de tener contacto con ellos; importantes y determinantes para establecer costos y capacidades en los procesos de almacenamiento y transporte en la industria. Así mismo, debido al incremento de la población y el comercio, surge la necesidad de la industria por desarrollar y mejorar características esenciales de estos sistemas, entre las cuales destacan la precisión y velocidad de medición, mediante la utilización de diversas tecnologías, como son la óptica, láser, ultrasónica, entre otras. Las empresas involucradas en el rubro de transporte, almacenamiento y mensajería en el Perú no están exentas de incurrir en pérdidas de tiempo y gastos de dinero debido a un inadecuado procedimiento de control y supervisión de determinados productos.

Por ello, se propone el diseño e implementación de un sistema de medición automático de volumen de cajas capaz de determinar sus dimensiones las cuales variarán en el intervalo de 5cm x 5cm x 5cm hasta 20cm x 20cm x 20cm con una precisión de 1mm. Además el dispositivo podrá trabajar en un intervalo de velocidad de operación de 0.3m/s a 0.7m/s, establecer una comunicación con una PC e implementar una interfaz de usuario para controlar el sistema de manera que se pueda mostrar las dimensiones, el volumen y el número de cajas que se han desplazado.

 PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
SECCIÓN ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA

 Dr. Ing. BENJAMÍN CASTAÑEDA APHAN
Coordinador de la Especialidad de Ingeniería Electrónica

 PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
SECCIÓN ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA

 Ing. WILLY CARRERA SORIA
PROFESOR ASOCIADO

MÁXIMO 75. PÁGINAS

FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERÍAPONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

Título : Diseño e implementación de un sistema automático de medición de volumen de cajas de 5 cm a 20 cm de lado basado en sensores de proximidad.

Índice

Introducción

1. Sistemas empleados para la medición de volumen en la actualidad.
2. Dispositivos que constituyen un sistema dinámico de medición de volumen de cajas.
3. Diseño y desarrollo del sistema propuesto.
4. Implementación y pruebas de funcionamiento.

Conclusiones

Recomendaciones

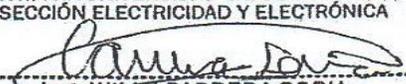
Bibliografía

Anexos

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
SECCIÓN ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA


Dr. Ing. BENJAMÍN CASTAÑEDA APHÁN
Coordinador de la Especialidad de Ingeniería Electrónica

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
SECCIÓN ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA


Ing. WILLY CARRERA SORIA
PROFESOR ASOCIADO

 MÁXIMO 75 PÁGINAS

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-----------|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO 1: TIPOS DE SISTEMAS ACTUALES EMPLEADOS EN LA MEDICIÓN DE VOLUMEN | 1 |
| 1.1 Presentación del Asunto de Estudio | 1 |
| 1.2 Estado de la Investigación | 3 |
| 1.3 Marco problemático | 4 |
| 1.4 Síntesis sobre el asunto de Estudio | 5 |
| CAPÍTULO 2: DISPOSITIVOS QUE CONSTITUYEN UN SISTEMA DINÁMICO DE MEDICIÓN DE VOLUMEN DE CAJAS | 7 |
| 2.1 Sensores | 7 |
| 2.2 Motores | 8 |
| 2.3 Microcontroladores | 9 |
| 2.4 Protocolos de comunicación de datos | 11 |
| 2.5 Interfaz de Usuario | 13 |
| CAPÍTULO 3: Diseño y desarrollo del sistema propuesto | 16 |
| 3.1. Marco de Referencia | 16 |
| 3.2 Objetivos | 16 |
| 3.2.1 Objetivo General | 16 |
| 3.2.2 Objetivos Específicos | 16 |
| 3.3 Diagrama de bloques general | 17 |
| 3.4 Diseño del Hardware | 17 |
| 3.4.1 Actuador | 17 |
| 3.4.2 Excitador | 19 |
| 3.4.3 Sensores | 23 |
| 3.3.4 Pantalla | 27 |
| 3.4.5 Teclado | 28 |
| 3.4.6 Transmisión y Recepción de datos | 29 |
| 3.4.7 Microcontrolador | 34 |
| 3.4.8 Fuente de alimentación | 36 |

| | |
|--|--------------------------------------|
| 3.5 Diseño del software | 40 |
| 3.5.1 Elaboración del algoritmo de programación del microcontrolador | 40 |
| 3.5.2 Elaboración del algoritmo de programación de la comunicación de datos con la computadora | 50 |
| CAPÍTULO 4: IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO | 52 |
| 4.1 Etapa 1: Actuador y circuito excitador | 52 |
| 4.1.1 Acoplamiento del actuador a la faja transportadora | 52 |
| 4.1.2 Generación de la señal PWM | 53 |
| 4.1.3 Medición de la velocidad máxima y mínima de la faja transportadora | 53 |
| 4.1.4 Obtención de la velocidad lineal en base al ciclo de trabajo | 55 |
| 4.2 Etapa 2: Sensores | 58 |
| 4.2.1 Sensores ultrasónicos | 58 |
| 4.2.2 Sensores fotoeléctricos | 62 |
| 4.2.3 Acoplamiento de sensores | 64 |
| 4.3 Etapa 3: Interfaz de usuario | 66 |
| 4.3.1 Muestra de parámetros en la pantalla LCD e interacción con el menú principal mediante el teclado matricial | 66 |
| 4.4 Etapa 4: Comunicación de datos | 69 |
| 4.4.1 Transmisión de datos del microcontrolador | 69 |
| 4.4.2 Recepción de datos de la computadora (PC) | 71 |
| 4.5 Etapa 5: Prueba de funcionamiento en la fuente general de alimentación | 72 |
| 4.5.1 Implementación de la fuente | 72 |
| 4.5.2 Medición de voltaje y corriente | 73 |
| 4.6. Prueba de funcionamiento del sistema completo y adquisición de datos de manera remota | 73 |
| 4.6.1 Transmisión de la información hacia la computadora en formato Excel | 73 |
| 4.6.2 Obtención de resultados: Medición de alto, ancho y largo | 75 |
| 4.7 Presupuesto | 75 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 76-79 |
| BIBLIOGRAFÍA | 80 |
| ANEXOS | Disponible en disco compacto. |

INTRODUCCIÓN

Ante el incremento dinámico del comercio en las regiones y el aumento de la población, surge la preocupación de la industria global por la seguridad y control de las cadenas distribuidoras y almacenes. Esto conlleva a entender mejor la labor de los operadores logísticos y sus servicios que entregan a las empresas.

En el Perú, el desarrollo de la logística se ha tornado muy complejo, debido a la geografía, a la alta concentración de demanda en las grandes ciudades y al crecimiento comercial, que es generado por un mayor consumo y producción en las diferentes regiones. Estos factores originan cadenas logísticas más largas y con mayor complejidad en la gestión.

Para afrontar estos problemas, se necesita diseñar e implementar un plan de integración a lo largo de toda la cadena de suministros y crear relaciones de confianza con los clientes. Arturo Frías, experto en el área de logística en México, propone realizar el desarrollo de un mapa logístico del Perú, y luego planear una estrategia de implantación de cultura, infraestructura, servicios e integración de los mismos. Asimismo, afirma que estos procesos y operaciones deben tener respaldo tecnológico, para la asertividad de los datos en los almacenes y transportes.

Así pues, para la organización, ordenamiento y adecuado control de los almacenes, transporte y distribución de paquetes, tenemos los sistemas de dimensionamiento automáticos, que son dispositivos y/o aparatos electrónicos de medición de longitudes y peso de objetos que no tienen contacto con ellos, importantes y determinantes para establecer los costos y capacidades en los diversos procesos de la industria. Asimismo, por el incremento de la población y el comercio, surge la necesidad de desarrollar y mejorar características esenciales de estos sistemas, entre las cuales destacan la precisión y velocidad de medición, mediante la utilización de diversas tecnologías, como son la óptica, laser, ultrasónica, robótica, entre otras.

El presente trabajo realizará estudios sobre la definición, funciones, características, clasificación y tecnologías de los sistemas de medición automáticos sin contacto. Asimismo, propone el diseño e implementación de un dispositivo de dimensionamiento de cajas en movimiento, de tal modo que sea capaz de ser introducido en la industria para su utilización y empleo.

CAPÍTULO 1

1. TIPOS DE SISTEMAS ACTUALES EMPLEADOS EN LA MEDICIÓN DE VOLUMEN

1.1. Presentación del asunto de estudio

Ryan Anderson, gerente de marketing y comunicaciones de la empresa Quantronix, afirma “Espacio es dinero” y aclara que es común, actualmente, en las instalaciones de sistemas de control de almacenes se encuentre máquinas de medición de volúmenes y pesaje automático [1]. Asimismo, Hanko Kiessner, director ejecutivo de Packsize International, menciona que las empresas, actualmente, están cambiando las líneas de producción de empaques para evitar la compra excesiva de cajas, asimismo, han reducido el tiempo de este proceso, incluso menor al que se requiere para su ubicación y transporte [2].

En el mercado peruano, de acuerdo a estadísticas de la Superintendencia Nacional de Administración Tributaria, para finales del 2010, el número de Almacenes y Depósitos Aduaneros que operaban en la actividad de importación eran 113 y 84 en exportación. Si bien muchas de estas empresas poseen instalaciones y tecnologías modernas, poco pueden hacer ante el crecimiento de la demanda [3]. En este sentido, según la Asociación Peruana de Profesionales en Logística, el Perú necesita fuertes inversiones en infraestructura, en lo que concierne a carreteras y áreas de almacenamiento, con la aplicación de criterios técnicos especializados, y control sistemático a largo plazo de los productos.

Así pues, en el proceso de transporte de objetos empaquetados uniformemente (por ejemplo cajas), los sistemas de medición de volumen se encargan de la clasificación de éstos según el tamaño o volumen, para así, poder conocer mejor el perfil de cada cliente de acuerdo a sus requerimientos y determinar, de forma más eficiente, los gastos económicos, financieros, mano de obra que requiere este proceso, un ejemplo claro se ilustra en la figura 1.1 donde se utiliza la capacidad máxima del medio de transporte de los productos. Adicionalmente, se puede implementar un control de calidad y detección de errores en las dimensiones del objeto o producto que se va a transportar.



Fig. 1.1. Transporte de productos

De la misma manera, uno de los procesos operativos en la industria que cada vez es más crítico e importante es el almacenamiento de productos. Un almacén bien manejado requiere un buen control y gestión de todas las existencias que se encuentran en este, para ello es necesario fijar volúmenes máximos y mínimos de existencias, conocer la cantidad de producto que se debe solicitar y cuando se debe realizar, para así poder estimar los costos que se generan por la realización del pedido y almacenamiento.

Los sistemas de medición de volumen ayudan a mejorar la distribución espacial y, de este modo, aprovechar al máximo el rendimiento del espacio de almacenaje disponible, la figura 1.2 muestra una clara comparación cuando una empresa utiliza dispositivos de dimensionamiento y otra que no lo hace. Además, se puede tener una idea del costo de transporte o envío de los objetos, así como también se puede controlar el inventario de una manera más rápida si se cambia el tamaño inicial de los productos.

Por otra parte, en la recepción de los productos, una vez entregados se procede al control e inspección de los mismos en lo que se refiere a calidad y si se ajusta a las condiciones estipuladas en algún contrato. Luego de esta verificación, se repaletaiza la mercancía que procede y se traslada al lugar de almacenamiento [3]. Para este proceso, los sistemas de medición de volumen brindan información sobre la calidad de los productos, para su gestión de manera automática para su posterior almacenaje e inventariado,



Fig. 1.2. A la derecha se presenta un almacén de una empresa con buen control y gestión de sus existencias mediante la utilización de un sistema de dimensionamiento y a la izquierda uno que no posee este dispositivo.

Por lo tanto, los sistemas de dimensionamiento automático se han convertido en partes primordiales e indispensables de diferentes procesos de las industrias [4], tales como almacenamiento y transporte de carga, pues proveen datos exactos de las medidas, peso y/o escaneo del código de barras de los objetos; cuyo propósito es la evaluación y minimización de los costos de transporte y almacenamiento, así como, la actualización de forma rápida y eficiente de los datos de las características de ellos.

1.2. ESTADO DE LA INVESTIGACIÓN

En el mercado actual encontramos una gran variedad de equipos e instrumentos de medición automáticos, que conforme al avance y desarrollo tecnológico, han implementado nuevas formas de medición de mayor eficiencia y precisión. En el documento se describirán algunos de estos equipos, tales como funcionamiento, especificaciones técnicas y otros. (Ver anexo 1.1)

1.3. MARCO PROBLEMÁTICO

El comercio y transporte de los bienes materiales o productos son procesos esenciales en la industria, por lo que un ineficiente control de ellos significará problemas económicos y sociales para la empresa. La mayoría de empresas en el Perú, que poseen alto índice de productividad, no poseen un sistema adecuado de control, medición y pesaje de sus productos y empaques, por lo que su transporte y almacenamiento generan incremento de los costos, con la interrupción y retardo de los procesos de la empresa. Por ejemplo, si no se cuenta con este tipo de sistemas y los productos se venden en cantidad y a un determinado precio, fijado de manera empírica y visual de acuerdo a como lucen los paquetes, entonces una de las partes involucradas perdería ingresos, ya que no se aseguraría que todos los productos posean las mismas características. De manera similar, cuando se trata de almacenar objetos con formas iguales, por lo general se tiende a hacerlo de acuerdo al tamaño o a la forma que tienen definidas previamente de manera visual y a priori por un operario.

Finalmente, existen varias formas de medir volumen, dependiendo de la forma, material, tamaño, etc. del objeto a medir. Los métodos manuales que requieren instrumentos manipulados por personal adicional toman mucho tiempo en realizarse, no garantizan una medición precisa y su aplicación es limitada con respecto a la forma del objeto, retrasando así un proceso que debería ser rápido y eficiente.

Asimismo, las actividades del proceso se tornan arduas y pesadas, lo que origina fatiga y estrés en los trabajadores y decaimiento en su productividad. La contaminación del medio ambiente se incrementará por el aumento de unidades de transporte, lo que causará deterioro en el nivel de vida de la población y gastos para la solución de esta clase de problemas.

1.4. SÍNTESIS SOBRE EL ASUNTO DE ESTUDIO

En la actualidad, surge la preocupación de mejorar el nivel de control de los almacenes y transporte de los productos o bienes materiales, para la reducción en la utilización de materiales, espacios y, por ende de los costos. Asimismo, la actividad de medición y cálculo manual del volumen de objetos y posteriormente la introducción a una base de datos ocupa mucho tiempo, es repetitiva, tediosa y, además, está sujeto a errores.

Ante estas necesidades se han creado dispositivos de medición, cuyo desarrollo ha llevado al uso de nuevas tecnologías, entre las cuales tenemos los sistemas de medición por sensores. De esta manera, la automatización del proceso de medición permite obtener las dimensiones del objeto de manera más eficiente y confiable. Estos datos son enviados a un sistema principal donde son procesados y así ayudan a mejorar la gestión de transporte y planificación del almacén. Un ejemplo claro es la distribuidora de libros Ken en Moorestown, New Jersey [12]. Implementar este sistema permitió a la compañía determinar el tamaño adecuado de las cajas y ahorrar tiempo en el proceso de empaque.

Asimismo, se ha realizado una clasificación de ellos según el movimiento del objeto a medir. En primer lugar tenemos los sistemas estáticos, proveen información de las dimensiones y peso del objeto. Generalmente utilizan sensores ultrasónicos, miden entre 100 a 500 unidades por hora lo que dificulta y retrasa el proceso de producción [1]. En segundo lugar tenemos los sistemas que pueden medir objetos en movimiento, utilizan tecnología láser, infrarroja, haz de luz o cámaras; ofrecen mayor velocidad de medición, por ello no alteran o interrumpen el flujo del proceso industrial, actualmente son los más usados y comercializados. Una característica muy importante en los sistemas dinámicos es el rendimiento, ya que permite determinar la cantidad de cajas por hora que puede medir la máquina

Un factor importante a considerar en la automatización de la medición de objetos es la forma y tamaño de los objetos. No todas las industrias trabajan con los mismos productos, dependiendo del rubro, los productos tendrán una forma definidos. Los sistemas de medición de volumen, en este sentido, tendrán también características de diseño adecuadas para satisfacer necesidades específicas [13]. Así, podemos darnos cuenta que los sistemas de medición de volumen comerciales poseen la capacidad de adaptarse a diferentes entornos de trabajo, ya que pueden medir volumen de objetos que no necesariamente son cúbicos. La mayoría de estos trabaja con objetos en forma de paralelepípedos rectos (incluyendo cubos) e irregulares. Por lo general, la medición

de volumen se realiza cuando los productos han sido previamente empaquetados y así, tener uniformidad para una fácil detección de errores.

Por consiguiente, los sistemas dinámicos que miden dimensiones de objetos regulares, requieren una orientación específica de los objetos a medir, por lo que necesitan una etapa previa de alineamiento, en cambio, en los sistemas estáticos la alineación es manual y realizada por el operador.

Asimismo, los sistemas de medición irregular generalmente usan arreglos de cámaras CCD y diodos láser. Ofrecen un beneficio en las medidas a gran velocidad, ya que pueden detectar cajas muy cercanas una de otra y no confundirlas como si fuese una sola. De esta manera se elimina el problema de cajas fantasma, asegura Don DeLash, vicepresidente de marketing de la empresa Accu-Sort. Por ejemplo el CSN910 FlexFlow™ es ideal para aplicaciones de alta velocidad ya que tienen una capacidad de medición de hasta 15 000 paquetes por hora, por sus características estos equipos pueden integrarse fácilmente a líneas de distribución y terminales [1].

Entre las principales ventajas de estos sistemas de medición tenemos:

- Reducción y prevención de pérdidas para la empresa, como gastos por material, daño y deterioro de los empaques y del medio ambiente.
- Disminución y reducción de costos de transporte, compra de materiales, almacenamiento, entre otros.
- Ahorro de tiempo para el empaquetamiento y almacenamiento de carga, permite mejor flujo y desarrollo de procesos en la planta.
- Impacto positivo para el medio ambiente con la reducción de unidades para el transporte de carga.

Finalmente, se realizará un análisis de las variables externas e internas que ejercen influencia y son afectadas por la creación y puesta en marcha de estos sistemas en distintos niveles de la actividad humana. (Ver anexo 1.2)

2. DISPOSITIVOS QUE CONSTITUYEN UN SISTEMA DINÁMICO DE MEDICIÓN DE VOLUMEN DE CAJAS

2.1 Sensores

a) Tipos [1]:

- Fotoeléctrico:

Dispositivo que posee un transmisor de pulsos de haces de luz y un receptor para para capturar una señal de luz. Cuando el haz de luz del transmisor sufre variaciones o interferencias, el receptor lo detecta y conmuta modificando el voltaje de la salida.

- Ultrasónico:

Basados en la variación de los parámetros de la interacción de las ondas ultrasónicas con objetos, como la velocidad, frecuencia, tiempo de propagación o la interrupción del haz propagado; por la incidencia sobre un objeto, en la cual parte de esa energía es reflejada, una porción es transmitida y otra absorbida por éste.

b) Modos de funcionamiento [2]:

Directo: La transmisión y recepción de una señal se hacen por separado, sobre diferentes dispositivos. Cuando la señal de prueba es interferida se produce un cambio de magnitud en la salida.

Retro-reflexivo: El emisor y el receptor se encuentran en el mismo dispositivo, así pues, cuando el emisor envía la señal de prueba, ésta es reflejada si no hay un objeto a medir por un reflector (colocado detrás del objeto), sin embargo, si hay interferencia el receptor cambia el estado de la salida.

Modo Difuso: El emisor y el receptor también se encuentran en el mismo dispositivo, a diferencia del modo retro-reflexivo, la señal de prueba es reflejada por el objeto a medir.

Haces convergentes: Este modo de medición se utiliza para medir objetos lejanos, donde existe una distancia entre emisor y receptor considerable (hasta 150 metros). Funcionan de forma similar que los sensores de modo directo, utilizan un conjunto de señales de prueba.

Para conocer algunas marcas comerciales de sensores a utilizarse ir a anexo 2.

2.2. Motores

a) Tipos

➤ Motores DC [3]

Los Motores de Corriente Continua se utilizan en casos en los que es importante el poder regular continuamente la velocidad del motor, además, se utilizan en aquellos casos en los que es imprescindible utilizar corriente directa, como es el caso de motores accionados por pilas o baterías. Los motores de corriente directa pueden ser de tres tipos: Serie, Paralelo y Mixto.

➤ Motor Trifásico Asíncrono[3]

Los motores trifásicos son los aplicados en la industria por su gran eficiencia. Un motor trifásico de igual potencia a uno monofásico tiene mayor eficiencia y menor tamaño. La diferencia fundamental entre un motor trifásico y uno monofásico consiste en que en la carcasa o estator se alojan tres bobinados (en estrella o triángulo) de trabajo (uno por cada fase) y además no poseen bobinado de arranque, ya que se ponen en marcha por sí solos. Dentro de los motores asincrónicos existen:

- Motor en jaula de ardilla
- Motor con rotor bobinado.

b) Control de velocidad

➤ Modulación por ancho de Pulso (PWM)

La Regulación por Ancho de Pulso de un motor DC está basada en el hecho de que si se recorta la corriente continua de alimentación en forma de una onda cuadrada, la energía que recibe el motor disminuirá de manera proporcional a la relación entre la parte alta (habilita corriente) y baja (cero corriente) del ciclo de la onda cuadrada. Controlando esta relación se logra variar la velocidad del motor de una manera bastante aceptable, la figura 2.1 muestra un ejemplo de cómo ocurre esta acción.

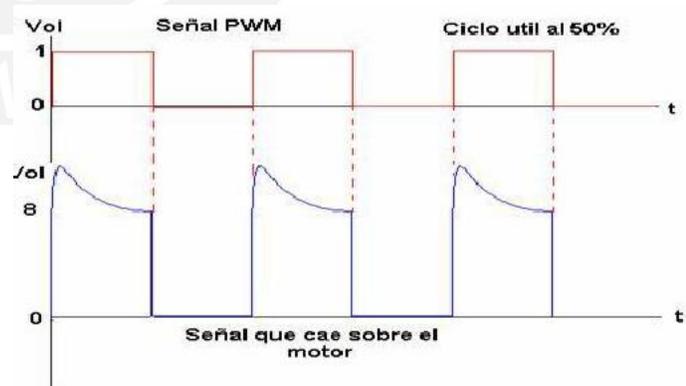


Fig. 2.1. Modulación de Ancho de pulso para controlar el voltaje de alimentación del motor

➤ Regulación de velocidad por variación de frecuencia [4]

Un regulador electrónico de velocidad está formado por circuitos que incorporan transistores de potencia como el IGBT (transistor bipolar de puerta aislada) o tiristores, siendo el principio básico de funcionamiento transformar la energía eléctrica de frecuencia industrial en energía eléctrica de frecuencia variable. Esta variación de frecuencia se consigue mediante dos etapas en serie.

Una etapa rectificadora que transforma la corriente alterna en continua, con toda la potencia en el llamado circuito intermedio y otra inversora que transforma la corriente continua en alterna, con una frecuencia y una tensión regulables, que dependerán de los valores de consigna. A esta segunda etapa también se le suele llamar ondulator. Todo el conjunto del convertidor de frecuencia recibe el nombre de inversor, cuyo diagrama de funcionamiento se muestra en la figura 2.2.

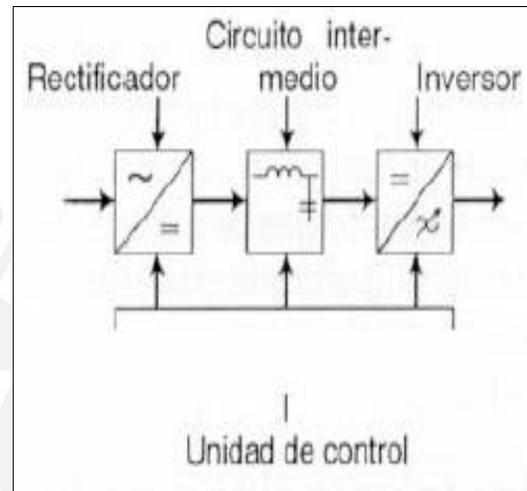


Fig. 2.2. Inversor de voltaje

2.3. Microcontroladores

Son circuitos integrados programables, que ejecutan instrucciones grabadas en su memoria. Debido a su reducido tamaño es posible montar el controlador en el propio dispositivo que gobierna. En este caso el controlador recibe el nombre de controlador empotrado o embebido [3]. Los microcontroladores se programan en lenguaje de máquina (Lenguaje Ensamblador) y cada uno varía su conjunto de instrucciones de acuerdo al fabricante y modelo. De acuerdo al número de instrucciones que el microcontrolador maneja se le denomina de arquitectura RISC (complejo) o CISC (reducido).

Los microcontroladores están siendo empleados en sistemas presentes de la actividad humana, como pueden ser automóviles, juguetes, horno microondas, frigoríficos, televisores, computadoras, impresoras, módems, etc. y otras aplicaciones con las que seguramente no estaremos tan familiarizados como instrumentación electrónica, control de sistemas en una nave espacial, etc.

Un microcontrolador dispone normalmente de los siguientes componentes:[4]

- Procesador o UCP (Unidad Central de Proceso).
- Memoria RAM para Contener los datos.
- Memoria para el programa tipo ROM/PROM/EPROM.
- Líneas de E/S para comunicarse con el exterior.
- Módulos para el control de periféricos (temporizadores, puertos serie y paralelo,
- ADC: Conversores Analógico/Digital, DAC: Conversores Digital/Analógico, etc.).
- Generador de impulsos de reloj que sincronizan el funcionamiento de todo el sistema.

a) Ventajas del uso de microcontroladores

- Aumento de prestaciones: Mayor control del objeto o fenómeno a evaluar, genera mayor eficiencia y eficacia del producto (características o funciones).
- Aumento de la fiabilidad: Disminución de riesgos de averías, fácil y simple mantenimiento.
- Reducción del tamaño en el producto acabado: La integración del microcontrolador en un chip disminuye el volumen, la mano de obra y los stocks.
- Mayor flexibilidad: Fácil y simple programación para modificar o variar parámetros, funciones, características del microcontrolador.

b) Criterios para la selección de un microcontrolador

Para la elección de un microcontrolador a emplear en una aplicación concreta, hay que tener en cuenta diversidad de factores, como la documentación y herramientas de desarrollo disponibles y su precio, la cantidad de fabricantes que lo producen y por supuesto las características del microcontrolador (tipo de memoria de programa, número de temporizadores, interrupciones, etc.)

Antes de seleccionar un microcontrolador es imprescindible analizar los requisitos de la aplicación:

- Procesamiento de datos: Realización de operaciones lógicas, matemáticas, de comparación, etc. en tiempo limitado, en tal caso debemos asegurarnos de seleccionar un dispositivo suficientemente rápido para ello. Por otro lado, habrá que tener en cuenta la precisión de los datos a manejar: si no es suficiente con un microcontrolador de 8 bits, puede ser necesario acudir a microcontroladores de 16 ó 32 bits, o incluso a hardware de coma flotante.

- Entradas y Salidas: Determinar la cantidad de puertos de Entrada/Salida del sistema, para ello es conveniente hacer un diagrama de bloques del mismo, de tal forma que sea sencillo identificar la cantidad y tipo de señales a controlar.
- Consumo: Potencia que disipa el microcontrolador, que varía de acuerdo a los puertos, periféricos, instrucciones, etc. de programas utilizados.
- Memoria: Un microcontrolador, generalmente posee 3 tipos de memorias: volátil (RAM), no volátil (ROM, EPROM, etc.) y la no volátil modificable (EEPROM). El tipo de memoria a emplear se determina por el volumen de datos a utilizar por lo que es imprescindible realizar una versión preliminar del software a implementar de la aplicación y a partir de ella hacer una estimación de cuánta memoria volátil y no volátil es necesaria y si es conveniente disponer de memoria no volátil modificable.
- Ancho de palabra: La selección de un microcontrolador de menor ancho de palabra que satisfaga los requerimientos de la aplicación. Un microcontrolador de 4 bits supone una reducción de gastos, pero posee bajo nivel de procesamiento de datos, mientras que uno de 8 bits puede ser el más adecuado si el ancho de los datos es de un byte. Los microcontroladores de 16 y 32 bits, debido a su elevado coste, se utilizan para aplicaciones complejas (Entrada/Salida potente o espacio de direccionamiento muy elevado).
- Diseño de la placa: la selección de un microcontrolador concreto condicionará el diseño de la placa de circuitos y también la elección y funcionamiento de otros componentes.

Para conocer algunas marcas de microcontroladores ver anexo N°2.

2.4. Protocolos de comunicación de datos

a) Tipos y ventajas [5]

Transmisión paralela: Envío de datos de byte en byte, sobre un mínimo de ocho líneas paralelas a través de una interfaz paralela para enviarlos al mismo tiempo.

Transmisión en serie: Envío de datos bit a bit sobre una interfaz serie por lo que sólo se necesita un canal de comunicación para transmitir los datos. Reduce el costo, sin embargo, como el flujo de datos dentro de los dispositivos es paralelo, en la interfaz de conexión es necesario una conversión.

b) Estándares

RS232

Interfaz de comunicación que consta de un circuito transmisor receptor encontrado en muchos sistemas embebidos, este estándar fue diseñado en los años sesenta para comunicar un equipo terminal de datos o DTE (Data Terminal Equipment, el PC en este caso) y un equipo de comunicación de datos o DCE (habitualmente un módem) [6]

Características:

- 25 pines de señal.
- Conector "plug and play".
- Los voltajes para un nivel lógico alto están entre -3V y -15V, y un nivel bajo +3V y +15V.
- Los voltajes más usados son +12V/-12V, +9V/-9V.
- Dependiendo de la velocidad de transmisión empleada, es posible tener cables de hasta 15 metros.
- Velocidad: 300, 600, 1200, 2400, 4800 y 9600 bps.

Modo de transmisión: [5]

- Modo asíncrono: Se transmite la siguiente trama: Bit "Start", bit de paridad, bits de paridad y bits de stop.
- Modo síncrono: Frecuencia receptor es 16 o 64 mayor que la del emisor. Sincronización mediante circuitos UART.

RS485

Interfaz de comunicación para la transmisión de datos en serie a altas velocidades y grandes distancias, generalmente utilizado a nivel industrial. Es un sistema de bus bidireccional que incluye hasta 32 receptores en un transmisor [7].

Características:

- Comunicación half y full dúplex.
- Velocidad máxima de 100Kbps a un rango de distancia de 1200m
- Señales de cómo máximo 6V y de cómo mínimo 200mV.
- Amplificadores de triple estado, permiten interconectar hasta 64 dispositivos.

USB

Interfaz de comunicación diseñado para transmitir datos de forma simple y fácil, con el objetivo de reducir dificultades en conexión, configuración y costos de algún periférico [6].

Características: [7]

- Banda de paso, disponibilidad desde algunos kilobits a varios megabits.
- Transferencia síncrona y asíncrona en el mismo bus.
- Reducción de utilización de cables y conectores.
- No hay necesidad de una fuente de alimentación, ya que poseen líneas de 5V y tierra.
- Posibilidad de conectar hasta 127 periféricos.
- Tiempo de respuesta garantizado (para audio y vídeo).
- Conexión de varios tipos de periféricos en el mismo bus.
- Fiabilidad, control de errores.
- Perfectamente integrado en el PC, "plug and play" (conexión caliente de periféricos).
- Coste reducido a baja velocidad (1,5 Mbps); posibilidad de expansión del bus.

2.5. Interfaz de Usuario

a) Interfaz de Entrada (Teclado Matricial)

Un teclado matricial es un conjunto de botones (*switches*) dispuestos en forma de malla, de modo que no se requieran de muchas líneas para su interface. Existe una gran variedad de teclados como 4x3, 4x6, etc. en este caso trabajaremos con un teclado de 4x4 cuya configuración se observa en la figura 2.3 [9].

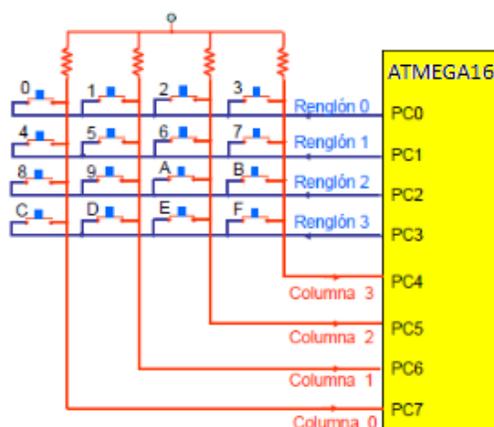


Fig. 2.3. Disposición de pulsadores de un teclado matricial de 4x4

Muchos teclados comerciales ya traen incluido un decodificador, que escanea el teclado y si, una tecla es presionada, regresa un número que identifica la tecla. Otra alternativa es adquirir por separado un chip decodificador y conectarlo al teclado.

Cuando se oprime una tecla se hace una conexión entre la columna y el renglón de la tecla, sin embargo cuando se cierra los contactos oscilan entre cerrado y abierto rápidamente por aproximadamente de 20 a 30 ms esto puede ocasionar un malfuncionamiento del sistema. (Ver figura 2.4).

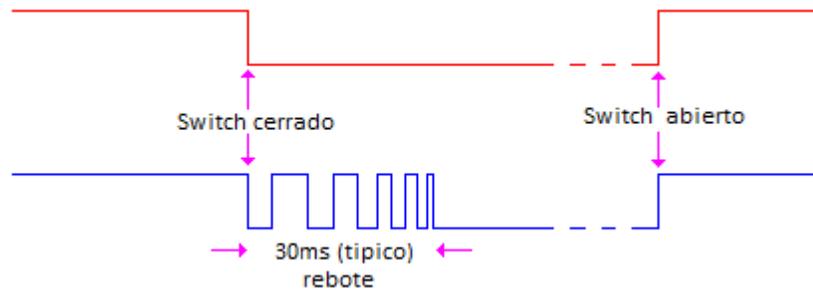


Fig. 2.4. Efecto rebote de un pulsador

Este problema se puede eliminar mediante hardware, con un "Schmitt Trigger", o software, detectando la tecla solo en flanco de bajada. Por otro lado la apertura del interruptor al soltar la tecla es limpia y sin rebote.

b) Interfaz de Salida (Pantalla LCD)

• Caracteres [10]

Un "display" alfanumérico de matriz de puntos es un dispositivo de interfaz de usuario formada por una pantalla de cristal líquido o LCD (Liquid Crystal Display) sobre la que se pueden mostrar mensajes formados por distintos caracteres: letras, números, símbolos, etc. (Ver figura 2.5). Se encuentran en distintos formatos, por ejemplo, 2x8, 2x16, 4x20, etc. El primer dígito indica el número de filas del display y el segundo el número de columnas, es decir, 2x16 significa que tiene 2 filas y 16 columnas.

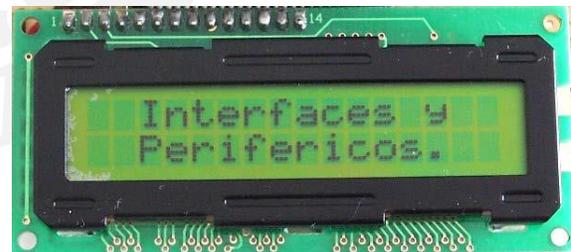


Fig. 2.5. Pantalla LCD de caracteres

Estos dispositivos son gobernados por un microcontrolador, que normalmente va incorporado sobre la misma placa de circuito impreso que soporta el LCD. El controlador se encarga de gestionar el display y el usuario simplemente necesita

conocer una serie de comandos o instrucciones de alto nivel (limpia display, posiciona cursor, etc.) que le permitirán mostrar mensajes o animaciones sobre la pantalla de forma sencilla.

- **Gráficas [11]**

Incluir en un diseño industrial una pantalla gráfica para visualizar todo tipo de dibujos, medidas e imágenes que además disponga de un panel táctil para entrada de datos, con un coste reducido y una técnica de programación sencilla



Fig.2.6. Pantalla LCD Grafica de 132x32 pixeles

significa dotar al producto de una notable categoría y una gran variedad de posibilidades, la figura 2.6 muestra un ejemplo de este tipo de pantalla. En la actualidad existe en el mercado internacional una marcada tendencia a incorporar en los modernos proyectos un interfaz con el usuario de entrada de datos y visualización de mensajes atractivo, potente y económico que se materializa en multitud de casos en las pantallas gráficas LCD con panel táctil.

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO Y DESARROLLO DEL SISTEMA PROPUESTO

3.1. Marco de Referencia

El presente trabajo de tesis tiene como propósito el diseño y la implementación de un sistema de medición de volumen automático de cajas de formas regulares y/o paralelepípedos, de dimensiones que van desde 5cm x 5cm x 5cm hasta 20cm x 20cm x 20cm, que serán transportados ya alineados a través de una faja, donde su velocidad será capaz de ser variada por el usuario desde 0.3m/s hasta 0.7m/s. Las mediciones serán mostradas en una pantalla LCD y enviadas a una computadora donde la información será convertida en un archivo ejecutable capaz de ser utilizado y modificado por el usuario.

3.2. Objetivos

3.2.1. Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema de medición de volumen basado en un arreglo de sensores de proximidad que sirva como instrumento de medición automatizado y permita al usuario obtener parámetros dimensionales de cajas de una manera precisa y rápida.

3.2.2. Objetivos específicos

- Obtener las dimensiones de cajas con forma regular dentro de un rango de 5cm x 5cm x 5cm hasta 20cm x 20cm x 20cm.
- Diseñar un sistema de control de velocidad para un actuador de tal manera que posea por lo menos 5 velocidades diferentes.
- Seleccionar los sensores de proximidad de manera que el sistema posea una precisión de aproximadamente 5mm.
- Mostrar los datos dimensionales en una pantalla LCD de 4 filas por 16 caracteres
- Variar la velocidad de la faja transportadora a través de un teclado matricial de 4 filas x 3 columnas.

3.3. Diagrama de Bloques del sistema general

A continuación se muestra en la figura 3.1 el diagrama de bloques de las tareas a realizarse en el presente trabajo.

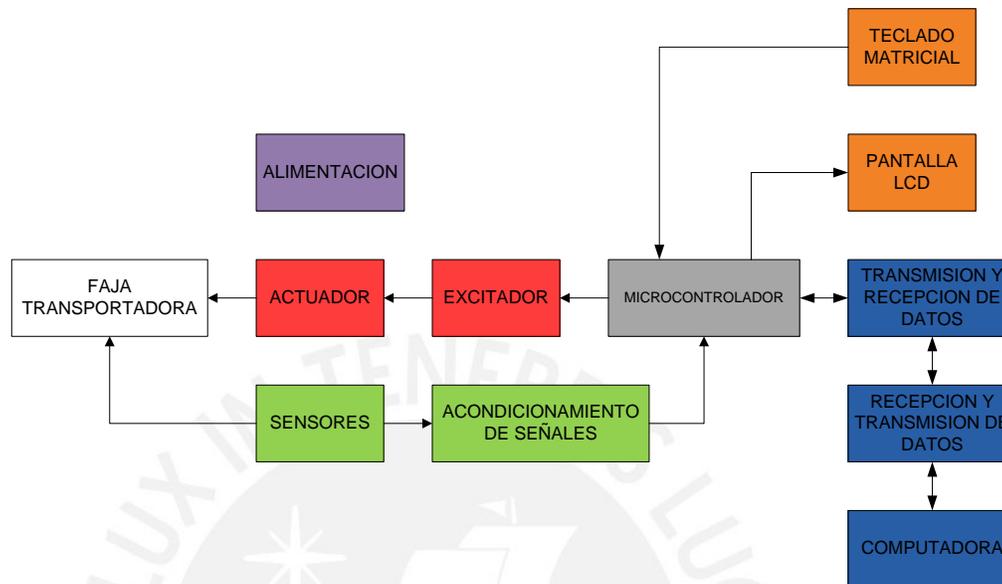


Figura 3.1 Diagrama de Bloques del Sistema.

3.4. Diseño del hardware

En esta parte del capítulo se describirán los criterios de selección así como el diseño de cada una de las etapas involucradas en el sistema a nivel de hardware.

3.4.1. Actuador

a) Requerimientos

El objetivo de esta etapa es simular el flujo de cajas de un proceso industrial. Para lograr esto, se cuenta con una faja transportadora de aluminio de 1.70 metros de longitud [27], parecida al de la figura 3.2, a la cual se le debe de acoplar un actuador para generar el movimiento necesario a una determinada velocidad.



Figura 3.2. Modelo estándar de una faja transportadora de Aluminio de la empresa SISCODE S.A.

El actuador será un motor eléctrico, lo cual supone el uso de energía eléctrica para luego convertirla en energía mecánica que será utilizada para girar el polín motriz que transmite movimiento a la banda de transporte.

Las principales características que debe de tener el motor eléctrico están relacionadas con la faja transportadora. Los parámetros de accionamiento que vamos a tomar en cuenta son los siguientes:

- Par o Torque necesario para mover la faja transportadora con carga.
- Velocidad de la faja transportadora.
- Potencia mecánica útil que se requiere en base a los parámetros anteriores.

Cálculo del torque, velocidad de giro del motor y potencia:

Se calcularán los valores numéricos de los parámetros mencionados anteriormente en base a valores que se han establecido para el funcionamiento del sistema. Los resultados de los cálculos muestran que el Torque necesario es de 0.8 N.m, la velocidad de giro del motor en RPM es de aproximadamente 268 RPM y la potencia requerida es de 22.45 W. La demostración y cálculos de estos parámetros se pueden revisar a detalle en el **Anexo 3.1.1**.

Variación de velocidad:

Para simular un flujo de cajas variable, se necesita variar la velocidad de la faja transportadora. Esta variación se involucra directamente con el actuador, es decir el motor. Para este caso el usuario podrá establecer una velocidad comprendida en un rango de 0.3m/s y 0.7m/s. Este rango de velocidad fue establecido tomando en cuenta las velocidades estándares de una faja de aluminio para aplicaciones industriales de la empresa SISCODE S.A.

b) Alternativas de solución

Para seleccionar el motor adecuado, además de los requerimientos hallados anteriormente, se necesita conocer a grandes rasgos más características propias de cada tipo de motor. Para ello nos centraremos en los motores DC con y sin escobillas y motores AC trifásicos de inducción. En el **Anexo 3.1.2** se presenta un cuadro que muestra la comparación de las características más importantes de un motor DC sin escobillas y un motor DC con escobillas.

c) Criterio de selección

El actuador seleccionado será un motor DC con escobillas pues ofrece las siguientes características:

✓ Control del Actuador:

Se tomará en cuenta el costo y la complejidad para realizar el controlador que ponga en marcha al motor así como variar su velocidad. El motor DC con escobillas puede ser puesto en marcha con circuitos no muy complejos y baratos. Al poseer solo 2 terminales de control, el motor solo requiere ser energizado con voltaje continuo nominal [29].

Esta es una ventaja con respecto a los motores DC sin escobillas pues estos últimos requieren un sistema complejo de puesta en marcha, pues se requiere energizar continua e independientemente los bobinados de manera que se genere campo magnético.[30]

En el caso de los motores AC de inducción se necesita un circuito electrónico externo que disminuya la corriente de arranque.

✓ Requisitos de control:

La etapa de variación de velocidad del actuador no debe ser muy compleja ni de muy alto costo. El motor DC sin escobillas ofrece la posibilidad de variar su velocidad mediante un circuito electrónico externo de control. Sin embargo, su diseño y funcionamiento es complejo y costoso de adquirir.

De la misma manera, el motor AC de inducción necesita una etapa de variación y control de velocidad externa, de modo que la utilización del motor DC con escobillas es la mejor opción.

3.4.2. Excitador

a) Requerimientos

La velocidad de la faja transportadora será variable a nivel de usuario, es decir, se tendrá la posibilidad de aumentar y disminuir la velocidad mediante 5 niveles dentro de un rango desde 0.3 m/s hasta 0.7 m/s con un paso mínimo de 0.1 m/s aproximadamente.

Debido a que el actuador del sistema será un motor de corriente continua con escobillas, se utilizará una señal PWM para conseguir variar el voltaje promedio entre los terminales del motor de acuerdo al ciclo de trabajo y, de esta manera, conseguir variar la velocidad del motor.

El hecho de utilizar una señal PWM implica la utilización de un interruptor de potencia que soporte una cantidad de intensidad de corriente considerable pues este será el nexo entre el motor de corriente continua y la fuente de alimentación.

Además, se deberá de tener en cuenta que el interruptor deberá operar a una cierta frecuencia de conmutación, por lo que el rango de ésta debe ser el adecuado. Se tomará en cuenta las siguientes etapas en el diseño:

- Aislamiento eléctrico entre la etapa digital y la etapa de potencia.
- Acondicionamiento de la variable de control según el tipo de interruptor que se elija.
- Interruptor de potencia, el cual permitirá variar la velocidad del motor con modulación por ancho de pulso.

b) Alternativas de solución para el interruptor de potencia

Se tiene muchos tipos de transistores de potencia que cumplen de papel de interruptor de conmutación. Algunos de los más usados para este tipo de aplicaciones se muestran en el **Anexo 3.2.1**, el cual ayudará a conocer un poco más de este tipo de interruptores y, de esta manera, elegir el más adecuado.

c) Criterios de selección

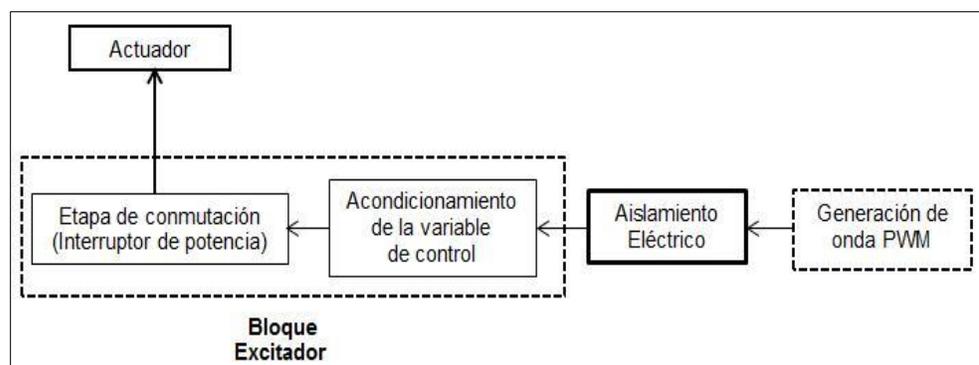
De acuerdo con la tabla 3.3, el interruptor que posee la mejor combinación de ventajas es el IGBT, pues éste posee características de los BJT's y de los MOSFET, es decir, posee alta impedancia de entrada y poca pérdida en estado de conducción respectivamente [31]. Sin embargo, las características eléctricas del IGBT están sobredimensionadas para aplicación de este bloque de conmutación; es decir, no se aprovecharía al máximo las propiedades de un IGBT ya que están diseñados para aplicaciones que trabajan con altas magnitudes de corrientes y de voltaje; por ello, y por las razones que se explicaran a continuación, se eligió el MOSFET como interruptor de potencia.

- **Variable de control:** Los 3 interruptores de potencia mencionados anteriormente, necesitan de una variable de control la cual les permite cambiar de estado activo a bloqueado y viceversa. Esta variable puede ser corriente (en BJT's) o voltaje (MOSFET e IGBT). Desde el punto de vista de utilización de componentes y generación de energía, resulta menos complejo controlar al interruptor por voltaje que por corriente. En este sentido, el MOSFET sería una buena opción.
- **Costo:** El precio de cada uno de estos interruptores depende de las características eléctricas de cada uno así como el tipo de aplicación para el cual se usará. En términos generales, los IGBT's son más costosos debido a que es usado para aplicaciones de alta potencia, mientras que los MOSFET y los BJT's son menos costosos y poseen una diferencia de precio pequeña debido a que poseen un campo de acción grande y diverso en mediana y baja potencia.
- **Frecuencia de conmutación:** Dependiendo de la frecuencia de trabajo, este parámetro debe considerarse como importante dentro del criterio de selección de un interruptor de potencia. De acuerdo con la Tabla 3, el MOSFET puede operar en un rango amplio de frecuencias en comparación con los demás interruptores; debido a esto se puede usar en diversas aplicaciones que requieran el uso de conmutación en el orden de los cientos de kHz.

d) Diseño del circuito excitador

El diseño de esta etapa se dividirá en sub-etapas que cumplen funciones muy específicas y que tomarán en cuenta los requerimientos ya mencionados. La figura 3.4 detalla los principales aspectos que tiene el circuito que varía la velocidad del motor de corriente continua.

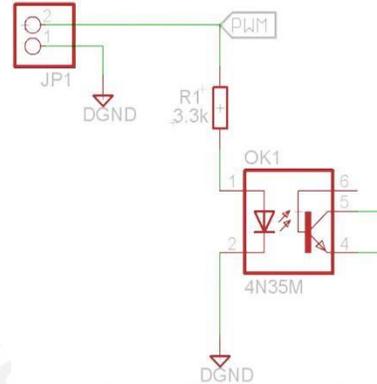
Figura 3.4.
Diagrama de bloques del circuito variador de velocidad.



Aislamiento Eléctrico:

Debido a que existe una etapa digital y una de potencia, es necesaria la implementación de una etapa de aislamiento eléctrico. El circuito diseñado se muestra en la figura 3.5. Los cálculos y detalles del diseño del circuito de aislamiento eléctrico se muestran en el **Anexo 3.2.2.**

Figura 3.5. Circuito esquemático del bloque digital del variador de velocidad.



Etapa de Potencia:

Esta etapa involucra un bloque de acondicionamiento de la variable de control, que en este caso es el voltaje; la etapa de conmutación, que se relaciona directamente con el MOSFET, el cual actuará como interruptor; y el motor de corriente continua. En la figura 3.6 se muestra el circuito esquemático de esta etapa así como las sub etapas claramente diferenciadas.

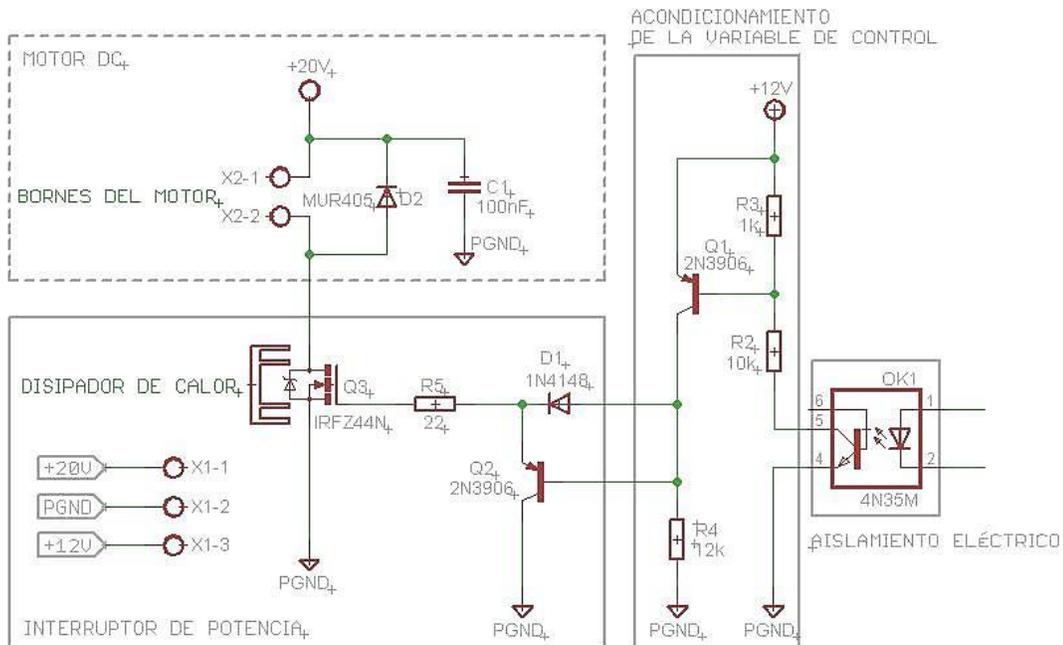


Figura 3.6. Circuito esquemático de la etapa de potencia.

Se analizará los dos estados de la señal PWM, tanto en alta (5V) como en baja (0V) para ver el comportamiento de algunos de los componentes involucrados y poder calcular sus valores. Los bloques analizados serán los que se muestran en el circuito esquemático de la etapa de potencia:

- Bloque de Acondicionamiento de la variable de control
- Bloque Interruptor de Potencia
- Bloque de Motor DC

El análisis a detalle y el cálculo de los valores de los componentes usados en los bloques del circuito esquemático de la etapa de potencia, así como el cálculo del disipador para el MOSFET, se encuentra en el **Anexo 3.2.3**.

3.4.3. Sensores

a) Requerimientos del sensor

- Sensores de uso industrial.
- Precisión: +/- 5mm
- Tiempo de respuesta máximo para la detección con precisión de 5mm: 3.57ms @ 0.7 m/s
- Frecuencia de muestreo mínima del sensor de presencia: 280.12hz
- Ancho de Banda de la señal: 281hz
- Frecuencia MINIMA de muestreo del ADC(cada 5cm) y de los sensores de distancia: 28hz
- Sensibilidad del ADC: 23.8mV @ 8 bits

(Ver cálculos realizados en el anexo 3.3.1)

b) Alternativas de selección

La medición de las dimensiones de las cajas es la tarea principal del presente trabajo, por lo que se necesitará instrumentos de alta precisión, inmunes al ruido, bajo tiempo de respuesta, buena resolución, entre otros. Por ello se plantea el uso de sensores de presencia para la medición del largo y la velocidad de los objetos, y la utilización de sensores de distancia para el largo y ancho de ellos.

- **Sensor de Distancia**

En la tabla 3.4 (Ver anexo 3.3.2) se detallan las características de 2 tipos de sensores de distancia que pueden ser utilizados para cumplir los objetivos de este trabajo.

- **Sensor de presencia**

En la tabla 3.5 (Ver anexo 3.3.3) se describen las características más resaltantes de 2 tipos de sensores de presencia que se pueden utilizar.

c) Criterios de selección

1. Sensor de Distancia

Se elegirá el sensor de distancia ultrasónico modelo S18UUAR por las siguientes razones:

- Generar señales eléctricas de valores 0, 5V o valores intermedios entre estas, que servirán como datos de entrada para el microcontrolador.
- Tener alta capacidad para atenuar el ruido proveniente del medio y baja cantidad de emisión de ondas electromagnéticas, pues las señales de salida del sensor son corrientes, además, la empresa cumple con la norma CE (Comisión Europea) [] para la fabricación de este dispositivo.
- Tiempo de respuesta de 2.5ms, mucho menor que 71.43ms obtenido de los requerimientos.
- Frecuencia de muestreo mínima del sensor es 400hz mucho mayor a 28hz, que es la calculada en los requerimientos.
- Posee circuitos de protección para las señales de salida y un sistema de compensación de temperatura.
- Señales de salida de corriente de 4 a 20mA, lo cual es mejor porque la señal de corriente es más inmune al ruido externo y de los componentes de acondicionamiento.

2. Sensor de Presencia

Para este caso se elegirá el sensor de presencia fotoeléctrico modelo Q12AB6FF50 por las siguientes razones:

- Modo de operación "fixed-field" o difuso el cual simplifica el montaje y la utilización de diversos componentes, debido a que el emisor y el receptor se encuentran en el mismo dispositivo y la señal de prueba es reflejada por el objeto a medir por lo que no necesita de un objeto reflejante.
- Tiempo de respuesta máximo 700us, menor a 3.57ms calculado para la obtención de la precisión de 5mm
- Posee circuitos de protección para la fuente y señales de salida del sensor.
- Señales de salida del sensor en corriente, lo que ofrece mayor inmunidad al ruido.
- Adecuado tamaño del haz de luz necesario para alcanzar la precisión de 1mm 0.5mm @ 16mm de distancia.
- Cumplimiento de la norma CE por parte del fabricante en la construcción del sensor, límites permitidos en cuanto a la emisión de ruido y distorsión electromagnética.

d) Requerimientos del circuito de acondicionamiento de señales

- Acondicionar las señales provenientes de los sensores fotoeléctricos 0V en nivel bajo y 5V en nivel alto.
- Acondicionar las señales de los sensores ultrasónicos en voltajes fijos que variarán en el rango de 0 a 5V.
- Filtrar las señales para eliminar cualquier tipo de distorsión, interferencia o ruido que puedan afectar funcionamiento del sistema.
- Proteger componentes importantes del sistema, como los sensores y microcontrolador, contra cortocircuitos, sobre voltajes, entre otros.

e) Diseño del circuito del acondicionamiento de señales

1. Sensor Ultrasónico

Por lo tanto, debido a los criterios antes mencionados se utilizará el sensor ultrasónico, cuyo circuito de acondicionamiento es el mostrado en la figura 3.10.

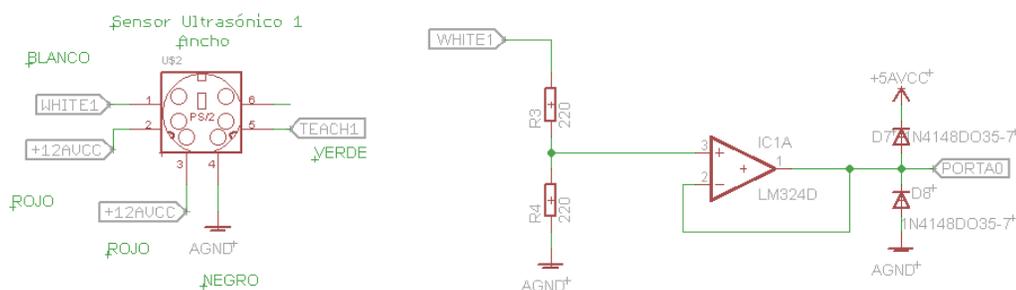


Fig. 3.10. Circuito de acondicionamiento de los sensores ultrasónicos

Circuito de acondicionamiento de las señales analógicas de corriente provenientes de los sensores ultrasonicos a señales de voltaje (Menor que 5 V) capaces de ser procesados por el microcontrolador. Estos voltajes analógicos, que varían de acuerdo a la distancia entre el sensor y la caja, indican la dimensión del ancho y alto ellas.

Los componentes utilizados en el diseño de esta etapa fueron los siguientes:

- Resistencias de 220Ω de 0.25W
- OPAMP LM324
- Diodos de conmutación rápida 1N4148
- Control remoto de los Sensores ultrasónicos: TEACH

El circuito mostrado de la figura 3.11 sirve para calibrar de forma remota los sensores ultrasónicos. Para cumplir con lo especificado anteriormente se emplearán los siguientes componentes para cada sensor ultrasónico:

- Transistores de propósito general NPN TN3904 [43]
- Transistores de propósito general PNP TN3906 [44]
- Resistencias cerámicas de $47k \Omega$, 560Ω , $3.9k \Omega$ 0.25W
- Un puerto de entrada y/o salida del microcontrolador a usarse.

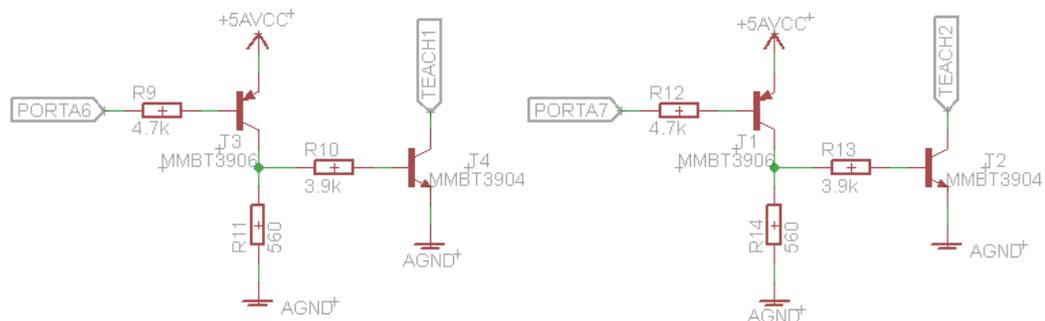


Fig. 3.11. Circuito de calibración remota de los sensores ultrasonicos

Ver anexo 3.3.4 donde se puede obtener mejor explicación de las características y cálculos realizados para la elección de tales componentes.

2. Sensor Fotoeléctrico.

El circuito de acondicionamiento del sensor fotoeléctrico a usarse se muestra en la figura 3.12.

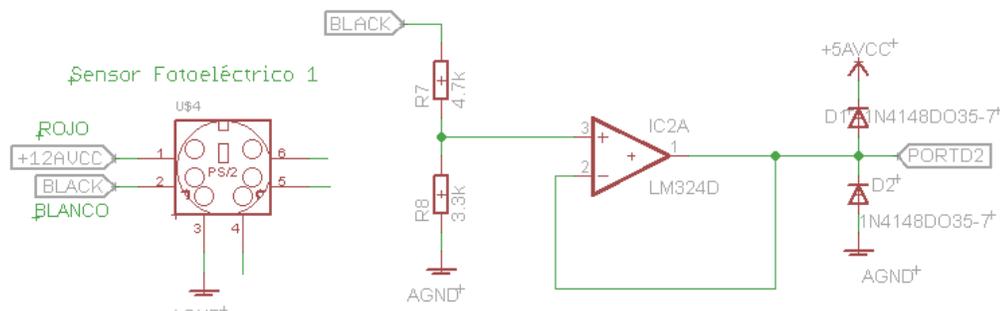


Fig. 3.12. Circuito de acondicionamiento de los sensores fotoelectricos.

Circuito de acondicionamiento que disminuye el voltaje continuo que entrega el sensor cuando detecta un objeto, de modo de que este pueda ser reconocido como valor lógico '1' por el microcontrolador (mayor que 3.5V y menor que 5.5V); asimismo, para que reconozca el valor de '0', el circuito entrega un señal constante de 0V.

Los componentes utilizados en el diseño de esta etapa fueron los siguientes:

- Resistencias de $3.3k\Omega$ y $4.7k\Omega$ de 0.25W
- OPAMP LM324
- Diodos de conmutación rápida 1N4148

Ver anexo 3.3.5 donde se puede obtener mejor explicación de las características, funcionamiento y cálculos realizados para la elección de tales componentes.

3.4.4. Pantalla

a) Requerimientos

- Capacidad de mostrar cadenas largas de caracteres (letras y números) en una sola imagen, como por ejemplo el tema del trabajo de tesis "Medidor de Volumen", opciones de Menú, medidas largo, ancho alto, velocidad, etc. En la figura 3.13 se observan algunos modelos de cadenas de caracteres a mostrarse en la pantalla.

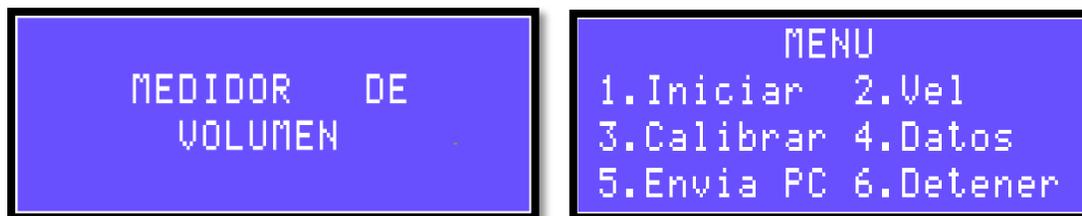


Figura 3.13. Ejemplos de cadenas de caracteres a mostrarse en la pantalla LCD

- Interfaz de fácil configuración y simple.
- Tiempo de respuesta menor a 142.43ms, tiempo máximo de separación entre cajas (de 5cm) a la velocidad máxima (0.7m/s).
- Adecuado ángulo de visión y de contraste.
- Precio económico.

b) Alternativas de solución

De acuerdo a los requerimientos mencionados, se comparará una pantalla LCD de caracteres de 4x20 y una pantalla grafica de 128x64 pixeles cuyas características más importantes se mencionan en la tabla 3.7. (Ver anexo 3.4.1)

c) Criterios de selección

De acuerdo a los requerimientos mencionados, se elegirá la pantalla LCD de caracteres de 4x16, debido a los siguientes criterios:

- Interfaz simple y de fácil configuración, pues solo necesita 11 pines para la conexión con el microcontrolador y además el código de programación es mucho más sencillo que la configuración de una pantalla gráfica.
- Tipo de pantalla adecuado para las tareas a cumplir debido a la calidad y cantidad de información a mostrar.
- Características ópticas adecuadas.
- Menor precio.

El control del ajuste del contraste así como del backlight se realizará mediante potenciómetros, para mayor detalle consultar el anexo 3.4.2.

3.4.5. Teclado

a) Requerimientos

- Poseer pulsadores necesarios para poder elegir las diferentes tareas que llevará a cabo el sistema, por lo menos 12.
- Tamaño compacto, reducción de cableado y uso de componentes.
- Orden y disposición de los pulsadores adecuados, para una fácil y simple manipulación y configuración del dispositivo a partir de éste.

- Las tareas serán enumeradas en orden secuencial de los procesos, por lo que se necesitará un teclado de tal característica, con símbolos e indicadores adecuados.
- Número de salidas reducido, para la utilización de menor cantidad de puertos de entrada y/o salida del microcontrolador.

b) Alternativas de solución

Debido a los requerimientos antes mencionados, se utilizará un teclado con 16 pulsadores, en el caso del teclado matricial se mencionarán las características de uno de 4 filas por 4 columnas. En la tabla 3.8 se podrán apreciar las diferentes características que poseen ambos componentes. (Ver anexo 3.5.1)

c) Criterios de selección

Se utilizará el teclado matricial de 4 filas por 4 columnas debido a los siguientes criterios:

- Utilización de 16 pulsadores dispuestos en forma matricial 4 filas y 4 columnas que proveen una Interfaz de entrada del microcontrolador mediante 8 puertos de entrada y/o salida.
- Tamaño adecuado y compacto.
- Resistente al agua y polvo.
- Mayor tiempo de vida en comparación a otro.

Ver anexo 3.5.2 para mayor información sobre el diagrama de conexiones y explicación de éste.

3.4.6. Transmisión y Recepción de datos

1. En el microcontrolador

a) Requerimientos

- Comunicación de datos a nivel industrial.
- Distancia mínima igual a 15m para la transmisión de datos del microprocesador a la computadora.
- Transmisión de datos a una computadora remota.

- Mínima velocidad de transmisión de datos de 2912bps (Ver cálculos realizados en anexo 3.6.1)
- Verificación de correcta transmisión de datos que se efectuará con la recepción de byte.
- Menor utilización de puertos I/O en el microcontrolador para la realización de esta tarea.
- Facilidad para la programación de la comunicación, tanto en la transmisión como en la recepción de datos en el microcontrolador.

b) Alternativas de solución

En la tabla 3.9 se muestra la comparación entre tipos y dispositivos que se pueden usar para el establecimiento de la comunicación con la computadora (Ver anexo 3.6.2)

c) Criterios de selección

Debido a las especificaciones antes mencionadas, se elegirá la utilización del protocolo de comunicación RS485 para la transmisión de datos mediante la utilización del circuito integrado MAX490, de acuerdo a los siguientes criterios:

- Mayor rango para la transmisión de datos hasta 1200m
- Tipo de comunicación usado a nivel industrial.
- Velocidad para la transmisión de datos hasta 2.5Mbps, mucho mayor a la requerida es de 2912bps.
- Ofrece mayor inmunidad al ruido y a interferencias causadas por otros equipos y el medio ambiente debido a la alta razón de cambio de voltaje en el tiempo (slew rate $V/\mu s$) que posee.
- Tipo de comunicación Full Duplex, donde los datos se transmiten en un sentido por un canal desde el microcontrolador hacia la computadora y la confirmación de recepción se efectúa por el otro canal en sentido inverso; asimismo, se pueden transmitir los datos en simultáneo.
- Al elegir una comunicación Full Duplex se facilita la programación de código para establecer la transmisión y recepción de datos, solo se requiere la utilización de 2 pines del microcontrolador para llevar a cabo esta tarea, pues si se utiliza comunicación Half Duplex la programación se complica y se necesita utilizar 2 pines más para el control de la transmisión y recepción de datos.

d) Circuito Esquemático

El diseño del circuito de transmisión de datos se observa en la figura 3.17, cuyos puntos de conexión del circuito integrado MAX490 se detallan en el anexo 3.6.3

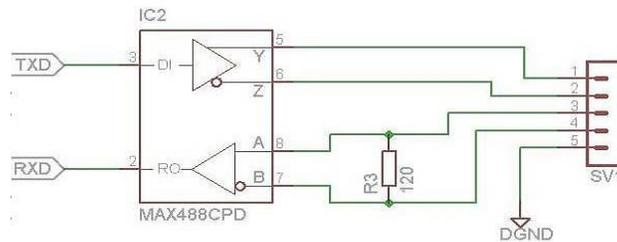


Fig. 3.17. Circuito de transmisión de datos

El modo de funcionamiento del circuito se detalla a continuación:

- Si el usuario presiona la tecla en la pantalla matricial para enviar datos, número 5 del teclado y del menú principal, el microcontrolador registra y reconoce tal señal e inicializa el programa para la transmisión de datos.
- **Canal de transmisión:** Los datos se transmiten por un puerto I/O específico del microcontrolador (TXD), hacia el pin 3 DI del circuito integrado MAX490, éste acondiciona tales señales y las transmite por sus salidas (Y, Z).
- **Canal de recepción:** La señal de confirmación de recepción, procedente de la computadora, se recibe por los pines de entrada de recepción A y B del MAX490, este las acondiciona y la envía a través del pin 2 de recepción de salida RO hacia el puerto I/O adecuado del microcontrolador (RXD).

El valor de la resistencia, situada entre los terminales de entrada de la recepción de datos del MAX490 (Pines A y B), está especificada en las hojas del fabricante de valor igual a 120Ω .

2) En la computadora

a) Requerimientos

- Recepción, reconocimiento y acondicionamiento de las señales recibidas del bloque de transmisión para ser enviadas a la computadora por protocolo USB.
- Verificación de correcta recepción de datos, en caso de pérdida de datos solicitar retransmisión de datos al microcontrolador.
- Velocidad de transmisión de datos a la computadora 2912bps como mínimo.
- Menor complejidad para la elaboración de la programación, diseño e implementación de esta etapa.

b) Alternativas de solución

En la tabla 3.10 se presentan 2 tipos de modelos de recepción de datos que se pueden implementar para llevar a cabo esta tarea (Ver anexo 3.6.4)

c) Criterios de selección

Se elegirá el modo de funcionamiento RS485-RS232-USB debido a las siguientes razones:

- Menor complejidad del diseño y circuito a implementarse pues en la utilización del circuito integrado FT232 se requiere mayor número de conexiones, fuente de alimentación y controles de su funcionamiento en comparación de un adaptador USB-RS232.
- La cantidad de datos a enviarse es 13 bytes en la transmisión de los datos hacia la computadora y uno solo para la confirmación de recepción, por lo que no se requiere de una alta velocidad de transmisión y, además, ya que estos valores, que corresponden a las dimensiones de las cajas, se almacenarán en la computadora, no hace necesaria la utilización de una memoria externa al circuito.
- Debido a que se utilizará un canal de comunicación como confirmación de recepción de datos, el tamaño del buffer de almacenamiento de entrada y salida del conversor USB-RS232 no tiene que ser alto.

d) Circuito Esquemático

El diseño del circuito de recepción se muestra en la figura 3.18, donde los pines del MAX490 fueron descritos en el capítulo anterior, por lo que en el anexo 3.6.5 se describirán los puntos de conexión del MAX232 y conector DB9.

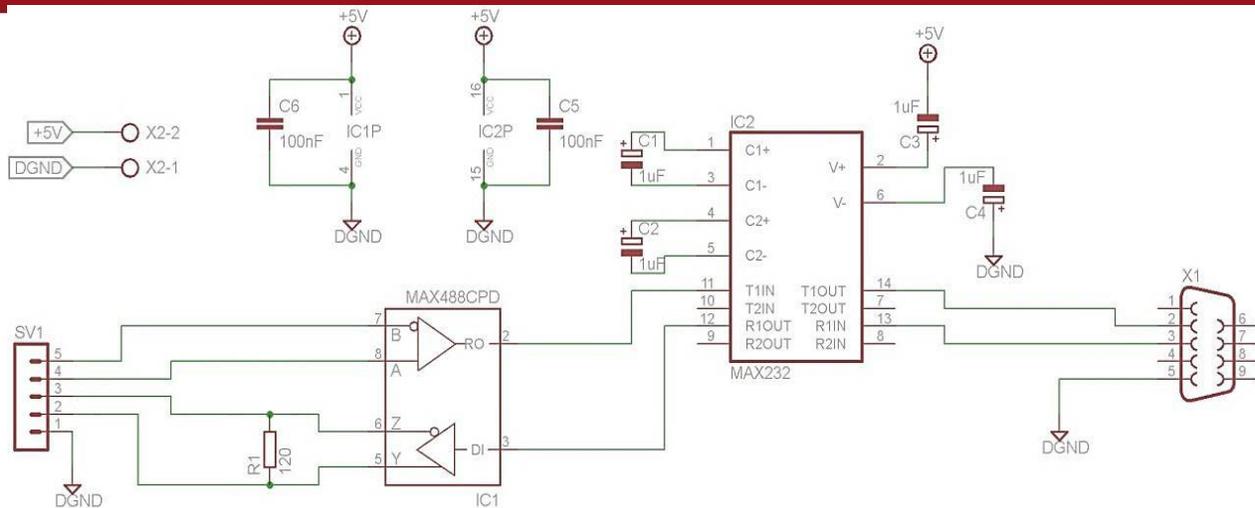


Fig. 3.18. Circuito de Recepción de Datos

Modo de funcionamiento:

- Canal de transmisión de datos:** Recibe los datos procedentes del canal de transmisión del microcontrolador en formato RS485 por los pines A y B del MAX 490 y los reenvía por el puerto RO hacia el T1IN controlador de entrada del MAX232 como salidas TTL (0V o 5V), circuito integrado que convierte estos datos a protocolo RS232. Luego, los datos son enviados por el puerto T1OUT, que es el controlador de salida, hacia pin de recepción del conector DB9, mostrado en la figura 4.9.2, el cual conforma el adaptador RS232-USB y, a partir de ahí, transmitir los datos hacia la computadora. El adaptador USB-RS232 recibe los datos provenientes del MAX232 por el pin 2 y los convierte a protocolo USB enviándolos por el conector tipo A, que se muestra en la figura 3.20 con diagrama de conexiones especificado en la figura 3.21, hacia la computadora.

- Canal de recepción de datos:** La confirmación de recepción de datos se transmite desde la computadora hacia el conector USB y se envía por el pin 3 del conector DB9 hacia el pin de recepción de entradas R1IN del MAX232. (Ver anexo 3.6.5 donde se muestra el diagrama de conexiones)

Los datos recibidos por el MAX232 a partir del conector DB9 son transmitirlos por el pin R1OUT hacia la entrada DI del MAX490. Este integrado se encarga de convertir los datos a protocolo RS485 y los envía a través de los pines de salidas del controlador Y y Z hacia el canal de recepción del microcontrolador.

La resistencia, situada entre los terminales de entrada del MAX490 para la recepción de datos (Pines A y B), está especificada en las hojas del fabricante de valor igual a 120Ω .

- Capacitores electrolíticos de $1\mu\text{F}$ (también pueden utilizarse de $0.1\mu\text{F}$ y sin polarización) utilizados en la implementación del circuito integrado MAX232 según especificaciones de la hoja de datos del fabricante.

3.4.7. Microcontrolador

a) Requerimientos

Para realizar el procesamiento de los datos se seleccionará un microcontrolador que sea capaz de realizar lo siguiente:

- Controlar la información entregada por los sensores fotoeléctricos y ultrasónicos.
- Controlar y registrar los datos generados por el teclado matricial.
- Controlar la velocidad del motor y por ende de la faja transportadora de acuerdo a los datos recibidos por el teclado, para ello se debe contar, como mínimo, con un canal PWM.
- Gestionar y configurar la interfaz de salida que mostrará el menú de opciones programa, así como los datos finales resultantes obtenidos en tiempo real.
- Gestionar y controlar la calibración automática de los sensores.
- Capacidad de transmisión y recepción de datos con velocidades mayores a 560bps.
- Contar, por lo menos, con 2 canales de ADC de 8 bits para la digitalización de las señales analógicas entregadas por los sensores ultrasónicos.
- Fácil, simple y flexible programación.
- Número de pines necesarios para llevar a cabo las diferentes tareas se detallan en la tabla 3.11.

Tabla 3.11. *Uso de los pines del microcontrolador.*

| Funciones a realizar | Número de pines necesarios |
|--|----------------------------|
| Señales de voltaje provenientes de los sensores fotoeléctricos | 2 |
| Señales de voltaje provenientes de los sensores ultrasónicos | 2 |
| Interrupciones externas | 2 (INT0, INT1) |
| Calibración automática de los sensores ultrasónicos | 2 |
| Teclado Matricial | 8 |
| Pantalla LCD | 7 (4 datos, RS, E, RW) |
| Control de velocidad del motor con PWM | 1 |
| Transmisión y Recepción de datos | 2 |
| Programador del ATmega16 | 3 |
| Total | 29 |

Fuente: Elaboración propia.

b) Alternativas de solución

La tabla 3.12 (vea anexo 3.7.1) muestra una comparación de las características más importantes de 2 microcontroladores que pueden utilizarse.

c) Criterios de selección

Debido a los requerimientos antes mencionados se elegirá el microcontrolador ATmega16 por las siguientes razones:

- La cantidad de puertos E/S de este integrado son suficientes para cubrir las tareas que tendrá que realizar el dispositivo.
- Número de canales ADC suficiente para digitalizar las señales de los 2 sensores ultrasónicos.
- Posee 2 temporizadores/contadores de 8 bits y 1 de 16 bits, que satisface el requerimiento de contar por los menos con 2.
- Transmisión y recepción de datos mediante USART configurable de acuerdo a la frecuencia de trabajo del microcontrolador y a registros especiales.
- Frecuencia de trabajo configurable en el rango de 0 a 16Mhz
- Programación más fácil, simple y flexible, pues al poseer 131 instrucciones de programación reduce y simplifica la elaboración de las líneas de código.

d) Circuito Esquemático

El diagrama de la figura 3.22 (vea anexo 3.7.2) muestra las conexiones del ATmega16 y todos los dispositivos de los cuales recibe o envía señales. Además una breve descripción de la función de cada pin se encuentra en el anexo mencionado anteriormente.

3.4.8 Fuente de alimentación

a) Requerimientos

En primer lugar se necesita conocer el voltaje y la corriente máxima que necesitan cada uno de los dispositivos que conforman el sistema. Las tablas 3.13, 3.14 y 3.15 (vea anexo 3.8.1) muestran los requerimientos eléctricos de las diferentes etapas del sistema a implementarse.

Asimismo, para cumplir requerimientos especificados se propone el diseño de dos fuentes de alimentación, uno para el circuito excitador y actuador, el otro para los sensores y componentes digitales. Las características eléctricas que deben cumplir estas 2 fuentes de alimentación se detallan en la tabla 3.16.

Tabla 3.16. Requerimientos eléctricos para el diseño de las fuentes de alimentación.

| | Voltaje (V) | Corriente (mA) | Potencia (W) |
|----------|-------------|----------------|-----------------|
| Fuente 1 | 5.0 | Mayor que 18.0 | Mayor que 0.09 |
| | 5.0, 12.0 | Mayor que 98.0 | Mayor que 2.28 |
| Fuente 2 | 12.0, 20.0 | Mayor que 3002 | Mayor que 60,58 |

b) Alternativas de solución

Existen básicamente dos tipos de fuentes de alimentación que tienen como premisa inicial la conversión de voltaje alterno a continuo. En la tabla 3.17 (vea anexo 3.8.2) se proporciona mayor información acerca de las características de ambos.

c) Criterios de selección

Desde un punto de vista de tamaño y aprovechamiento de la máxima energía posible, las fuentes conmutadas serían la mejor elección. Sin embargo, el tamaño no es una limitación para la fuente de alimentación ya que el sistema operará en un ambiente amplio y abierto. El rendimiento de la fuente puede ser una característica importante a considerar, no obstante, se analizará otras que compensarán la elección de la fuente lineal.

Ruido (Eléctrico e Interferencia electromagnética):

La fuente conmutada genera ruido de alta frecuencia debido a la conmutación de transistores de potencia ya sea eléctrico (puede causar interferencias con los equipos conectados en la misma fase) o electromagnético (interferencia de alta frecuencia a los equipos cercanos). Este es un factor importante y que se debe de tomar en cuenta, debido a que se hace uso de sensores y de control digital para los mismos [59].

Costo:

El precio de una fuente conmutada comercial es elevado debido principalmente a su reducido tamaño y a la gran eficiencia que puede proveer. Mientras más capacidad de corriente pueda entregar, más elevado es el precio. Para efectos de demostración del funcionamiento del sistema y de minimizar costos se optará por elaborar una propia fuente de alimentación. Además, se podrá realizar un diseño a medida de acuerdo a las necesidades del sistema.

Complejidad:

Diseñar una fuente conmutada resulta muy complejo y demanda tiempo, debido a que se debe de tomar en cuenta más consideraciones que en una fuente lineal. Además, tiene más etapas de diseño, cálculos e implementación.

En consecuencia, se diseñará una fuente de alimentación lineal que proveerá la corriente y los voltajes necesarios para el correcto funcionamiento del sistema en base a los requerimientos y criterios de selección evaluados anteriormente.

d) Diseño del sistema de alimentación

Se diseñará dos fuentes de alimentación que formarán parte de una sola estructura física, la cual tendrá todas las salidas de voltaje necesarias. Cada una de éstas será una fuente lineal con las siguientes características mostradas en la tabla 3.18:

Tabla 3.18: Parámetros eléctricos máximos de cada fuente de alimentación.

| | Voltajes (V) | Corriente (A) | Área |
|-------------------|------------------|---------------|--------------------|
| Fuente # 1 | 5.0 / 5.0 / 12.0 | 1.0 | Control y Sensores |
| Fuente # 2 | 20.0 / 12.0 | 4.0 | Motor DC |

Cabe resaltar que los parámetros eléctricos con los que se diseñarán las fuentes lineales satisfacen los requerimientos mostrados anteriormente.

- **Fuente de alimentación #1:**

El primer paso es la reducción de voltaje de 220AC a una tensión menor. Se sugiere que la reducción sea hasta un valor cercano al voltaje requerido. Para esto se utilizará un transformador con las características detalladas en la tabla 3.19.

Tabla 3.19 Parámetros eléctricos para el diseño de la fuente de alimentación 1.

| Entrada (primario) | Frecuencia | Salidas (secundario) | | Corriente _(MÁX) |
|---------------------------|------------|-------------------------|---------------------|----------------------------|
| | | | | |
| 220V_{RMS} | 60Hz | 8.7V _{RMS} | 12.3V _p | 1.5A |
| | | 10.8V _{RMS} | 15.27V _p | 1.5A |

En la siguiente etapa se empleará un rectificador de onda completa basado en diodos para la etapa de conversión de voltaje alterno a continuo en configuración tipo puente. La etapa de reducción de voltaje alterno y rectificación se aplica en ambas fuentes de alimentación, tanto en la fuente de 5V y 12V.

A continuación se explica el diseño del filtro capacitivo. Para esto, se utilizará los datos gráficos presentados por Schade [60] en las figuras 3.23 y 3.24 (vea anexo 3.8.3).

Fuente de alimentación de 5V y 12V:

Sobre la base del diseño detallado del filtro capacitivo de entrada y cálculo de disipador ubicado en el anexo 3.8.4 se obtiene como resultado el siguiente circuito esquemático, ver figura 3.25.

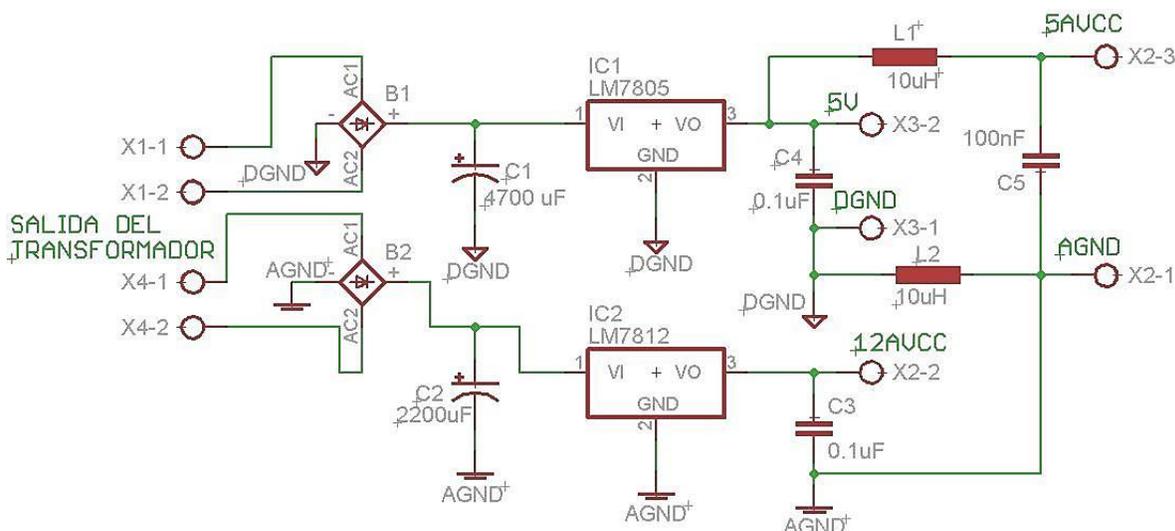


Figura 3.25. Circuito Esquemático de la fuente # 1.

- **Fuente de alimentación #2:**

El procedimiento para el diseño de esta fuente de alimentación es similar al de la fuente anterior. Se inicia con la etapa de reducción de voltaje alterno con un transformador de características detalladas en la tabla 3.20.

Tabla 3.20: Parámetros eléctricos máximos para el diseño de la fuente de alimentación 2.

| Entrada (primario) | Frecuencia | Salidas (secundario) | | Corriente _(MÁX) |
|-----------------------|------------|-------------------------|----------------------|----------------------------|
| 220V _{RMS} | 60Hz | 20V _{RMS} | 28.284V _p | 4.0A |

Para la etapa de rectificación también se usará uno tipo puente de onda completa en base a diodos. Sobre la base del diseño detallado del filtro capacitivo de entrada y cálculo de disipador ubicado en el anexo 3.8.5 se obtiene como resultado el siguiente circuito esquemático, ver figura 3.27.

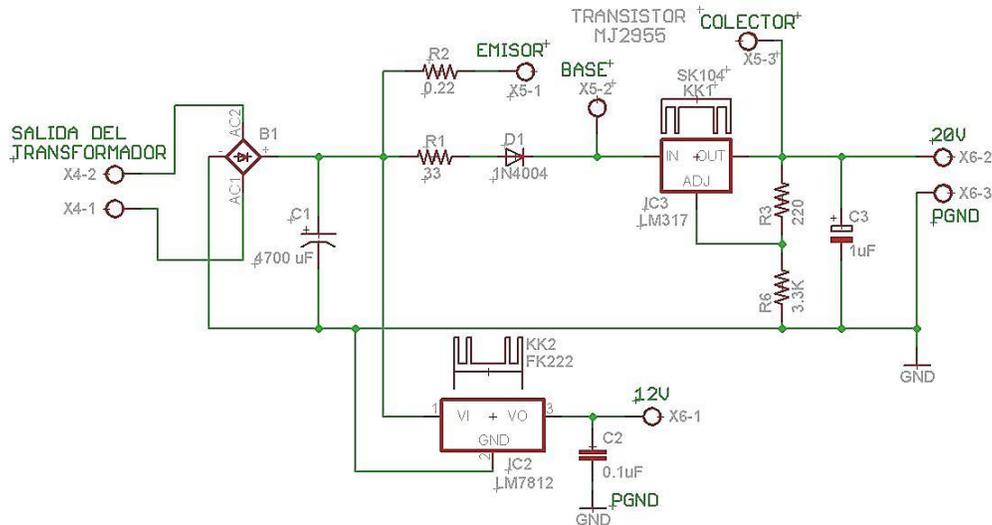


Figura 3.27. Circuito esquemático de la fuente # 2.

3.5. Diseño del software

Con el propósito de esta tesis se tienen dos únicos algoritmos, el algoritmo general de control que se ejecuta en el microcontrolador y el algoritmo de recepción y muestra de datos en la computadora. El primero se programara en lenguaje ensamblador mientras que el segundo en lenguaje Visual Basic.

3.5.1. Elaboración del algoritmo de programación del microcontrolador

a) FUNDAMENTO DEL MÉTODO DE PROGRAMACIÓN A UTILIZAR EN EL MICROCONTROLADOR

Para el desarrollo del algoritmo general de control no se utilizará una lógica secuencial como comúnmente se suele hacer, sino se usará un método de programación denominado multitarea [63].

Este método permite administrar de manera eficiente el tiempo de ejecución de varios procesos al repartir el tiempo de uso y la memoria del procesador entre las diferentes tareas pendientes. De esta manera, se proporciona, un aparente estado de simultaneidad en la ejecución de varios procesos en el microcontrolador. Las tareas deben ser independientes, es decir no deben alterar registros o espacios de memoria que otras tareas podrían usar, por ejemplo guardar los registros usados en las

subrutinas, por tal motivo se crea un programa inicial que se llamara “*IniTareas*”, el cual tiene la función de dividir la memoria en sectores para que cada tarea ocupe un espacio determinado. Además separa un espacio de memoria para guardar los registros con los que se está trabajando en la tarea actual antes de cambiar a la siguiente tarea.

En la figura 3.29 se muestra un ejemplo donde se vinculan 2 tareas diferentes, las cuales están relacionadas una con otra mediante la subrutina “*DoEvents*”.

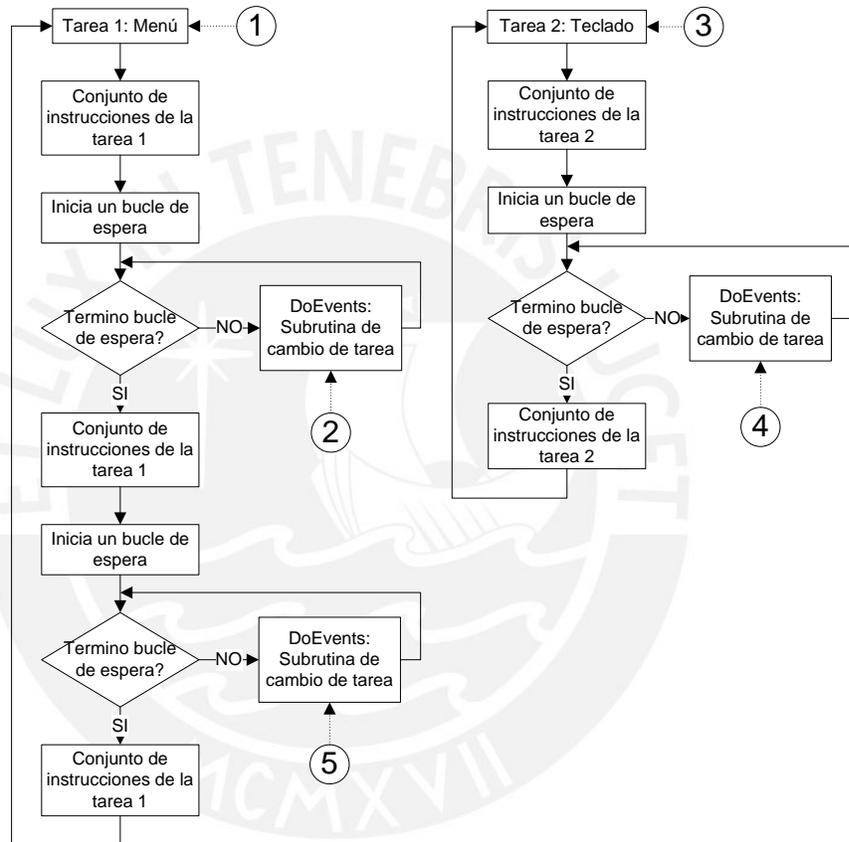


Figura 3.29. Esquema de funcionamiento de una programación en multitarea.

La subrutina “*DoEvents*”, tiene la función de hacer el cambio de programa, además de guardar los registros con los que se está trabajando en la tarea actual y cargar los que se usarán en la siguiente. Esta subrutina tiene una duración de 173 ciclos de reloj. La llamada a “*DoEvents*” debe ser colocada en lugares estratégicos tales como un bucle de espera, de esta manera se puede aprovechar el tiempo invertido en esta para realizar otra tarea.

Este algoritmo de programación funciona de la siguiente manera: Primero se ejecuta “Tarea 1” hasta la primera llamada de “DoEvents”; punto 2, el cual cambia de tarea e inicia “Tarea 2”; punto 3. El programa se ejecuta hasta la llamada de “DoEvents”; punto 4 y cambia de tarea, regresando donde se detuvo en la Tarea 1, punto 2. Si se terminó el bucle de espera, el programa continúa su curso hasta el siguiente bucle donde se ejecuta nuevamente “DoEvents” y salta a la Tarea 2, en el lugar donde se detuvo; punto 4. Si el bucle aún no termina, se ejecuta “DoEvents” y salta nuevamente a la tarea 1; punto 5. Este ciclo se repite constantemente al ejecutar ambas tareas al mismo tiempo en comparación de realizar una sola y esperar en los bucles de programa.

b) DEFINICIÓN DE TAREAS

Para un mejor rendimiento y orden se ha dividido el software de control en 4 tareas que se muestran en la figura 3.30 las cuales están relacionadas cada una con un hardware distinto. Esto permite que las tareas, una vez inicializadas, puedan ser ejecutadas en cualquier orden, es decir, el usuario puede acceder al menú mientras se están midiendo las cajas y mientras se esté escaneando el teclado matricial. Esto permite una gran versatilidad para el usuario en el producto final.

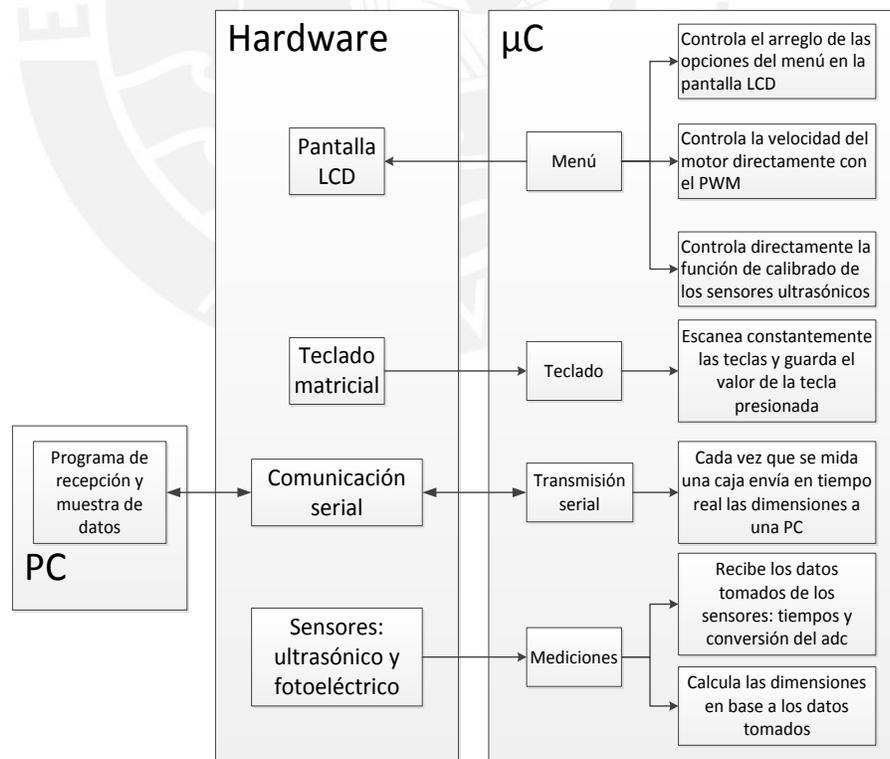


Figura 3.30. Esquema de división de tareas del software de control.

c) TAREA 1: *MENÚ*

El hardware relacionado a esta tarea es la pantalla LCD. Esta tarea se encarga de mostrar todos los cuadros de mensajes para el usuario, además maneja 2 subrutinas las cuales son el calibrado de sensores ultrasónicos y el control de velocidad. La figura 3.31 (vea anexo 3.9.1) presenta el diagrama de flujo de esta tarea. La pantalla se ha configurado para usar un bus de 4 bits de información.

Velocidad:

Para controlar la velocidad de la faja se utiliza una señal PWM la cual es generada por el "Timer 1" del microcontrolador, su frecuencia es de 100Hz y el ciclo de trabajo varía de 50% a 100% en pasos de 10% para variar la velocidad del motor de 0.3 m/s a 0.7 m/s.

Calibración:

El sensor debe ser calibrado de manera que adquiera un rango mínimo y máximo en el cual pueda operar. Esto se logra de 2 maneras, manualmente, presionando un botón en el sensor; y de manera remota, conectando el cable plomo del sensor a 0-2V. La tabla 3.21 (vea anexo 3.9.2) muestra ambos métodos de programación.

Si el límite más cercano al sensor se enseña primero la pendiente en la figura 3.32 será positiva, la cual se usará para el diseño del programa.

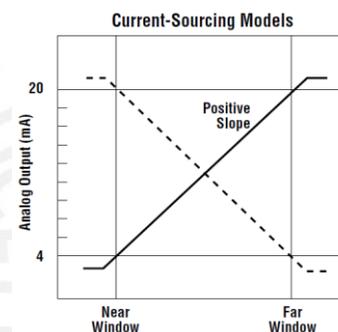


Figura 3.32 Graficas de Corriente de Salida vs Posición de los sensores ultrasónicos de acuerdo al modo de calibración.

d) TAREA 2: *TECLADO*

Esta tarea se encarga de escanear constantemente los 16 botones del teclado matricial. Si se presiona alguna tecla, ésta es almacenada en la memoria RAM del microcontrolador. La figura 3.33 (vea anexo 3.9.3) muestra el diagrama de flujo de manera resumida.

La función de cada una de los pulsadores en el menú principal correspondiente al teclado matricial visto en la figura 3.34 (vea anexo 3.9.4) se detalla a continuación:

1. *Inicio* : Inicia el proceso de medición y arranca el motor, por lo tanto la faja transportadora.
2. *Velocidad* : Ingreso al submenú para variar la velocidad del motor
3. *Calibrar* : Ingreso al submenú para calibrar los sensores ultrasónicos.

Primero se delimita el límite inferior colocando una caja de tamaño estándar (21cmx21cmx21cm) y se presiona ENTER. Luego se procede con el límite superior, se retira la caja y se termina la operación con ENTER.

4. *Mostrar* : Permite la visualización de los datos en la pantalla LCD de cada caja una vez que son medidas.
5. *Enviar* : Sirve para enviar los datos medidos a la computadora.
6. *Detener* : Detiene la operación del motor.

Funciones de otras teclas:

- Teclas  : Regulan la velocidad del motor.
- Tecla ENTER : Sirve para confirmar una acción realizada.
- Tecla Menú : Sirve para regresar al menú principal.

El periodo de escaneo del teclado matricial puede variar de acuerdo a qué tarea se esté ejecutando. Es decir, transcurrirá un tiempo mayor mientras se realizan los cálculos de las longitudes de la caja hasta que se pueda escanear una tecla.

Cuando las 3 tareas están en espera, es decir, no se envían datos a la PC, no se actualiza el menú ni se calculan nuevas longitudes, el tiempo para escanear una tecla es 800us. Por el contrario cuando todas las tareas se están ejecutando el tiempo de escaneo de la tecla no excede los 400ms, el cual es un tiempo razonable para la velocidad en la que una persona puede presionar una tecla.

e) TAREA 3: MEDICIONES

Esta tarea tiene dos funciones, obtener los datos de los sensores y realizar los cálculos para obtener las medidas de las cajas. Para esto se trabaja con 2 interrupciones externas que son activadas por los sensores fotoeléctricos. Con ellos se puede obtener la velocidad de la faja transportadora y a su vez el largo de la caja. También indican el momento en el cual se deben activar los sensores ultrasónicos y así obtener el alto

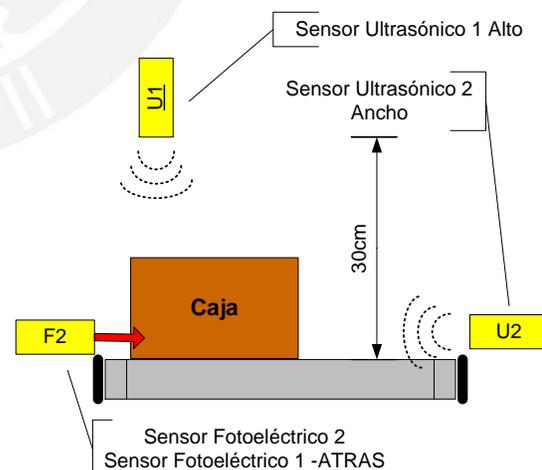


Figura 3.35. Disposición de los sensores fotoeléctricos en la faja transportadora.

y el ancho. En las figuras 3.35 y 3.36 se muestra la disposición de los sensores respecto de la faja transportadora. Este sistema trabaja con la caja alineada al lado de los sensores fotoeléctricos, de acuerdo a esta distribución y al movimiento de las cajas en un solo sentido.

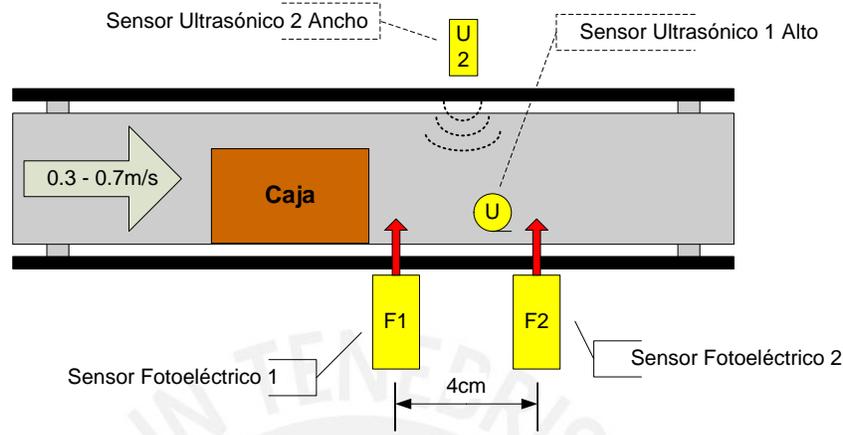


Figura 3.36. Disposición de los sensores fotoeléctricos en la faja transportadora.

Velocidad: para la elaboración del programa el microcontrolador trabaja a una frecuencia de reloj de 1MHz. Cuando el sensor fotoeléctrico 1 detecta la caja se inicia un contador el cual finaliza cuando la caja es detectada por el sensor fotoeléctrico 2. Con este tiempo y la distancia constante, aproximadamente 46mm, entre los sensores se puede obtener la velocidad de cada caja. La separación entre sensores se eligió de tal manera que debe ser menor al largo de la caja mínima detectable, es decir menor a 5cm.

Largo: Se inicia un contador cuando el sensor fotoeléctrico 1 detecta la caja y finaliza cuando deja de detectarla. Con este tiempo y la velocidad obtenida anteriormente se calcula el largo de la caja.

Funcionamiento y cálculos del ancho y alto

Cuando el sensor fotoeléctrico 2 detecta la caja se activan ambos sensores ultrasónicos y se toma 8 medidas por cada dimensión, ancho y alto cada 8ms, debido a que una caja de 5cm de largo a una velocidad de 0.7m/s tarda 71ms en salir del rango de medición de los sensores. Posteriormente las 8 mediciones se promedian y se obtiene un valor aproximado. Teniendo la disposición mostrada en la figura 3.37 se tiene los siguientes factores que influyen en la medición:

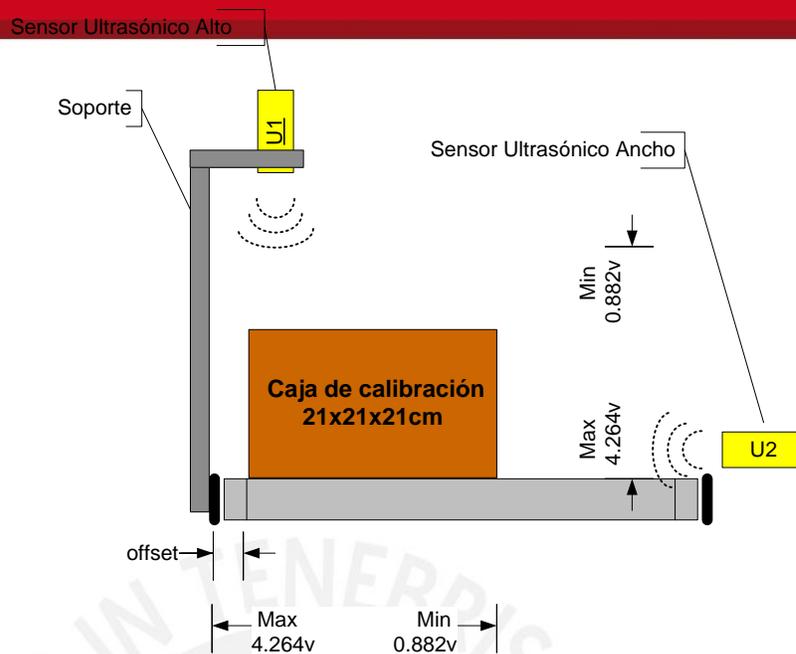


Figura 3.37. Disposición de los sensores ultrasónicos para el cálculo del alto y ancho de las cajas.

Cálculo del ancho:

Parámetros utilizados:

Soporte: Límite donde rebota el ultrasonido y marca el rango máximo del sensor.

Offset: Distancia constante de separación entre el soporte y la caja de calibración, 8mm.

Distancia Máxima (Máx.): Es el rango máximo a la cual se configura el sensor. A esta distancia el sensor mide 4.264v

Distancia Mínima (Mín.): Es el rango mínimo a la cual el sensor mide 0.882v

Con el convertor analógico-digital de 10 bits del microcontrolador y tomando el offset igual a 8mm, se obtiene la tabla 3.22.

Tabla 3.22. Valores de los resultados de conversión del ADC de los voltajes de las distancias máximas y mínimas de calibración.

| Voltaje medido (v) | Conversión del ADC | Distancia medida (mm) |
|--------------------|--------------------|-----------------------|
| 0.882 | 168 | 0 |
| 4.264 | 873 | 218 |

Fuente: Elaboración propia

Ya que el sensor genera una recta proporcional entre la distancia medida y la corriente, para facilitar los cálculos en el microcontrolador se corrige la conversión del ADC y la distancia entre Máx. y Mín. mostrada en la figura 3.38.

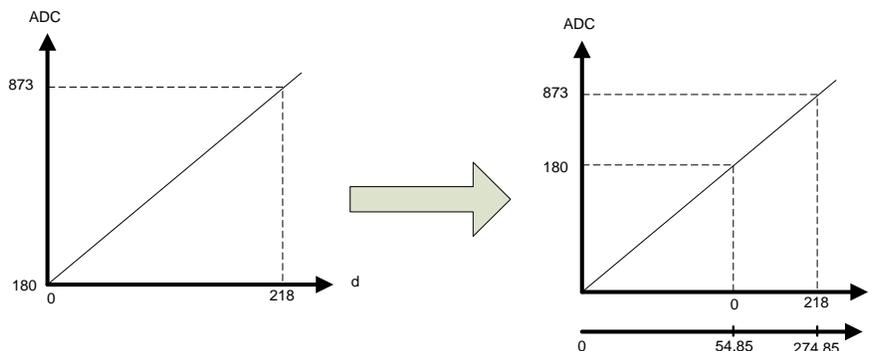


Figura 3.38. Corrección de la conversión de los valores generados por el ADC.

Ecuación de la recta: $ADC = 3.277 * d$

Al conservar la pendiente, se extiende la recta hasta el origen, los valores resultantes se detallan en la tabla 3.23.

Tabla 3.23. Valores de los resultados con la corrección de conversión del ADC de los voltajes de las distancias máximas y mínimas de calibración.

| Voltaje medido (v) | Conversión del ADC | Distancia entre Max y Min (mm) | Nueva distancia ancho (mm) |
|--------------------|--------------------|--------------------------------|----------------------------|
| 0.882 | 180 | 0 | 56.85 |
| 4.264 | 873 | 218 | 274.85 |

Para obtener la nueva distancia a partir de la conversión ADC se plantea lo siguiente:

$$\text{Nueva distancia ancho} = 873 * x = 274.85$$

Debido a que la variable X no es entera y el uC no puede procesarla, esta se puede convertir en una división la cual tiene la forma mostrada a continuación:

$$x = 0.3148 = f / 2^m$$

Al elegir 2^m múltiplo de 8 se facilita la división en el microcontrolador. Tomando $m = 8$ se halla $f = 80$. Al multiplicar el valor máximo del ADC con "f" este abarca 3 bytes, y la

división consta en tomar los 2 primeros bytes como respuesta, por ejemplo; la siguiente conversión del ADC:

$$\text{ADC}=345 \rightarrow 345*80 = 27600$$

El resultado obtenido equivale a "6BD0" en hexadecimal, si se toma el primer byte, es decir "6B", su equivalente en decimal es "107". Por otro lado al multiplicar directamente: $345*0.3148=107$. Se observa que se obtiene el mismo resultado, además este proceso reduce el tiempo cálculo en el uC en lugar de efectuar una división.

Finalmente el ancho de la caja se obtiene de la siguiente manera:

$$\text{Ancho} = \text{Distancia máx.} - \text{Offset} - [2 \text{ primeros bytes (ADC*80)} - \text{Nueva distancia ancho}]$$

$$\text{Ancho} = 218 - 8 - [2 \text{ primeros bytes (ADC*80)} - 56]$$

Para el cálculo del alto se sigue el mismo proceso pero en este caso el offset es cero.

Se obtiene $m=8$ y $f=77$

$$\text{Ancho} = \text{Distancia máx.} - [2 \text{ primeros bytes (ADC*77)} - \text{Nueva distancia ato}]$$

$$\text{Ancho} = 210 - [2 \text{ primeros bytes (ADC*77)} - 54]$$

El diagrama de flujo de esta tarea se muestra en la figura 3.39 (vea anexo 3.9.5) Primero se configura un contador para el cálculo de la velocidad y posteriormente con esta, el largo de la caja. Luego se configura un temporizador para controlar el periodo de muestreo del ADC, en este caso cada 8ms. Finalmente se configura el ADC y las interrupciones externas utilizadas. Esta tarea se inicia cuando se presiona el botón 1 del menú. Este inicial el proceso y espera a obtener nuevos datos para el cálculo de la velocidad, una vez hallada se inicia el muestreo de los sensores ultrasónicos y así poder obtener las dimensiones restantes que son el largo, alto y ancho. Al activar la opción 4 del menú, los datos se muestran en la pantalla LCD.

f) TAREA 4: COMUNICACIÓN

Esta tarea envía los datos medidos en tiempo real siempre y cuando la opción 6 en el menú este activada. Cuando se tiene la medida, por ejemplo el largo en un número binario, este se convierte a su equivalente en caracteres ASCII, expresado en 3 dígitos.

Estas tres medidas se empaquetan en una trama de bytes mostrada en la figura 3.40. El byte número 13 es el XOR solamente de los datos. Se utiliza para comprobar el correcto envío de los mismos.

| Byte1 | Byte2 | Byte3 | Byte4 | Byte5 | Byte6 | Byte7 | Byte8 | Byte9 | Byte10 | Byte11 | Byte12 | Byte13 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Dato1 | Dato2 | Dato3 | @ | Dato4 | Dato5 | Dato6 | @ | Dato7 | Dato8 | Dato9 | @ | XOR |

Figura 3.40. Trama de datos a enviarse a la computadora

Además se envía el carácter "@" para separar los datos en el programa de la PC. En total por cada caja medida se envían 13 caracteres ASCII, tres por cada dimensión y tres separadores. La configuración de los parámetros de transmisión es la siguiente:

- *Velocidad de transmisión:* 9600 baudios
- *Bits de datos:* 8
- *Bit de parada:* 1
- *Bit de paridad:* No hay bit de paridad.

La figura 3.41 (vea anexo 3.9.6) muestra el diagrama de flujo de esta tarea. Al iniciar la tarea esta configura los parámetros de transmisión, una vez que se activa la opción de envío en el menú principal, esta tarea verifica si existen nuevos datos para ser enviados, de ser así los envía y espera el byte de confirmación "B" proveniente de la PC para verificar si los datos llegaron correctamente.

En el caso contrario si se recibe el carácter "M" el microcontrolador renvía las medidas y se repite el mismo procedimiento. Si se recibió 3 veces el carácter "M" se muestra un mensaje de error en la pantalla LCD.

Una vez concluido este proceso de validación la tarea espera a la próxima medición de una caja para enviar los siguientes datos. Esta tarea se puede desactivar en cualquier momento desde el menú principal.

Si el byte de confirmación es distinto de "B" más de tres veces entonces se determina que existe un error en el envío y se muestra un mensaje de error tanto en la pantalla LCD como en la interfaz de usuario. En este caso se debe revisar las conexiones entre el equipo y la PC.

3.5.2. Elaboración del algoritmo de programación de la comunicación de datos con la computadora

Para el desarrollo de este programa se utilizará lenguaje Visual Basic en una interfaz de usuario gráfica que se implementará en el programa Visual Studio. Este entorno facilita la programación ya que tiene funciones especializadas para la comunicación USB, así como también para la creación de interfaces de usuario de manera sencilla.

Visual Basic

Es un lenguaje de programación dirigido por eventos y objetos. Los objetos puede ser un formulario, una imagen, un botón, o una caja de texto; a su vez, los objetos poseen propiedades, por ejemplo en caja de texto una es la propiedad "*texto*" la cual contiene el texto que aparece en esta. A los objetos se les puede asociar eventos. Un evento es la acción que realiza el usuario sobre un objeto, o el cambio de alguna propiedad de un objeto. Por ejemplo: se configura la comunicación USB y una nueva trama de datos llega y se almacena en el buffer. A este evento se le puede asociar una determinada acción la cual puede ser un mensaje de "Nuevos Datos". De la misma manera cuando un usuario presiona un botón, se genera un evento el cual se puede asociar a una determinada acción [64].

- Requerimientos para la interfaz:
 - Mostrar claramente las tres dimensiones de una caja.
 - Mostrar número de caja.
 - Exportar las dimensiones de las cajas medidas a un archivo en formato Excel.
- Diseño de la interfaz con el usuario (Ver figura 3.42)

A continuación se muestra la interfaz de usuario la cual cuenta con tres indicadores los cuales muestran las dimensiones de una caja medida. Además muestra el número de caja, y una lista en la cual se guardan todas las dimensiones, número de caja y volumen de la misma.

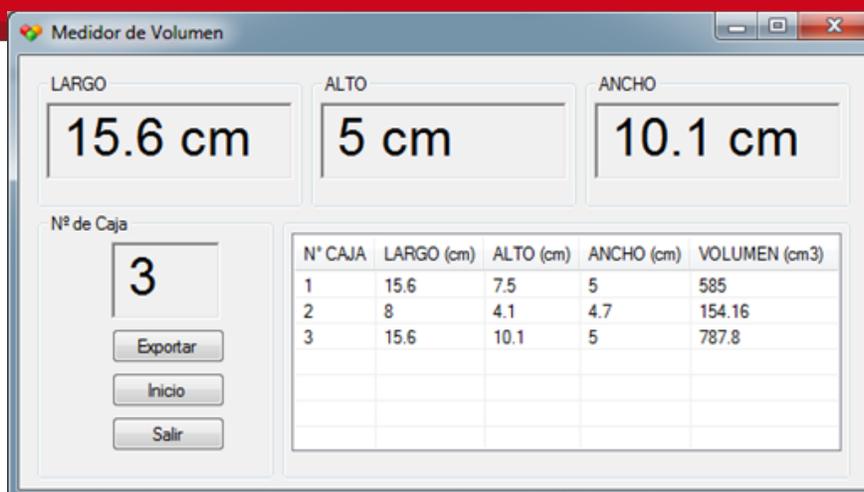


Figura 3.42. Interfaz de usuario realizada por Visual Basic

Interface de usuario: Muestra el largo, alto y ancho de las cajas medidas.

- *Exportar:* Crea un archivo Excel con todos los datos adquiridos.
- *Inicio:* Empieza el escaneo de nuevas cajas.
- *Salir:* Cierra la aplicación.

Diagrama de flujo del programa en visual Basic 2010

El diagrama de flujo de la figura 3.43 (vea anexo 3.9.7) es secuencial sin embargo es una aproximación al programa real en Visual Basic el cual está dirigido por eventos. Existen 4 eventos, uno por cada botón mostrado en el menú principal y el último cuando se reciben nuevos datos por el puerto USB.

Al presionar inicio, se configura los parámetros de transmisión por USB, se habilitan los otros 2 botones y se configura la tabla de datos. Cuando se presiona salir se cierra la aplicación. Cuando llegan datos nuevos se activa el evento del USB, el cual lee los valores existentes en el buffer es decir la trama enviada por el microcontrolador. Se aplica la función XOR a los datos extraídos de la trama y este se compara con el Byte XOR recibido. Si ambos resultados son iguales se envía la letra "B" lo cual significa que se recibió los datos correctos, en caso contrario se envía la letra "M". En este último caso se espera un siguiente envío de datos desde el microcontrolador.

Cuando se presiona exportar se genera un archivo Excel al cual se transfiere la tabla donde se almacenó los datos mostrados.

CAPÍTULO 4

4. IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

La implementación del sistema prototipo se tuvo que acoplar a la faja transportadora que brindó la empresa SISCODE S.A para efectos de pruebas. Tanto el actuador como el chasis para el bloque de control y acondicionamiento de señales se diseñaron tomando en cuenta las dimensiones de la faja, la accesibilidad al momento de realizar las conexiones así como la mejor disposición para poder observar los datos al usuario.

4.1. Etapa 1: Actuador y circuito excitador

En esta sección se comprobará el funcionamiento del circuito excitador así como el rango de velocidad que provee el actuador a la faja transportadora.

4.1.1. Acoplamiento del actuador a la faja transportadora

Para acoplar el actuador a la faja transportadora se utilizó un sistema en base a poleas y una correa de transmisión. Las poleas fueron proporcionadas por la empresa SISCODE S.A. Dicha empresa acopló el actuador a la faja transportadora mediante poleas de 2 y 2.5 pulgadas de diámetro y una correa trapezoidal. En la figura 4.1 se puede apreciar el montaje físico del actuador a un extremo de la faja transportadora donde se encuentra el rodillo principal que provee movimiento.

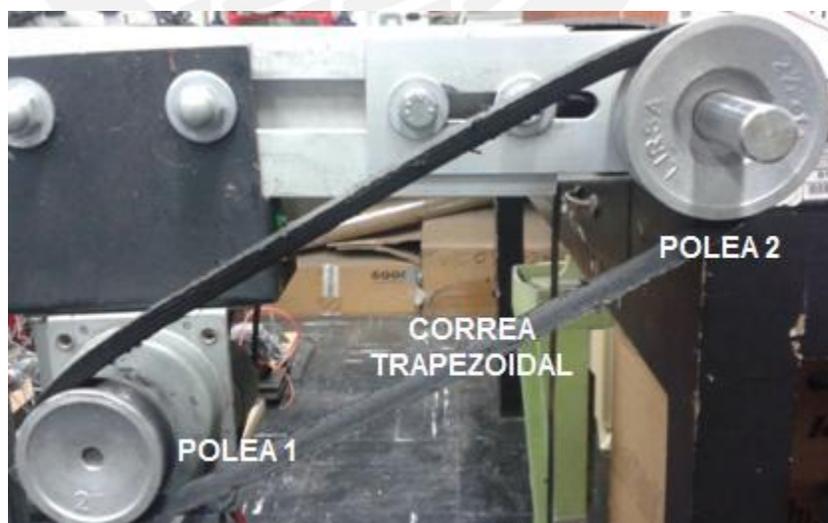


Figura 4.1. Poleas y correa utilizadas para la transmisión de movimiento.

En la figura 4.2 (Vea anexo 4.1) se puede apreciar el soporte metálico de sujeción que se realizó para acoplar el actuador a la faja transportadora, así como los terminales de conexión realizados en el mismo soporte.

4.1.2. Generación de la señal de control PWM

La señal de control necesaria para el circuito excitador es generada por el microcontrolador mediante programación. Se estableció una frecuencia de la onda PWM de 100Hz con un ciclo de trabajo inicial de 50%. En las imágenes 4.3 hasta la 4.7 (vea anexo 4.2) se muestran las formas de la onda PWM para distintos ciclos de trabajo que fueron tomadas usando un osciloscopio digital *Tektronix TDS1002B 60MHz 1GS/s*.

4.1.3. Medición de la velocidad máxima y mínima de la faja transportadora

Para poder asegurar el correcto funcionamiento del sistema en el rango propuesto de velocidades, se procede a medir la velocidad en la faja transportadora y encontrar el límite inferior y superior de velocidad que puede proveer el actuador. Para medir este parámetro se hará uso de un *Tacómetro Digital marca Shimpo*.

Al momento de medir la velocidad en el eje de cada una de las poleas se cubre la superficie de cada una de ellas con un material de color claro, como por ejemplo cinta aislante blanca, y luego se procede a colocar una marca de color opuesto como por ejemplo cinta aislante negra. El tacómetro medirá la velocidad en base al número de vueltas de la marca de color oscuro. En este modo el instrumento se comporta como un fototacómetro.

En la figura 4.8 (vea anexo 4.3) se muestra la medición de velocidad usando el modo de operación del tacómetro antes mencionado. El tacómetro debe permanecer a una distancia entre 5 cm y 30 cm de la superficie que gira [65].

En la tabla 4.1 (vea anexo 4.4) se muestran los resultados obtenidos de las mediciones. Se tomará en cuenta el ciclo de trabajo de la onda PWM para cada medición que se realice.

Tabla 4.2. Medición de velocidad lineal para diferentes ciclos de trabajo.

| Velocidad (m/s) Ciclo de trabajo 50% | | Velocidad (m/s) Ciclo de trabajo 60% | | Velocidad (m/s) Ciclo de trabajo 70% | | Velocidad (m/s) Ciclo de trabajo 80% | | Velocidad (m/s) Ciclo de trabajo 90% | | Velocidad (m/s) Ciclo de trabajo 100% | |
|---|---------------|---|---------------|---|---------------|---|---------------|---|---------------|--|---------------|
| Polea 1 | Polea 2 | Polea 1 | Polea 2 |
| 0.34 | 0.32 | 0.44 | 0.40 | 0.60 | 0.52 | 0.65 | 0.59 | 0.72 | 0.66 | 0.80 | 0.72 |
| 0.35 | 0.28 | 0.46 | 0.41 | 0.57 | 0.51 | 0.69 | 0.61 | 0.72 | 0.66 | 0.81 | 0.72 |
| 0.35 | 0.31 | 0.43 | 0.39 | 0.56 | 0.51 | 0.66 | 0.60 | 0.73 | 0.65 | 0.81 | 0.74 |
| 0.35 | 0.32 | 0.44 | 0.39 | 0.60 | 0.55 | 0.66 | 0.58 | 0.75 | 0.63 | 0.83 | 0.73 |
| 0.32 | 0.31 | 0.45 | 0.41 | 0.57 | 0.54 | 0.66 | 0.62 | 0.74 | 0.63 | 0.82 | 0.74 |
| 0.34 | 0.32 | 0.45 | 0.41 | 0.56 | 0.51 | 0.66 | 0.59 | 0.72 | 0.63 | 0.82 | 0.70 |
| 0.33 | 0.28 | 0.46 | 0.40 | 0.55 | 0.52 | 0.66 | 0.59 | 0.73 | 0.63 | 0.81 | 0.73 |
| 0.32 | 0.32 | 0.43 | 0.40 | 0.55 | 0.51 | 0.69 | 0.61 | 0.75 | 0.67 | 0.82 | 0.74 |
| 0.33 | 0.31 | 0.41 | 0.37 | 0.58 | 0.53 | 0.64 | 0.63 | 0.74 | 0.62 | 0.80 | 0.75 |
| 0.34 | 0.32 | 0.43 | 0.40 | 0.54 | 0.53 | 0.68 | 0.61 | 0.73 | 0.64 | 0.81 | 0.72 |
| P=0.34 | P=0.31 | P=0.44 | P=0.40 | P=0.57 | P=0.52 | P=0.66 | P=0.60 | P=0.73 | P=0.64 | P=0.81 | P=0.73 |

Fuente: Elaboración propia.

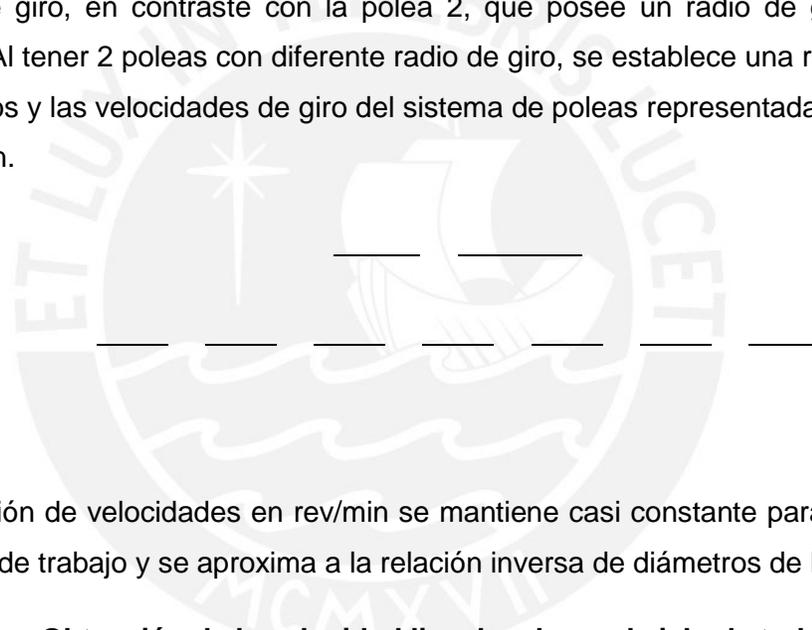
Se procede a pasar unidades de revolución por minuto (RPM) a metros por segundo (m/s). Para esto, primero se realiza la conversión a velocidad angular.

$$ular \left(\frac{---}{---} \right) = \frac{---}{---} \frac{---}{---}$$

Se considera un radio de giro de 3 cm de la polea 1 y un radio de 3.2 cm para la polea 2. Luego se aplica la siguiente relación para calcular la velocidad lineal en cada caso.

$$\left(\frac{---}{---} \right) \left(\frac{---}{---} \right)$$

En la tabla 4.2 se muestran los resultados de la conversión realizada. Se puede observar que la velocidad mínima promedio es 0.31m/s y la máxima promedio es 0.73m/s. Además, la polea 1 posee una velocidad mayor puesto que posee menor radio de giro, en contraste con la polea 2, que posee un radio de giro ligeramente mayor. Al tener 2 poleas con diferente radio de giro, se establece una relación entre los diámetros y las velocidades de giro del sistema de poleas representada por la siguiente ecuación.



La relación de velocidades en rev/min se mantiene casi constante para cada variación de ciclo de trabajo y se aproxima a la relación inversa de diámetros de las poleas.

4.1.4. Obtención de la velocidad lineal en base al ciclo de trabajo

Para establecer una velocidad lineal de la faja transportadora con mayor precisión se debe obtener un ciclo de trabajo determinado, de tal manera que el voltaje promedio aplicado en los terminales del motor sea el necesario para que proporcione la velocidad requerida a la faja transportadora. Para esto se midió el voltaje entre los terminales del motor para cada velocidad lineal obtenida y se muestran en la tabla 4.3.

Tabla 4.3. Medición del voltaje dl motor para diferentes velocidades lineales.

| Ciclo de trabajo de la Señal PWM | Velocidad Lineal promedio de la Faja transportadora (m/s) | Voltaje promedio del Motor (V) |
|----------------------------------|---|--------------------------------|
| 0.5 | 0.31 | 9.58 |
| 0.6 | 0.4 | 12.11 |
| 0.7 | 0.52 | 14.22 |
| 0.8 | 0.6 | 15.24 |
| 0.9 | 0.64 | 16.32 |
| 1 | 0.73 | 18.44 |

Fuente: Elaboración Propia

Para poder observar mejor los datos y llegar a una aproximación más exacta, se lleva estos datos a una gráfica velocidad lineal vs voltaje mostrada en la figura 4.9.

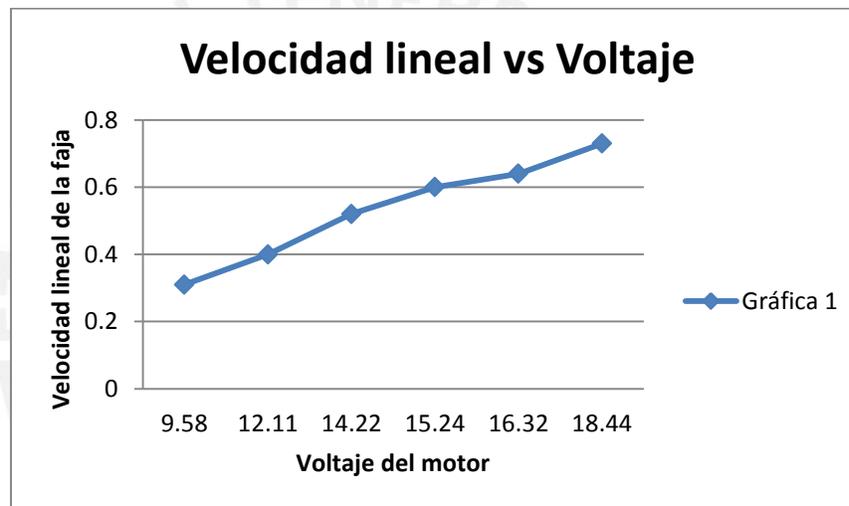


Figura 4.9. Relación entre velocidad lineal y voltaje.

Si se realiza una aproximación lineal a la curva mostrada anteriormente, podemos establecer valores más precisos de voltaje en terminales del motor de acuerdo a la velocidad lineal de la faja transportadora que se desea.

Una vez obtenido esta primera aproximación, solo queda establecer un parámetro para la señal de control, el cual varía finalmente la velocidad de giro del motor. Este parámetro es el ciclo de trabajo de la señal PWM; para esto, se usará cada ciclo de trabajo utilizado en las primeras pruebas, es decir, desde 50% hasta 100%.

De manera similar, se traducen los datos de voltaje vs ciclo de trabajo en una gráfica para poder obtener valores precisos en el rango de medición.

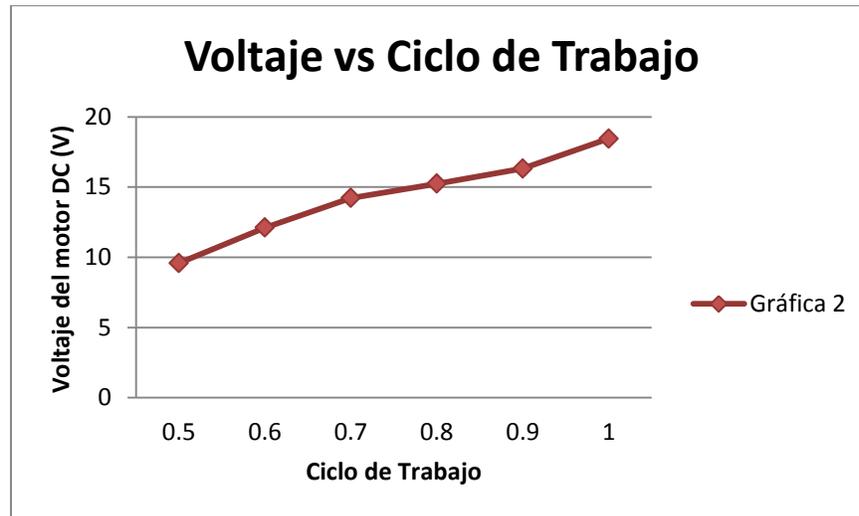


Figura 4.10. Relación entre voltaje y ciclo de trabajo.

De esta manera, se puede obtener la velocidad lineal en la faja transportadora de una manera más precisa con solo establecer un ciclo de trabajo de acuerdo a las gráficas presentadas. Por ejemplo, si la velocidad requerida es 0.5 m/s entonces se halla el voltaje promedio en el motor. De acuerdo a la figura 4.9, este voltaje sería 14.1 V aproximadamente. Luego, se recurre a la figura 4.10 para calcular el ciclo de trabajo necesario. En este caso, el ciclo de trabajo que se requiere es de aproximadamente 0.74 o 74%.

Teóricamente, el voltaje promedio aplicado al motor producto de la modulación por ancho de pulso de la señal de control depende del tiempo en el cual permanece en estado alto o '1' lógico y del período total, en otras palabras, del ciclo de trabajo. Una manera teórica de comprobar los resultados del procedimiento realizado es aplicar la relación descrita a continuación.

De esta manera, se puede observar que el valor calculado es aproximadamente igual al valor teórico.

4.2. Etapa 2: Sensores

En esta etapa se demostrará el comportamiento de los sensores empleados para la medición de volumen, así como los rangos de voltajes y/o corriente de acuerdo a la distancia a los que son calibrados y el tiempo de respuesta.

4.2.1. Sensores ultrasónicos

a) Modo de funcionamiento

- **Sensores calibrados para diferentes rangos de medición**

Para conocer e identificar el modo de funcionamiento del sensor ultrasónico, se procedió a medir los voltajes que se generan sobre una resistencia de carga, colocada entre el terminal de salida de éste y tierra, calibrado a diferentes rangos de medición en los límites extremos mediante la utilización de multímetro Fluke 175. Asimismo se midieron los voltajes generados de estas señales a la entrada del microcontrolador, después del circuito de acondicionamiento.

El valor real de la resistencia real carga es de 438.8Ω , con ello se obtuvieron los resultados mostrados en las tablas 4.4 y 4.5.

Tabla 4.4. Sensor calibrado para registrar valores en un rango de 5cm

| Rango de distancia | Voltaje a la salida del sensor(V) | Corriente de carga del sensor(mA) | Voltaje en la entrada del $\mu C(V)$ |
|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 5cm | 1.855 | 4.227 | 0.87 |
| 10cm | 8.78 | 20.009 | 4.426 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.5. Sensor calibrado para registrar valores en un rango de 10cm

| Rango de distancia | Voltaje a la salida del sensor(V) | Corriente de carga del sensor(mA) | Voltaje en la entrada del $\mu C(V)$ |
|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 5cm | 1.837 | 4.186 | 0.87 |
| 15cm | 8.76 | 19.964 | 4.41 |

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los datos tomados, definimos lo siguiente:

- El rango de medición del sensor es de 3 a 30cm, límites máximos a los que se puede calibrar el dispositivo, más allá de éstos la corriente que generará será aproximadamente 0 y no hay garantía que se cumpla las especificaciones del fabricante.
- Si se realiza un calibrado, donde es establecido, en primer lugar, el límite inferior y luego el superior, la corriente generada por el sensor irá en aumento, y por consiguiente el voltaje en la resistencia de carga será como se observan en las tablas 4.4 y 4.5
- La corriente que genera el sensor depende de la forma de calibración realizada, pues variará proporcionalmente a la distancia solamente a partir del límite inferior establecido hasta el superior, más allá de esos parámetros la corriente se mantendrá constante, hasta salir fuera del rango de medición del sensor, donde su valor decae a casi 0mA.

- **Sensores calibrados para la medición.**

Con el objetivo de obtener las dimensiones de ancho y alto de las cajas, los sensores serán calibrados en un rango de operación de 21cm, donde el límite inferior se configurará a 4cm y el superior a 25cm de éstos. Así pues, la corriente generada por los sensores será proporcional al voltaje registrado en la resistencia de carga de 438.8Ω .

Los valores del rango de operación fueron configurados para no trabajar cerca a los límites extremos de éste, de tal forma de no introducir error o incertidumbre para el cálculo de las dimensiones.

Los resultados de las medidas de la calibración planteada se detallan en la tabla 4.6, los cuales fueron tomados con el multímetro *Fluke 175*.

Tabla 4.6. Sensor calibrado para registrar valores en un rango de 4 a 25cm

| Distancia | Voltaje de Salida del sensor (V) | Voltaje de entrada al μC (V) | Corriente de carga del sensor (mA) | Calibración con una caja de 20cm |
|-------------------------|----------------------------------|---|------------------------------------|----------------------------------|
| Mínima: 4cm del sensor | 1.669 | 0.836 | 3.804 | 0.865 |
| Máxima: 25cm del sensor | 9.01 | 4.507 | 20.533 | 4.392 |

Fuente: Elaboración propia.

- Las cajas deberán estar alineadas, de forma perpendicular al sensor, al punto configurado como límite inferior, de modo que la distancia entre el otro lado paralelo y el sensor será registrado por este.
- Un objeto de 25cm² generará una señal de 1.669V a la salida del sensor, la cual es acondicionada a 0.836V para ser transmitido al microcontrolador.
- Un objeto, cuya dimensión es de 21cm x 21cm x 21cm, generará una señal de 9.01V a la salida del sensor, acondicionado a 3.804V para ser procesado por el microcontrolador.

b) Sensor ultrasónico para la medición del ancho de la caja.

Con el objetivo de mostrar y verificar el funcionamiento del sensor ultrasónico de ancho y el adecuado acondicionamiento de la señal generada por éste, calibrado en el rango de 4cm a 25cm como límites mínimo y máximo respectivamente, se procedió a realizar las siguientes pruebas:

- Realizar diferentes mediciones a determinadas distancias para determinar los valores de voltaje y corriente que genera el sensor.
- De manera similar, se procedió a registrar los valores de voltaje que recibe el microcontrolador después de su acondicionamiento.

Los resultados que se obtuvieron después de haber realizado tales se muestran en la tabla 4.7 (vea anexo 4.5)

A partir de los datos obtenidos, se observa que, a medida que el objeto se aleja del sensor, los voltajes registrados aumentan proporcionalmente, ya que el sensor fue calibrado de tal forma que el límite inferior fuese establecido a 4cm de este y el límite superior a 25cm. Asimismo los voltajes por debajo de los 3cm y por encima de los 25cm generados por el sensor permanecen constantes 1.668V y 8.67V respectivamente, sin embargo, a 30 cm el voltaje decae, pues es la máxima distancia de medición de éste.

La figura 4.11 muestra el voltaje que genera el sensor versus la distancia tomada para la medición, la cual posee una pendiente positiva debido a la forma que fue calibrado el sensor.

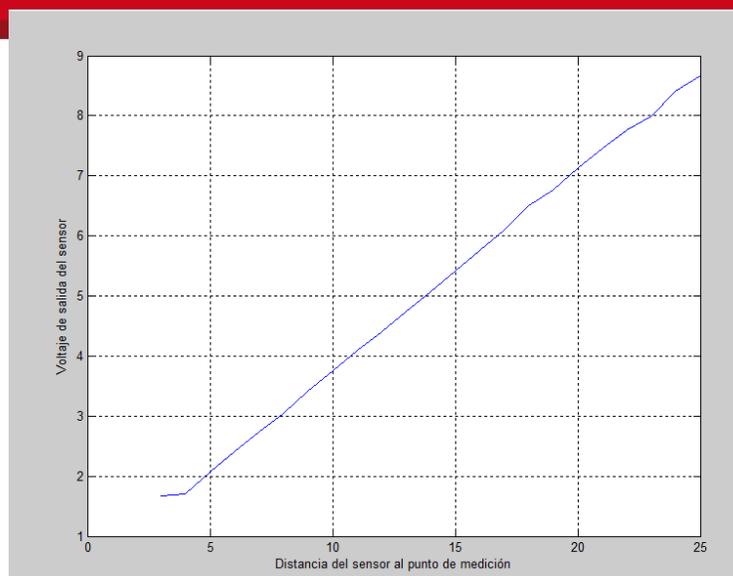


Figura 4.11. Gráfica voltaje registrado en la salida del sensor versus Distancia del sensor de ancho al punto de medición.

c) Sensor ultrasónico para la medición del alto de la caja.

Para verificar el funcionamiento del sensor que medirá el alto, se procedió a realizar el mismo procedimiento descrito en el apartado anterior, cuyos resultados se muestran en la tabla 4.8 (vea anexo 4.6)

Los resultados son similares que en el caso del sensor de ancho, a medida que aumenta la distancia de alejamiento del sensor aumenta la corriente generada por el sensor y el voltaje sobre la resistencia de carga, esta tendencia se observa en la figura 4.12 pues donde se observa la formación de una pendiente positiva.

Esto verifica la forma de calibración de este sensor, donde el límite mínimo está situado a 4cm de él y el máximo a 25cm. Notar que en el rango de 3cm a 4cm el valor de corriente y voltaje que genera el sensor no varía demasiado debido a la forma de calibración explicada.

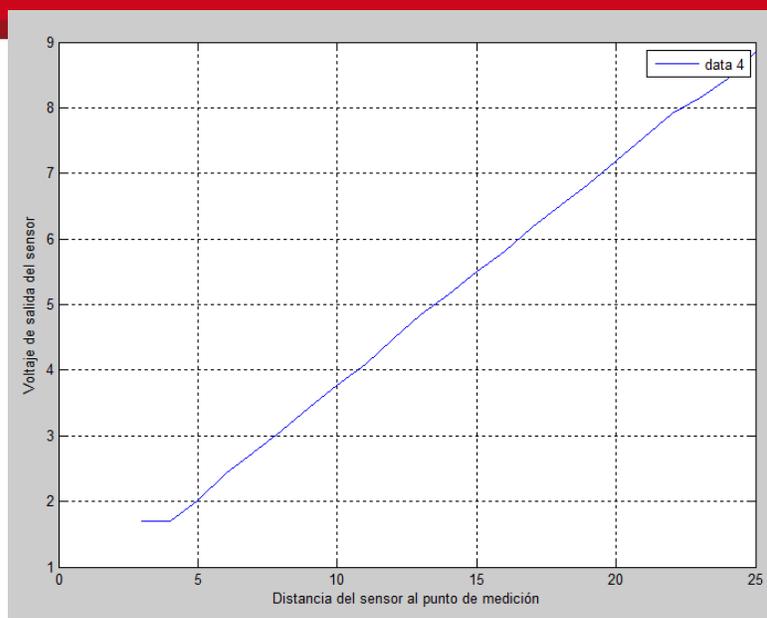


Figura 4.12. Gráfica voltaje registrado en la salida del sensor versus Distancia del sensor de alto al punto de medición.

4.2.2. Sensores fotoeléctricos

a) Sensor Fotoeléctrico 1

Sensor fotoeléctrico de salida bipolar configurado en modo PNP como fuente de corriente, con ello, se registraron las siguientes medidas con la ayuda del multímetro Fluke 175:

- Voltaje de salida del Sensor: 11.24V
- Resistencia real de carga del sensor: $7.98K\Omega$

Voltaje de entrada al microcontrolador:

- En alta: 4.8V
- En baja: 0.04V

Las figuras que se mostrarán de aquí en adelante fueron tomadas a partir de los datos medidos por el osciloscopio marca *TekTronix*.

En la figura 4.13 observamos el tiempo de respuesta del sensor al conmutar de un nivel bajo a uno alto cuando detecta una caja en movimiento. Nótese que este tiempo es aproximadamente 8 μ s, mucho menor a lo especificado por el fabricante que es 700 μ s.

Asimismo en la figura 4.14 se observa el valor del voltaje que ingresa al microcontrolador, que en un primer momento es alto 4.8V, pero luego decae su valor a 4.5V aproximadamente.

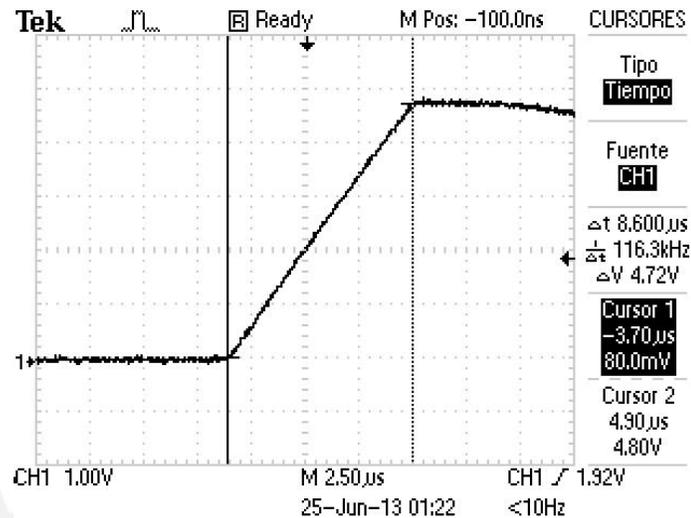


Fig. 4.13. Tiempo de respuesta en flanco de subida del sensor fotoeléctrico 1.

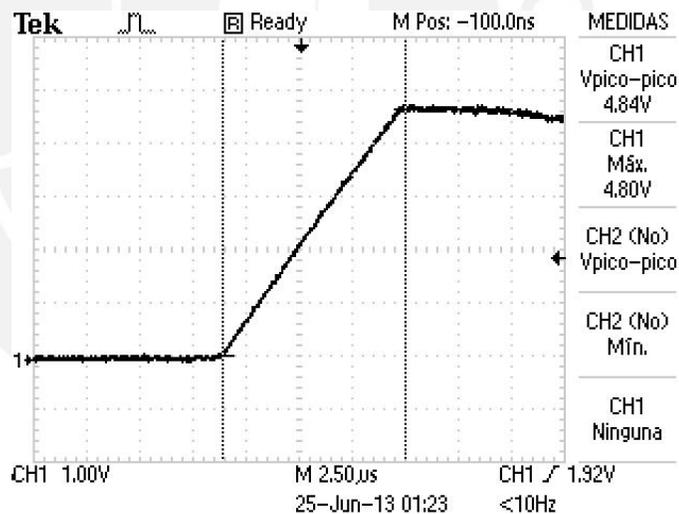


Fig. 4.14. Medidas registradas a la entrada del microcontrolador con osciloscopio al detectar una caja en movimiento.

Al evaluar el tiempo de respuesta en el flanco de bajada de este sensor, se encontró que es aproximadamente 85µs mostrado en la figura 4.15, mucho mayor que el identificado en el flanco de subida, por lo cual, se deduce que introduce errores para el cálculo de la medición del largo.

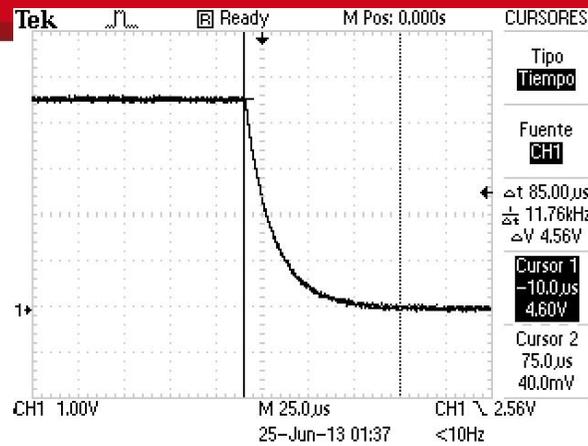


Fig. 4.15. Tiempo de respuesta en flanco de bajada del sensor fotoeléctrico 1.

b) Sensor Fotoeléctrico 2

Las medidas tomadas son muy similares al sensor fotoeléctrico 1, estas se encuentran detalladas en el anexo 4.7.

4.2.3. Acoplamiento de los sensores

a) Sensores Ultrasónicos.

- Para el acoplamiento del sensor ultrasónico que mide el ancho se diseñó y fabricó una estructura metálica rectangular de fierro con agujero en el centro donde se puede insertar y ajustar el dispositivo que será colocado a un costado de la faja de tal forma que el foco de emisión del sensor apunte de forma transversal a la superficie de ésta. La figura 4.19 muestra el modo de acoplamiento del sensor.

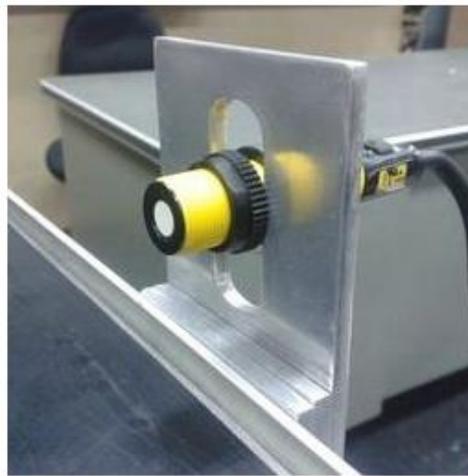


Fig. 4.19. Forma de acoplamiento del sensor ultrasónico de ancho.

- El sensor ultrasónico de ancho fue acoplado de tal forma que apunte de manera perpendicular a la superficie de la faja, para ello se diseñó y fabricó una pieza de metal en forma de L invertida tal como se observa en la figura 4.20, con agujero en el centro donde se puede insertar y ajustar el dispositivo.

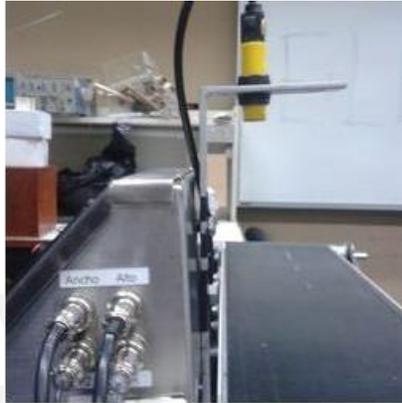


Fig. 4.20. Forma de acoplamiento del sensor ultrasónico de ancho.

b) Sensores Fotoeléctricos.

Los sensores fotoeléctricos deben de estar acoplados de tal forma que el haz de luz que emiten llegue y rebote en los objetos, por tal motivo deben estar acoplados de forma transversal a la faja. Además para el cálculo del largo y velocidad se requiere que se ubiquen separados 4cm de forma consecutiva. Ante estas necesidades se diseñó y fabricó una pieza de metal unida de forma perpendicular a otras 2 porciones que tienen 2 agujeros cada uno para poder insertar los tornillos y sujetar los sensores. Las figuras 4.21 y 4.22 ilustran la disposición y forma de acoplamiento de estos dispositivos.



Fig. 4.21. Vista frontal de la disposición de los sensores fotoeléctricos.



Fig. 4.22. Vista posterior de la disposición de los sensores fotoeléctricos.

c) Conectores de los sensores.

Para conectar los sensores al chasis se utilizaron conectores metálicos como se muestran en la figura 4.23, donde los de la parte superior tienen 5 terminales que se conectan a los ultrasónicos y los de la parte inferior, que poseen 4, se utilizan para los fotoeléctricos.



Fig. 4.23. Conectores de los sensores.

4.3. Etapa 3: Interfaz de usuario

A continuación se hará pruebas de la interfaz de usuario que consta del teclado y pantalla LCD.

4.3.1. Muestra de parámetros en la pantalla LCD e interacción con el menú principal mediante el teclado matricial

Al encender el equipo se muestra como pantalla principal el título “Medidor de Volumen”, mostrado en la figura 4.24.



Figura 4.24. Título del sistema implementado

Al presionar la tecla Menú se accede inmediatamente a una serie numerada de opciones, que se muestran en la figura 4.25, las cuales permiten al usuario ejecutar acciones como: 1 iniciar el proceso, 2 variar la velocidad, 3 calibraciones de proceso, 4 mostrar datos, 5 enviar datos a la computadora y 6 detener el sistema.



Figura 4.25. Menú principal.

Antes de iniciar el proceso el sistema requiere ser calibrado, para tal caso se tienen las opciones mostradas en la figura 4.26 donde 1 realiza una calibración nueva de los sensores y 2 utiliza la que fue hecha anteriormente. El procedimiento de calibración de los sensores ultrasónicos se detalló en el capítulo anterior y se realiza con la verificación mediante las figuras 4.27 y 4.28.

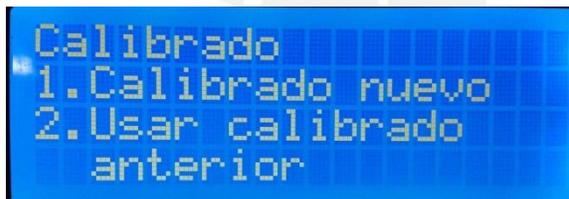


Figura 4.26. Submenú de calibración.



Figura 4.27. Primera etapa de calibración

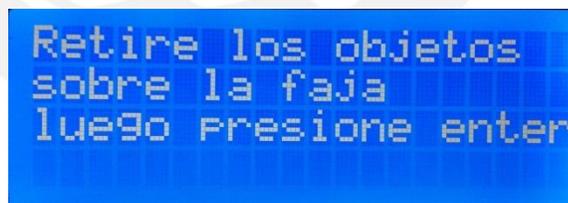
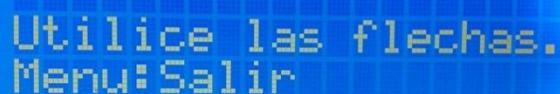


Figura 4.28. Segunda etapa de calibración.

Al empezar el proceso, presionada la tecla inicio del menú principal, el motor se enciende y se pone en marcha a la velocidad mínima la cual puede ser regulada con la opción 2 del menú mediante la utilización de los pulsadores con símbolos de flechas del teclado matricial, cuyo submenú se muestra en la figura 4.29.



```
Utilice las flechas.  
Menu: Salir
```

Figura 4.29. Menú de velocidad.

Una vez iniciado el proceso de medición de volumen, previa calibración, se mide una caja cuyas medidas se muestran en la pantalla LCD como se observa en la figura 4.30. También se puede apreciar el número de caja y la velocidad a la cual se desplaza la faja transportadora en el momento de la medición.



Figura 4.30. Pantalla LCD que muestra las medidas de una caja.

4.4. Comunicación de datos

4.4.1. Transmisión de datos del microcontrolador

Los datos generados por el microprocesador, que corresponden a las dimensiones de los objetos, serán enviados por el dispositivo de comunicación en serie USART que posee, de forma asíncrona y con el correspondiente formato de trama, para luego ser convertida a protocolo RS485 y transmitida al circuito de recepción.

Con el objetivo de verificar la transmisión de datos, se desarrolló un programa para transmitir la letra “h” cuyo código ASCII es 48 en base hexadecimal del microcontrolador hacia la computadora, y se procedió a medir los voltajes generados, con la utilización del osciloscopio *TekTronix* en los siguientes puntos:

a) En el pin de transmisión del microcontrolador PD1 y tierra:

La trama registrada se muestra en la figura 4.31 cuyo formato es el siguiente:

- 1 bit de inicio de valor ‘0’ lógico (0 Voltios).
- 8 bits de datos (código binario de la letra h es 01001000), la transmisión comienza a partir del bit menos significativo LSB, a una velocidad de 9600kbps aproximadamente, así pues la trama de los datos es 00010010.
- No hay bit de paridad.
- 1bit de stop de valor lógico ‘1’ (5 Voltios).

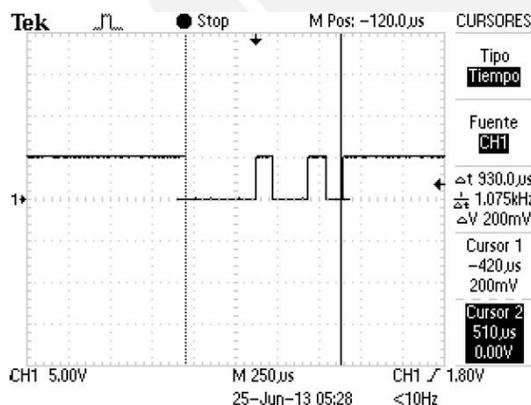


Fig. 4.31. Trama de bits generados por el microcontrolador al transmitir la letra “h” hacia la computadora.

Los voltajes generados mediante USART son adecuados para la conversión a protocolo RS485, pues se encuentran en un rango aceptable donde la entrada del transmisor del MAX490 DI permite voltajes entre -0.5V a 5.5V.

b) Entre los terminales de transmisión Z e Y del circuito integrado MAX 490 y tierra.

Los valores registrados después de la conversión a protocolo RS485 de la trama especificada en el título anterior, se muestran en las figuras 4.32 y 4.33, que corresponden a la medición de los voltajes en los terminales de conexión Y (señal no invertida) y Z (señal invertida) del transmisor del MAX490 y tierra.

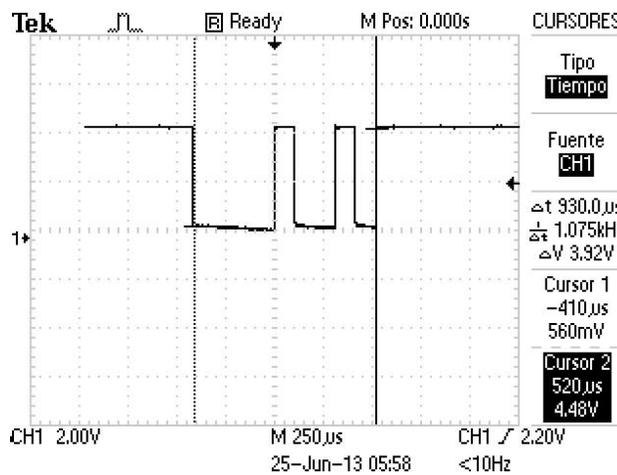


Figura 4.32. Señal registrada entre el terminal de transmisión Y del MAX490 y tierra.

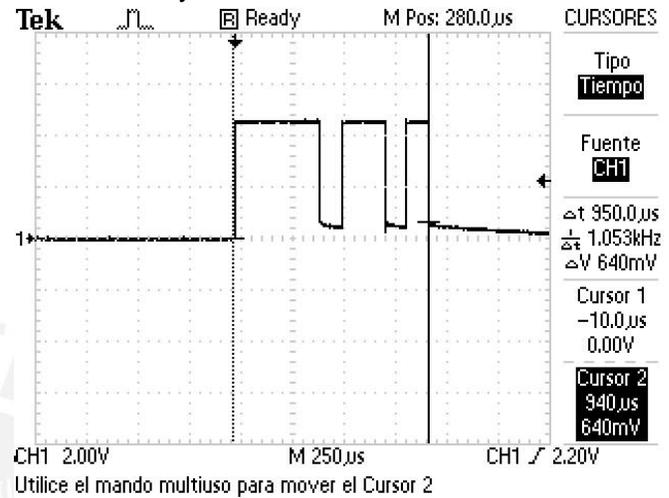


Figura 4.33. Señal registrada entre el Transmisión Z del MAX490 y tierra.

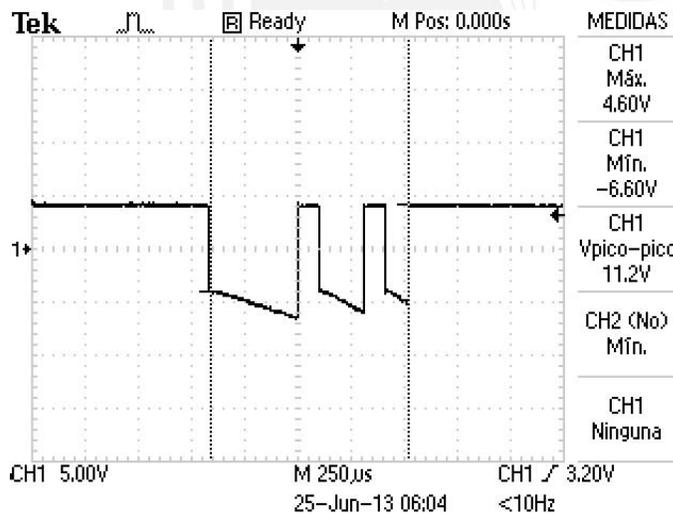


Fig. 4.34. Trama de bits registrada entre los terminales Z e Y (Y-Z) del MAX490

La figura 4.34 muestra el voltaje diferencial generado entre los terminales Z e Y del MAX490.

Nótese que la diferencia de potencial de los valores registrados y tierra es aproximadamente 3.92V, los cuales se encuentran en el rango de voltajes especificados en la hoja de datos del MAX490, que varían entre -8V a 12V.

4.4.2. Recepción de datos en la computadora (PC)

Para verificar la correcta recepción de la trama de bits enviada por el circuito de transmisión se procederá a medir con el osciloscopio *TekTronix* los siguientes puntos en la tarjeta de recepción:

a) En el pin de recepción de voltaje de salida RO del MAX490

La figura 4.35 muestra los voltajes registrados en este punto de medición, se observa que se recupera el formato de la trama USART generada por el microcontrolador, con valores de -0.8V que representa un nivel bajo y 5.2V uno alto. Estos voltajes son adecuados para la conversión a protocolo RS232 mediante MAX232, pues requiere los siguientes valores:

- 2V como mínimo para ser reconocido como entrada en nivel alto.
- 0.8V como máximo para ser reconocido como entrada de nivel bajo.

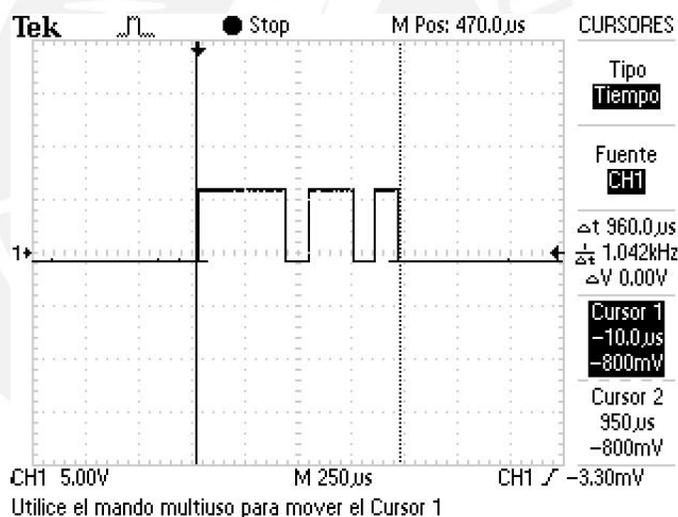


Figura 4.35. Trama de bits registrados en el pin RO del MAX490

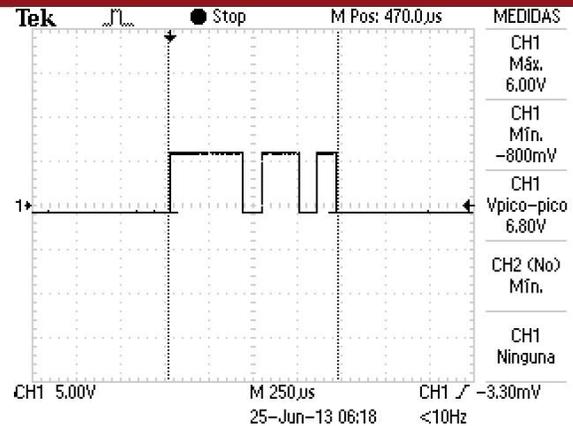
b) En el pin de transmisión de salida T1OUT del MAX232

El formato de trama anterior en protocolo RS232 se muestra en la figura 4.36., donde los voltajes generados son 6V y -0.8V correspondientes a los niveles altos y bajos respectivamente. Estos voltajes se encuentran en el rango especificado en la hoja de datos del integrado, como mínimo 5V para un nivel alto y como máximo -0.3V para un nivel bajo. Luego, los valores de esta trama son convertidos en protocolo USB a través del adaptador RS232-USB y de ahí ser transferidos a la computadora.

Figura 4.36. Trama de bits registrados en el pin T1OUT del MAX232

Nota:

Valores de salida de 6V y -0.8V debido a que la fuente de alimentación positiva es 5V y la negativa es 0v del MAX232.



4.5. Prueba de funcionamiento de la fuente general de alimentación

4.5.1. Implementación de la fuente

El chasis de la fuente de fuente de alimentación es metálico, posee 8 salidas de voltaje y dos portafusibles para evitar que fluya una corriente mayor a 1 amperio y 4 amperios respectivamente. En la figura 4.37 se puede apreciar las salidas de la fuente de alimentación. La distribución de los voltajes de alimentación para cada etapa del sistema se muestra en la tabla 4.9.

Tabla 4.9. Distribución de la fuente de alimentación para todo el sistema.

| Salida de voltaje | Etapas |
|--------------------------|--|
| 5.0 V / DGND | Control (μ C, LCD, comunicación serial) |
| 5.0 AVCC / 12AVCC / AGND | Acondicionamiento de señal, sensores |
| 20V / 12V / PGND | Circuito excitador, Motor DC |

Fuente: Elaboración Propia



Figura 4.37. Terminales de salida de voltaje de la fuente de alimentación.

4.5.2. Medición de voltaje y corriente

Se midió el voltaje y la corriente que entrega la fuente de alimentación cuando el sistema está en operación. Los voltajes se muestran en la tabla 4.10, así como los valores de corriente máximos y mínimos. La corriente máxima se suscita en el momento cuando una caja está siendo medida y los sensores cambian a un estado activo. Por el contrario, la corriente mínima se presenta cuando una caja pasó por los sensores.

Tabla 4.10. Voltajes de salida y consumo del sistema.

| | 5 VDC (Analógico) | 5 VDC (Digital) | 12 V | 12 VDC (Analógico) | 20 V |
|-------------------------|----------------------|--------------------|---------|-----------------------|--------------------|
| Voltaje medido | 5.024V | 5.036V | 11.73V | 11.48V | 18.66V |
| Corriente máxima | 0.02mA | 36mA | 12.67mA | 145mA | 2.419 ^a |
| Corriente mínima | 0.02mA | 29mA | 7.77mA | 115mA | 1.966 ^a |

Fuente: Elaboración Propia

Cabe resaltar que los valores de corrientes no superan los máximos que fueron considerados en el diseño del sistema.

4.6. Prueba de funcionamiento del sistema completo y adquisición de datos de manera remota.

4.6.1. Transmisión de la información hacia la computadora en formato Excel.

Para activar el envío de datos en tiempo real hacia la computadora, se accede al menú principal y se presiona la tecla 5, luego aparece el submenú que se muestra en la figura 4.38, donde el usuario puede elegir entre las dos opciones señaladas.

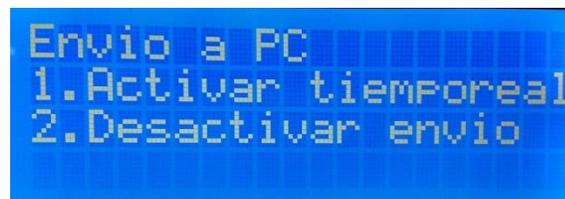
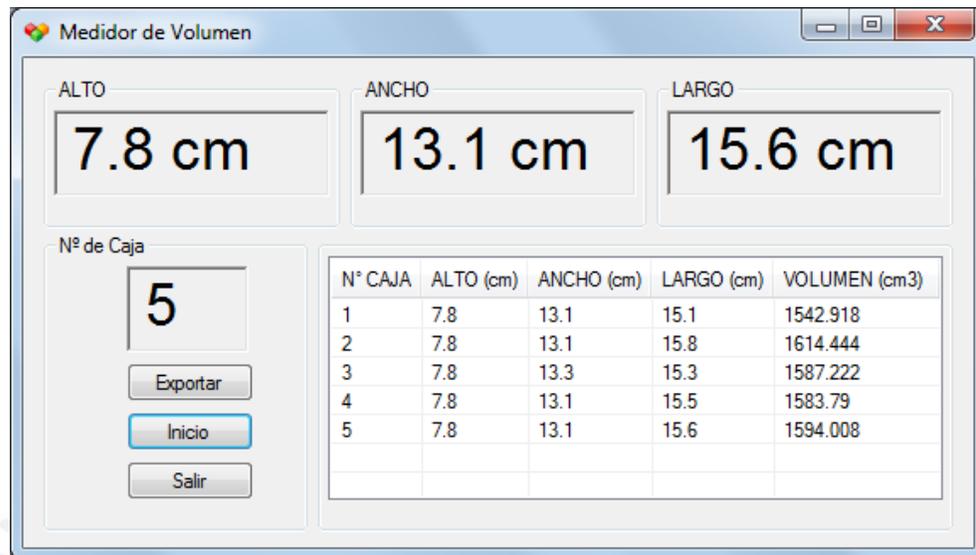


Figura 4.38. Submenú de transmisión de datos

Para recibir los datos en la computadora, una vez presionada la tecla 1 de este submenú, se debe iniciar el programa “Medidor de Volumen” y hacer clic en el botón de inicio que se muestra en la figura 4.39, donde también se observan las dimensiones de la caja medida.

Figura. 4.39.
Interfaz de usuario del sistema en la computadora



Al presionar el botón exportar la tabla mostrada anteriormente se transfiere a un archivo en formato Excel tal como se muestra en la figura 4.40.

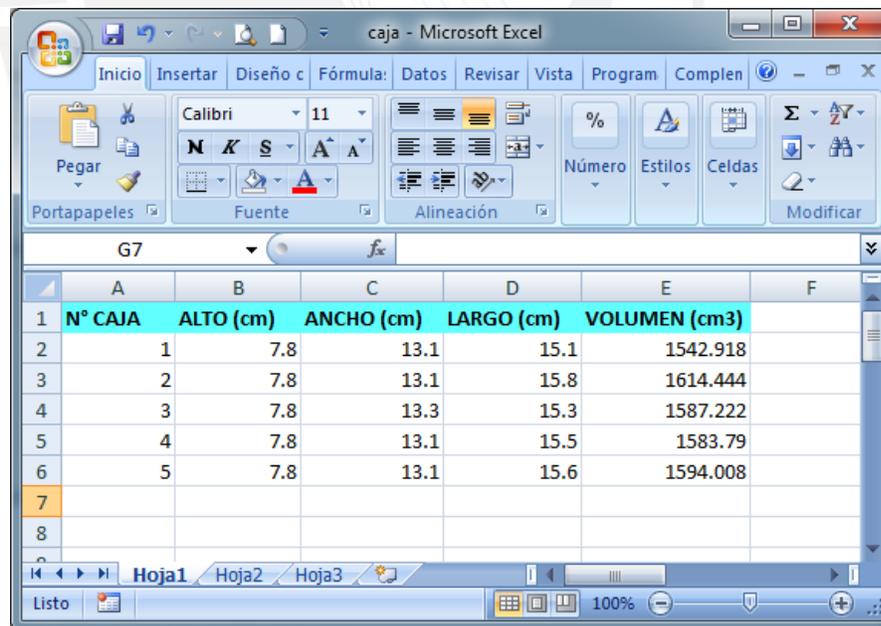


Figura 4.40. Archivo en Excel de las medidas recibidas en la computadora.

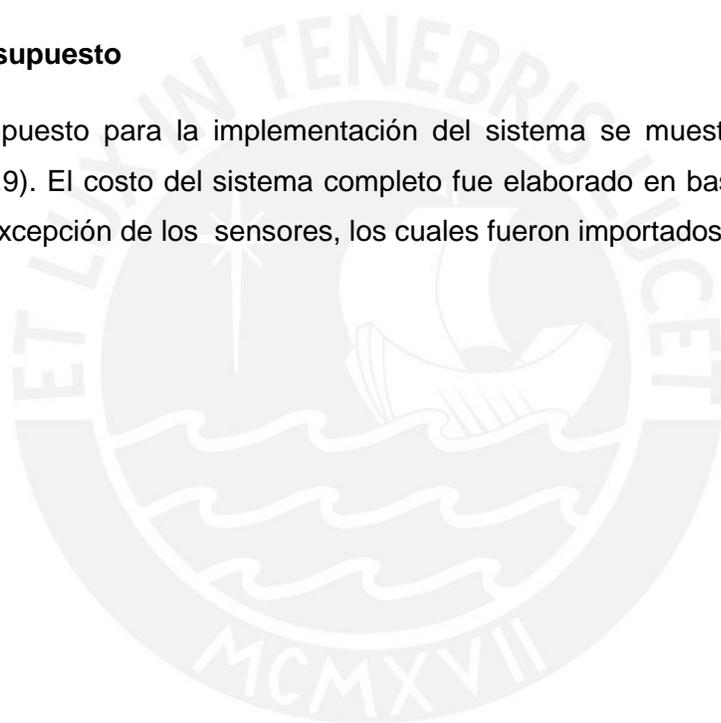
4.6.2. Obtención de resultados: Medición de alto, ancho y largo

Los resultados de las mediciones realizadas a 3 cajas de diferentes tamaños se detallan en las tablas 4.11, 4.14 y 4.17 respectivamente, así como el porcentaje de error que se originaba en cada una. Las dimensiones reales se encuentran especificadas al inicio de cada prueba.

Asimismo, los valores máximos y mínimos de error de medición se detallan para cada una de las dimensiones de las cajas tomadas como prueba, así pues, en las tablas 4.12, 4.15 y 4.18 se obtuvieron los errores en porcentaje y en las figuras 4.13, 4.16 y 4.19 los valores en milímetros. Las tablas mencionadas anteriormente se encuentran en el anexo 4.8.

4.7. Presupuesto

El presupuesto para la implementación del sistema se muestra en la tabla 4.20 (vea anexo 4.9). El costo del sistema completo fue elaborado en base a precios del mercado local a excepción de los sensores, los cuales fueron importados.



CONCLUSIONES

- La alineación y forma de las cajas son factores determinantes al momento de dimensionar las medidas de los objetos, ante esto, se parte del hecho que el sistema a implementar requerirá un alineamiento previo antes de su operación, puesto que no es objetivo de este tema, y además se medirán cajas rectas paralelepípedos sin peso.
- Adecuada y eficaz elección de sensores distancia y presencia para la detección de las magnitudes de las dimensiones de las cajas, conforme a la precisión y rango de medición requerido por el cliente. Los sensores de distancia utilizan ultrasonido para detectar la distancia de los objetos, ofrecen mayor inmunidad al ruido, pues originan salida en corriente, poseen circuitos de protección contra cortocircuitos y sobretensiones. Los sensores de presencia son del tipo fotoeléctrico con modo de operación difuso y tiempo de respuesta adecuado para la detección de los objetos.
- El acondicionamiento de los sensores cumple con los requerimientos impuestos por el microcontrolador, para los sensores fotoeléctricos brinda un voltaje de -0.04V y 4.8V como nivel bajo y alto respectivamente, y para los sensores ultrasónicos un rango de conversión entre 0.87V y 4.23V.
- Conforme a las especificaciones de torque, potencia y velocidad del motor para el movimiento de la faja, se puede afirmar que se ajusta y opera dentro del rango de los parámetros señalados. Cabe resaltar, que el motor trabaja en condiciones por debajo de sus valores nominales.
- En el control de la velocidad del motor y por ende de la faja, se alcanzó a cubrir y superar los objetivos señalados, al lograr variar la velocidad del motor en un rango de 0.32 a 0.74m/s.
- Al implementar una interfaz de usuario pantalla y teclado se logró establecer, de forma simple e interactiva, la comunicación con el usuario, donde él pueda elegir la operación a realizar y ver sus resultados.
- Los resultados de las mediciones, después del procesamiento de los datos entregados por los dispositivos de entrada, sugieren lo siguiente:
 - Dimensiones de cajas de regular y gran tamaño (a partir de 6cm hasta el límite máximo) se determinan con mayor precisión y exactitud.

- Dimensiones de cajas pequeñas cercanas al límite inferior generan mayor error en la medición, aproximadamente 6%.

- En el cálculo del largo de las cajas se genera el error más grande, esto puede ser debido a la distancia de separación de los sensores fotoeléctricos, variación de velocidad de la faja transportadora, ruido generado por el sistema, entre otros.

- El establecimiento de la comunicación de datos del microcontrolador con la tarjeta de recepción a través de protocolo RS485, al ser full dúplex, permite enviar datos en del microcontrolador a la PC de manera simultánea y por canales diferentes, además se asegura la transmisión de datos de forma rápida, a grandes distancias, mayor inmunidad al ruido.

- La utilización de protocolo RS232-USB para la comunicación de datos de la tarjeta de recepción a la computadora y viceversa, añade simplicidad y flexibilidad para la interconexión con estos dispositivos, así como dar capacidad al usuario de poder exportar a una hoja de datos Excel los datos recibidos para que realice el análisis, uso o modificaciones correspondientes.

- Se comprobó que el uso de una pantalla LCD de 4 x 16 satisfizo la necesidad de mostrar varios parámetros de medición al usuario final. Se pudo realizar un menú amigable con el usuario de tal manera que el sistema sea fácil de entender y manipular.

- Se implementaron las funciones necesarias en el menú de comandos gracias al teclado matricial de 4 filas x 3 columnas. La navegación por dicho menú es sencilla con las opciones de operación del sistema necesarias y suficientes. El hecho de que posea teclas alfanuméricas hizo que la navegación sea dinámica.

RECOMENDACIONES

1. En la selección de un sensor de distancia, se puede haber elegido un sensor con mayor resolución de tal forma que se ajuste a los requerimientos que se desea alcanzar, con un tiempo de respuesta mayor, pues no es necesario realizar demasiadas mediciones del objeto.
2. En la comunicación de datos del microcontrolador con la computadora, el uso del tipo *half dúplex* hubiese reducido la utilización de materiales (cables, conectores, entre otros), asimismo la utilización comunicación de datos mediante Ethernet representaría una gran mejora en la transmisión de datos vía Internet por controlar el flujo de datos de manera directa o remota.
3. El sistema será empleado en un ambiente industrial, por consiguiente, el actuador más adecuado sería un motor de inducción trifásico de $\frac{1}{4}$ HP como mínimo para poder operar. Además, proveería un mejor acoplamiento a la faja transportadora sin necesidad de poleas ni de correas de transmisión.
4. En caso se use un motor de inducción trifásico, la fuente de alimentación sería la red de voltaje principal, descartando el uso de una fuente de alimentación externa. Para la etapa de control se sugiere usar una fuente conmutada debido a su menor tamaño y gran eficiencia.
5. Se recomienda que el cableado de la alimentación sea interno, aprovechando la estructura de la faja transportadora para que no esté expuesta a terceras personas y puedan ocasionar inconvenientes.
6. El tipo de sensores utilizados; es decir, ultrasónicos y fotoeléctricos, depende de la forma y tipo de construcción de los objetos que se quieran medir. Así pues, se puede escoger otra lógica de funcionamiento dependiendo del tipo de productos que se transportan.
7. Dado que el tiempo de respuesta de los sensores fotoeléctricos es amplio, 700 microsegundos, en comparación a la del microcontrolador que trabaja a 1MHz, podría ocasionar problemas de estados de incertidumbre en la lectura de los sensores. Una solución para este problema sería la implementación de un circuito comparador de ventana para el voltaje mínimo en el que el microcontrolador considera un '1' lógico en el puerto E/S en la etapa de acondicionamiento de las señales de cada sensor, si el voltaje es menor al mencionado se considera un '0' lógico, de lo contrario es un nivel alto. Una

segunda opción sería mediante programación, hacer que el microcontrolador verifique el estado de los pines conectados a los sensores cada 700us y modifique el valor de la entrada si es que ha ocurrido algún cambio.



BIBLIOGRAFIA

- [1] FEARE, Tom
2001 Cubing is hardly square. Modern Materials Handling. Estados Unidos, tomo 56, número 8; pp. 73-75
- [2] HOFFMAN, María
2011 “Cubing and Weighing”. Food Logistics. Estados Unidos, número 7, pp. 42-43
- [3] DEL CARMEN MASIAS, María
2011 Crece la logística, crecen los almacenes. Cargo Security. Lima, número 5, pp. 3-7
- [4] TRUNCK, Cristopher.
1996 “Get it first time with Dimensioning Systems”. Material Handling Management. Estados Unidos, número 23, pp. 53-56
- [5] AccusortSystems
2011 DM3500: Descripción y características
[Consultado el 06/10/12]
<http://www.accusort.com/products/dimensioners/dm3500.php>
- [6] Metler Toledo
2012 CSN910 FlexFlow: Descripción General y Características Detalladas
[Consultado el 06/10/2012]
http://es.mt.com/es/es/home/products/Transport_and_Logistics_Solutions/parcel_dimensioners_cargoscan/in_motion_dimensioning_weighing/CSN910_Dimensioner.html
- [7] Metler Toledo
2012 TLX MultiCapture: Descripción y Características
[Consultado el 06/10/2012]
http://us.mt.com/us/en/home/products/Transport_and_Logistics_Solutions/parcel_dimensioners_cargoscan/in_motion_dimensioning_weighing/CSN_Automatic_Dimensioner_TLX.html
- [8] Metler Toledo
2012 CSN210 MassFlow™: Descripción General y Características
[Consultado el 06/10/2012]
http://us.mt.com/dam/Cargoscan/Documents/csn210_datasheetfinalweb.pdf
- [9] Quantronix
2012 CubiScan 200-TS

[Consultado el 07/10/2012]

<http://www.cubiscan.com/wp>

[content/themes/cubiscan/pdf/english/CubiScan+200-TS.pdf](http://www.cubiscan.com/wp/content/themes/cubiscan/pdf/english/CubiScan+200-TS.pdf)

- [10] Quantronix
2012 ExpressCube: Descripción y características
[Consultado el 06/10/12]
<http://www.ntscales.com/pdf/bench-scales/express-cube-dimensioning-system.pdf>
- [11] Metler Toledo
2012 CSN810 TableTop™: Descripción General y Características
[Consultado el 06/10/2012]
http://es.mt.com/es/es/home/products/Transport_and_Logistics_Solutions/parcel_dimensioners_cargoscan/Static_dimensioning_weighing/CNS810_Dimensioner.html
- [12] NAPOLITANO, Maida
The Book on Koen's Weighing and Cubing System. Modern Materials Handling, 1999, vol. 54, no. 11. pp. 79-79
- [13] Anónimo
2007 "Dimensioning takes Shape". Logistics Today. Estados Unidos, tomo 48, número 6, pp. 47,48
- [14] PALLÁS ARENI, Ramón
2009 Sensores y acondicionadores de señal. Tercera Edición: Alfaomega.
- [15] Bannerengineering
2012 Banner's photoelectric tutorial page
[Consultado el 15/09/12]
http://www.bannerengineering.com/training/div_home.php?div=1
- [16] Chapman J, Stephen.
2000 "Máquinas Eléctricas". Editorial McGrawHill . 3era. Edición. México.
- [17] Mitsubishi Electric: Industrial Automation
2009 Variadores de frecuencia. Manual introductorio. [En línea]
[Fecha de consulta: Octubre de 2012]
<<http://www.gruposohanoc.com/pdf/mitsubishi/FR-E700-203605-manual.pdf>>
- [18] SANCHIS, Enrique
2002 Sistemas Electrónicos Digitales: Fundamentos y Diseño de Aplicaciones. Décimo Sexta Edición: Maite Simón.

- [19] ANGULO USATEGUI, José María y otros
2007 Electrónica Digital y Programable. Primera Edición: Paraninfo.
- [20] TOMASI, Wayne
2003 Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Cuarta Edición: Pearson Education.
- [21] CIMCO Integration
2012 Estándares de comunicación serie
[Consultado el 24/10/12]
http://www.cimco.com/docs/cimco_dnc-max/v6/es/#SerialComStandards
- [22] Wutcompany
2012 Sistemas de bus RS485, Interfaz RS232, Interfaz USB
[Consultado el 27/10/12]
<http://www.wut.de>
- [23] RE Smith
2012 The RS485 Communications Authority
[Consultado el 27/10/12]
<http://www.rs485.com/>
- [24] CANTO QUINTAL, Carlos E.
2012 El teclado Matricial
[Consultado el 24/10/12]
http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/microcontroladores/SLIDES_8051_PDF/20_MATRI.PDF
- [25] Densitron
2012 Dot Matrix LCD Character Modules
[Consultado el 06/10/12]
http://www.datsi.fi.upm.es/docencia/Micro_C/lcd/appnotes.pdf
- [26] Electronic Assembly
2012 Serial Graphic Display
[Consultado el 6/10/12]
<http://www.lcd-module.com/>
- [27] Siscode S.A.
Productos en división industrial: Fajas transportadoras de aluminio. [En línea]
[Fecha de consulta: Julio de 2013]
http://www.siscode.com/ind_fajas.html

- [28] PadmarajaYedamale.
“*Brushless DC (BLDC) Motor Fundamentals*”.Application Note AN885.
Microchip.
[Fecha de consulta: Abril de 2013]
<<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00885a.pdf>>
- [29] Reston Condir.
“*Brushed DC (BLDC) Motor Fundamentals*”.Application Note AN905.
Microchip.
[Fecha de consulta: Abril de 2013]
<<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00905B.pdf>>
- [30] Juanpere T, Roger.
“*Técnicas de control para motores brushless*”. Ingenia Motion Control.
España.
[Fecha de consulta: Abril de 2013]
<<http://www.ingeniamc.com/Es/-Control-techniques-for-brushless-motors.pdf>>
- [31] Muhammad H, Rashid.
2004 “*Electrónica de potencia: circuitos, dispositivos y aplicaciones*”. Pearson
Educación. 3era. Edición. México.
- [32] Pigazo López, Alberto y Moreno Sáiz, Víctor Manuel
2006 “*Sistemas electrónicos de potencia en buques*”. Textos universitarios.
Edición Universidad de Cantabria. España.
- [33] Free-Wheeling Diodes for Inductive-Load Switches in Motors and Relays
2010. Nota de aplicación. Diotec Semiconductor.
[Fecha de consulta: Mayo de 2013]
<http://diotec.com/tl_files/diotec/files/pdf/service/applications/freewheeling-diodes.pdf>
- [34] Dispositivos de Electrónica de Potencia
Departamento de Ingeniería Electrónica. Universidad Politécnica de Cataluña.
[Fecha de consulta: Julio de 2013]
<[http://tec.upc.es/el/TEMA-2%20EP%20\(v1\).pdf](http://tec.upc.es/el/TEMA-2%20EP%20(v1).pdf)>
- [35] Disipadores
Catálogo de productos estándar. AavidThermalloy.
[Fecha de consulta: Julio de 2013]
<<http://www.aavid.com/sites/default/files/products/boardlevel/aavid-standard-heatsinks.pdf>>

- [36] Bannerengineering
2012 Sensors - Technical Glossary
[Consultado el 15/09/12]
<<http://www.bannerengineering.com/training/glossary.php>>
- [37] Bannerengineering
2012 U-GAGE™ S18U Series Sensors with Analog Output
[Consultado el 12/09/12]
<<http://info.bannerengineering.com/xpedio/groups/public/documents/literature/110738.pdf>>
- [38] Sensor Intelligence
2012 DT20 Hi Distance Sensor
[Consultado el 28/08/12]
<<http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/0ab1/0900766b80ab1922.pdf>>
- [39] Bannerengineering
2012 WORLD-BEAM® Q12 Series Sensors
[Consultado el 12/09/12]
<http://info.bannerengineering.com/xpedio/groups/public/documents/literature/119223_web.pdf>
- [40] Pacific Silicon Sensor
2012 Sensor de Posición Fotodiodo AD230-8-TO52
[Consultado el 12/10/12]
<http://www.hy-line.de/fileadmin/hy-line/power/hersteller/Silicon_Sensor/dokumente/AD230-8_TO52S3.pdf>
- [41] Fairchild Semiconductor
2012 324/LM324A, LM2902/LM2902A Quad Operational Amplifier
[Consultado el 18/10/12]
<<https://www.fairchildsemi.com/ds/LM/LM324.pdf>>
- [42] Texas Instruments
2012 UA741, UA741Y GENERAL-PURPOSE OPERATIONAL AMPLIFIERS.
[Consultado el 18/10/12]
<<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ua741.pdf>>
- [43] Fairchild Semiconductor
2012 2N3904 / MMBT3904 / PZT3904 NPN General Purpose Amplifier
[Consultado el 18/10/12]

<<http://www.fairchildsemi.com/ds/2N/2N3904.pdf>>

- [44] Fairchild Semiconductor
2012 2N3906 / MMBT3906 / PZT3906 PNP General Purpose Amplifier
[Consultado el 18/10/12]
<<http://www.fairchildsemi.com/ds/2N/2N3906.pdf>>
- [45] Rohm
2012 Switching diode 1N4148 / 1N4150 / 1N4448 / 1N914B
[Consultado el 18/10/12]
<<http://www.oup.com/us/pdf/microcircuits/students/diode/1n914b-rohm.pdf>>
- [46] Texas Matrix Orbital
2012 *MOP-AL204A Parallel Display Specifications*
[Consultado el 02/10/12]
<<http://www.bipom.com/lcds/manuals/MOP-AL204A.pdf>>
- [47] XIAMEN OCULAR OPTICS CO
2012 *GDM12864HLCM (Liquid Crystal Display Module)*
[Consultado el 04/10/12]
<<http://users.ece.utexas.edu/~valvano/Datasheets/GDM12864H.pdf>>
- [48] Parallax
2012 4x4 Matrix Membrane Keypad
[Consultado el 22/09/12]
<<http://www.parallax.com/portals/0/downloads/docs/prod/hardware/27899-4x4MatrixMembraneKeypad-v1.0.pdf>>
- [49] Jialong Electron
2012 *Interruptor de pulsador modelo Kan-38*
[Consultado el 22/09/12]
<<http://spanish.alibaba.com/product-gs/kan-pushbutton-switch-890028454.html>>
- [50] Maxim Integrated
2012 *Low-Power, Slew-Rate-Limited RS-485/RS-422 Transceivers*
[Consultado el 04/11/12]
<<http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX1487-MAX491.pdf>>
- [51] Maxim Integrated
2012 *MAX220–MAX249 MAX220–MAX249 5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers*

[Consultado el 04/11/12]

<<http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX220-MAX249.pdf>>

- [52] *Zone-Tek (HK) Company Limited*
2012 *Conversor USB-RS232 (ZT-RS232B)*
[Consultado el 08/11/12]
<<http://cnzonetek.en.made-in-china.com/product/FqLJesgvfuhP/China-USB-to-RS232-Adapter-ZT-RS232B-.html>>
- [53] *Future Technology Devices International Ltd*
2012 *FT232R USB UART IC*
[Consultado el 05/11/12]
<http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232R.pdf>
- [54] *ATMEL*
2012 *8-bit Microcontroller with 16K Bytes In-System Programmable Flash ATmega16-ATmega16L de Atmel*
[Consultado el 05/11/12]
<<http://www.atmel.com/Images/doc2466.pdf>>
- [55] *Microchip*
2012 *PIC16F84A Data Sheet 18-pin Enhanced FLASH/EEPROM 8-bit Microcontroller*
[Consultado el 05/11/12]
<<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/35007b.pdf>>
- [56] *Official Journal of the European Union*
2004 *Directive 2004/108/EC of the European Parliament and of the Council.*
[Consultado el 05/11/12]
<<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:390:0024:0037:en:PDF>>
- [57] *Introduction to Power Supplies.*
2004. *Application Report. AN-556.Texas Instruments.*
[Fecha de consulta: Mayo de 2013]
<<http://www.ti.com/lit/an/snva006b/snva006b.pdf>>
- [58] *Linear and Switching Voltage Regulator Handbook.*
2002. *Handbook. HB206/D Rev.4.ON Semiconductor.*
[Fecha de consulta: Mayo de 2013]
<http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/HB206-D.pdf>

- [59] SWITCHMODE. Power Supply
2002. Reference Manual. Rev. 3B. ON Semiconductor.
[Fecha de consulta: Mayo de 2013]
<http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/SMPSRM-D.pdf>
- [60] Shade, O. H.
1943 “*Analysis of Rectifier Operation*”. Proceedings of the IRE. Vol.31, no.7,
pp.341,361. IEEEXplore. Digital Library.
[Fecha de consulta: Junio de 2013]
<<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1694774&isnumber=35697&tag=1>>
- [61] 3-Terminal Adjustable Regulator
2012 LM317 Datasheet. Texas Instruments.
[Fecha de consulta: Junio de 2013]
<<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm117.pdf>>
- [62] Hubert Biagi.
2000. *Heat sinking. TO-3 Thermal Model. Application Bulletin*. Texas Instruments.
[Fecha de consulta: Julio de 2013]
<<http://www.ti.com/lit/an/sboa021/sboa021.pdf>>
- [63] CHANG FU, Javier.
2013. Separatas del curso de Temas de Ingeniería Electrónica: “Temas Avanzados en Microprocesadores”
- [64] Microsoft
2013 Eventos y control de eventos para usuarios de Visual Basic 6.0
Consultado el [2013]
<[http://msdn.microsoft.com/es-es/library/fw640fe8\(v=vs.90\).aspx](http://msdn.microsoft.com/es-es/library/fw640fe8(v=vs.90).aspx)>
- [65] Hand Digital Tachometer.
Shimpo.DT-207B.Non-contact type (LED)
[Fecha de consulta: Julio de 2013]
<http://www.shimpointst.com/wp-content/uploads/2013/03/DT-207B_manual.pdf>

ANEXOS

(Disponible en disco compacto)

- Anexo N° 1** Capítulo 1: Tipos de sistemas actuales empleados en la medición de volumen
- Anexo N° 2** Capítulo 2: Marcas comerciales de sensores y microcontroladores.
- Anexo N° 3** Capítulo 3: Diseño y desarrollo del sistema propuesto.
- Anexo N° 4** Capítulo 4: Implementación y pruebas de funcionamiento.
- Anexo N° 5** Circuito esquemático del diseño del sistema completo.
- Anexo N° 6** Hojas de datos de los dispositivos usados.
- Anexo N° 7** Código del programa implementado.
- Anexo N° 8** Archivo ejecutable para la recepción de datos en una PC.