Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería en Electrónica

Sistema automatizado de medición del espesor de flux en el ensamble de microprocesadores.

Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura

Jose Ignacio Benavides Rojas

Cartago, Enero 2006

INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRONICA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

TRIBUNAL EVALUADOR

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal

Ing. Victorino Rojas M.

Profesor lector

Ing. Sergio Morales H.

Profesor lector

Ing. Pablo Alvarado M.

Profesor asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica

Cartago, 01 Febrero 2006

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, 01 Febrero 2006

Jose Ignacio Benavides Rojas

Cédula: 2 0568 0322

Resumen

En la fabricación de microprocesadores debe utilizarse una pasta llamada flux la cual libera de contaminantes los puntos de unión entre el dado de silicio y el sustrato, además de facilitar su conexión.

Para el control de calidad del proceso es necesario detectar si existe un faltante o exceso de flux aplicado sobre los sustratos, por lo que frecuentemente se le realizan mediciones de espesor. Estas mediciones deberían ser reportadas con datos verdaderos.

El método utilizado en la actualidad para la medición del espesor de flux no es confiable debido a que permite al operario manipular los datos obtenidos, realizar la medición en el lugar no adecuado o asignar valores sin ni siquiera adquirir los datos.

Es por lo anterior que surge este proyecto el cual pretende disminuir los procedimientos manuales de la verificación del espesor de flux, que permita realizar la tarea de la medición de una forma confiable.

Para ello, se propone desarrollar un control automático por medio de un motor y sensores que fije la posición para realizar la medición, y un sistema que permita adquirir los datos de la medición, los muestre a través de una interfaz gráfica, cree una base de datos y presente los resultados.

Palabras claves: Medición de espesor, GPIB, interfaz gráfica, control de posición, motor, potenciómetro, código de barras, LabVIEW, etapa de potencia, tarjeta de adquisición de datos, base de datos, amplificador operacional.

Abstract

In the manufacture of microprocessors it is used a paste called flux, this paste liberates the attach points between silicon die and substrate from polluting agents; besides to facilitate the connection.

To control the process quality it is necessary to measure the lack or excess of flux applied on substrates. These measurements should be reported with true data.

The method used at the present time for the measurement of the flux thickness is not reliable because it allows the operator to: manipulate the obtained data, make the measurement in the incorrect place or assign values without acquiring the data.

This project arises from the mentioned previously; it tries to diminish the manual procedures for flux thickness verification, allowing this measurement task to be done from a reliable method.

Proposal is to develop an automatic control tool that measures the flux thickness on one single-correct position by using a motor-sensor system and a software interface that acquires, process and stores each measurement in a database and finally shows the data in a graphical interface.

Keywords: Thickness measurement GPIB, graphical interface, position control, motor, potentiometer, bar code, LabVIEW, stage of power, data acquisition card, data base, op amp.

Dedicatoria

A papi y a mami ya que el logro alcanzado se debe principalmente al esfuerzo de ambos.

Agradecimiento

A todas las personas que han confiado en mí y me han animado para salir adelante. En especial

A mi padre Jose Manuel Benavides
A mi madre Carmencita Rojas
A mis hermanos Márilyn y Roy

INDICE GENERAL

Capítulo 1 Introducción 1
1.1 Problema existente e importancia de la solución 1
1.2 Solución seleccionada 10
Capítulo 2 Meta y Objetivo 16
2.1 Meta 16
2.2 Objetivo General 16
2.3 Objetivos Específicos 16
Capítulo 3 Marco teórico 17
3.1 Descripción del proceso a mejorar 17
3.2 Descripción de los principales principios físicos de software y electrónicos relacionados con la solución del problema 23
Capítulo 4 Procedimiento metodológico 35
4.1 Reconocimiento y definición del problema 35
4.2 Obtención y análisis de información 35
4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución 36
4.4 Implementación de la solución 36
4.5 Reevaluación y rediseño 37
Capítulo 5 Descripción detallada de la solución 38
5.1 Análisis de soluciones y selección final. 38
5.2 Descripción del hardware 49
5.3 Descripción del software 60
Capítulo 6 Resultados y Análisis 69
6.1 Comportamiento del sistema de control 69
6.2 Implementación del Hardware 72
6.3 Pruebas al sistema. 78
Capítulo 7 Conclusiones y recomendaciones 82
7.1 Conclusiones 82
7.2 Recomendaciones 83
Bibliografía 84
Apéndices 85
A.1 Glosario, abreviaturas y simbología 85
A.2 Manual de usuario 87
A.3 Información sobre la empresa/institución 101
Anexos 103
Anexo B.1 Fotografías del dispositivo medidor de espesor. 103
Anexo B.2 Comandos de Matlab 105
Anexo B.3 Hojas de datos 106

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.1 Vista transversal del sustrato y el dado.....1
Figura 1.1.2 Vista superior de una bandeja transportadora para 10 sustratos.....3
Figura 1.1.3 Dispositivo medidor de espesor. 3
Figura 1.1.4 Primera parte diagrama de flujo para la verificación del espesor de flux. 5
Figura 1.1.5 Continuación diagrama de flujo para la verificación del espesor de flux. .6
Figura 1.1.6 Diagrama de flujo de la forma en que el operario realiza la verificación del espesor de flux. 7
Figura 1.1.7 Efecto de programar la referencia del dispositivo medidor de espesor antes y después de imprimir el flux. 8
Figura 1.1.8 Efecto de realizar la medición sobre el centro y el borde de flux. 8
Figura 1.1.9 Ejemplos de desalineamiento del dado.....9
Figura 1.1.10 Ejemplo de mala conexión entre el dado y el sustrato. 9
Figura 1.2.1 Diagrama de bloques general de la solución. 10
Figura 1.2.2 Diagrama de bloque del *Sistema de Comunicación*.....14
Figura 1.2.3 Diagrama de bloque de *Sistema de Control de Posición.* 14
Figura 1.2.4 Diagrama de bloques de la etapa 3 de la solución. 15
Figura 3.1.1 Flujo del proceso de unión de chips.....17
Figura 3.1.2 Proceso de dispensado de flux. 18
Figura 3.1.3 Medidor de espesor sin contacto modelo CL-250. 18
Figura 3.1.4 Proceso de aplicación de pasta de soldadura.....19
Figura 3.1.5 Proceso de montaje de componentes pasivos.....19
Figura 3.1.6 Proceso de colocación del dado en el sustrato. 19
Figura 3.1.7 Proceso de fundición para la unión del dado al sustrato. 20
Figura 3.1.8 Sensor capacitivo para medir distancias. 21
Figura 3.1.9 Bandeja transportadora de 12 posiciones completado con cupones y sustratos.....22
Figura 3.2.1 Distribución de señales del puerto GPIB.....24
Figura 3.2.2 Diagrama de un sistema de control automático. 29
Figura 3.2.3 Localización de las raíces de la ecuación característica en el plano s...30
Figura 5.1.1 Diagrama de bloques del Sistema General.....39
Figura 5.1.2 Conector NI-GPIB-USB [4].....41
Figura 5.1.3 Diseño para fijar el cupón a la mesa corrediza del dispositivo medidor de espesor. 42
Figura 5.1.4 Comparación del grado de exactitud de posicionamiento entre el motor de corriente continua y el de paso a paso.....43
Figura 5.1.5 Sistema mecánico para mover automáticamente la mesa corrediza. 45
Figura 5.1.6 Potenciómetro de precisión utilizado como sensor de posición [7]. 45
Figura 5.1.7 Tarjeta de adquisición de datos [8]. 46
Figura 5.1.8 Identificación del cupón metálico por medio de sensores ópticos.....47
Figura 5.1.9 Código de matriz de puntos con la información Cupón 1. 48
Figura 5.1.10 Cámara lectora de códigos de matriz HE1515 y sus principales conexiones [9]. 48
Figura 5.2.1 Hardware empleado en el *Sistema de Comunicación*.....49
Figura 5.2.2 Hardware empleado en el *Sistema de Control de Posición*. 50

Figura 5.2.3 Diagrama de bloques de un control en lazo cerrado. 51
Figura 5.2.4 Cambios realizados a la mesa corrediza del dispositivo medidor de espesor. 52
Figura 5.2.5 Conexión del sensor de posición (potenciómetro). 52
Figura 5.2.6 Curva característica del potenciómetro utilizado. 53
Figura 5.2.7 Características entra/salida de circuito acondicionador de señales. 54
Figura 5.2.8 Circuito Sumador Inversor. 55
Figura 5.2.9 Amplificador inversor de ganancia igual a 1. 55
Figura 5.2.10 Circuito Acondicionador de Señales 56
Figura 5.2.11 Etapa de potencia. 57
Figura 5.2.12 Circuito Acondicionador de señales con Etapa de Potencia. 57
Figura 5.2.13 Fuente simétrica de ±9 voltios. 57
Figura 5.2.14 Diagrama de bloques de la señal de control. 58
Figura 5.2.15 Adaptación del motor a la mesa corrediza 58
Figura 5.2.16 Hardware empleado en el *Sistema Identificación del Cupón*. 59
Figura 5.3.1 Interfaz gráfica de la aplicación para ingresar la información del proceso. 60
Figura 5.3.2 Interfaz gráfica de la aplicación para realizar la medición de espesor. 61
Figura 5.3.3 Flujo de comandos enviados al dispositivo medidor. 62
Figura 5.3.4 Primera parte del diagrama de flujo del algoritmo del programa desarrollado para el proceso de verificación de flux. 63
Figura 5.3.5 Segunda parte del diagrama de flujo del algoritmo del programa desarrollado para el proceso de verificación de flux. 64
Figura 5.3.6 Comportamiento real del sistema de control en lazo cerrado ante una entrada escalón de 1.016785 V. 65
Figura 5.3.7 Área en el plano complejo de s donde se cumple con las especificaciones definidas sobre el diseño del controlador. 67
Figura 6.1.1 Respuesta ante un escalón de amplitud 1.016785 de la función de transferencia de la ecuación (5.3.4). 69
Figura 6.1.2 Respuesta al escalón del sistema de control de posición con controlador PD. 70
Figura 6.2.1 Foto del Sistema completo para le monitoreo de espesor de flux de forma más automatizada. 72
Figura 6.2.2 Conexión del dispositivo medidor de espesor con la computadora a través del cable GPIB-USB. 73
Figura 6.2.3 Modificaciones realizadas a la mesa corrediza. 74
Figura 6.2.4 Comportamiento teórico y experimental a la salida de la etapa de potencia ante diferentes voltajes de entrada. 75
Figura 6.2.5 Matriz de puntos impresa con láser sobre el cupón metálico para su identificación. 76
Figura 6.2.6 Instalación del lector de matriz de puntos. 77
Figura 6.3.1 Pantalla del programa desarrollado que muestra los resultados de las verificaciones realizadas de espesor de flux. 78
Figura A.2.1 Pantalla principal de la aplicación desarrollada. 87

Figura A.2.2 Ventana para el ingreso de la contraseña para tener acceso a opciones de menú restringidas. 89
Figura A.2.3 Mensaje de error al ingresar contraseña incorrecta. 89
Figura A.2.4 Ventana para ingreso de usuarios del sistema 89
Figura A.2.5 Ventana para borrar usuarios. 91
Figura A.2.6 Ventana para ingresar productos y sus parámetros. 91
Figura A.2.7 Ventana para borrar usuarios. 92
Figura A.2.8 Ventana para el ingreso de una nueva línea de producción. 92
Figura A.2.9 Ventana para borrar líneas de producción 93
Figura A.2.10 Ventana para el ingreso motivos para realizar la medición. 94
Figura A.2.11 Ventana para eliminar tipos de metos d verificación 94
Figura A.2.12 Diferentes configuraciones de la ventana en cargada de la calibración. 95
Figura A.2.13 Pantallas del proceso de verificación de la comunicación con el instrumento. 96
Figura A.2.14 Interfaz para el ingreso de la información del proceso. 97
Figura A.2.15 Botón de acceso a la captura de datos. 97
Figura A.2.16 Interfaz para captura de datos. 98
Figura A.2.17 Imagen después de captura de datos 98
Figura A.2.18 Sistema bloqueado mientras se imprime el flux 99
Figura A.2.19 Interfaz final del proceso de verificación de espesor de flux. 100
Figura B.1.1 Panel frontal del dispositivo medidor de espesor 103
Figura B.1.2 Parte trasera del dispositivo medidor de espesor. 103
Figura B.1.3 Base con los sensores y mesa corrediza del dispositivo medidor de espesor. 103
Figura B.1.4 Cupón metálico sobre la mesa corrediza. 104
Figura B.1.5 Posición correcta del cupón para realizar la medición. 104
Figura B.1.6 Vista del dispositivo medidor y la mesa corrediza. 104

INDICE DE TABLAS

Tabla 5.1.1 Opciones de interfaz entre el dispositivo medidor y la computadora.....40
Tabla 6.1.1 Especificaciones en el dominio del tiempo.....71
Tabla 6.2.1 Comportamiento del Circuito Acondicionador de Señales (CAS) con etapa de potencia y la fuente da alimentación. 75
Tabla 6.3.1 Datos obtenidos de 10 verificaciones de espesor de flux por medio del sistema desarrollado. 80
Tabla 6.3.2 Comparación entre los datos obtenidos por medio del método anterior y el nuevo sistema desarrollado.....80
Tabla 6.3.3 Mediciones del grosor de los cupones metálicos en el centro y a un lado. 81
Tabla 6.3.4 Mediciones de espesor sobre la capa de flux aplicada a sobre los cupones en el centro y en un borde del flux.....81
Tabla A.2.1 Descripción de las funciones del menú del programa.....88
Tabla A.2.2 Descripción de los campos de la interfaz para crear usuarios.....90
Tabla A.2.3 Descripción de los errores durante la creación de usuarios. 90
Tabla A.2.4 Descripción de los campos de la interfaz para crear productos.....91
Tabla A.2.5 Descripción de los mensajes durante ingreso de productos.....92
Tabla A.2.6 Descripción de los mensajes durante ingreso de líneas. 93
Tabla A.2.7 Descripción de los Errores durante la lectura del a marca de los cupones 100

Capítulo 1 Introducción

1.1 Problema existente e importancia de la solución

El microprocesador o unidad central de proceso (siglas en inglés CPU de Central Process Unit), es un circuito electrónico microscópico que interpreta y ejecuta instrucciones. Generalmente consta de un trozo de silicio que contiene millones de componentes electrónicos denominado *dado de silicio* (en inglés *die*).

Para aceptar órdenes del usuario, acceder a los datos y presentar los resultados, el microprocesador se conecta a los dispositivos de almacenamiento (como un disco duro), los dispositivos de entrada (teclado, ratón, etc.) y los dispositivos de salida (monitor, impresora, etc.).

Para la conexión mecánica y eléctrica del dado con los dispositivos externos se utiliza el sustrato orgánico, necesario debido a que las conexiones del dado son muy pequeñas (entre 60 y 70 µm). El sustrato permite ampliar las conexiones para que se ajusten a los demás componentes a los que se debe conectar el microprocesador. La figura 1.1.1 muestra una vista transversal del dado y el sustrato.

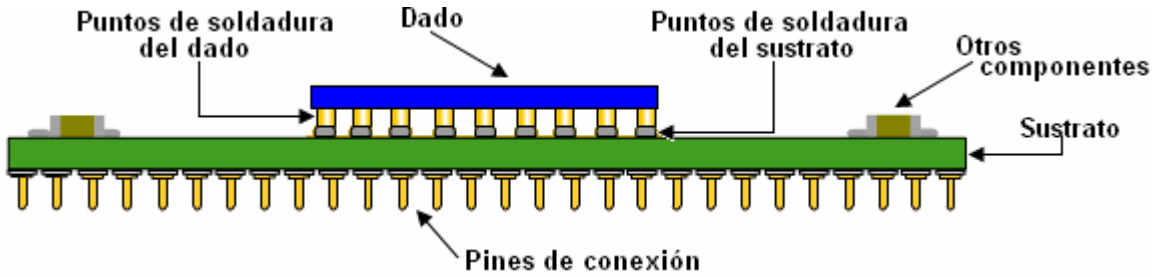


Figura 1.1.1 Vista transversal del sustrato y el dado.

En el ensamble de microprocesadores, para la unión del dado al sustrato se aplica una pasta fina llamada flux sobre el sustrato, en la parte donde se va a colocar el dado. El flux es un componente químico y físicamente activo que, cuando se calienta, promueve la adherencia de soldadura fundida a una superficie metálica, además limpia las superficies a unir y remueve los óxidos que puedan evitar una buena unión.

Las uniones (o conexiones) entre el sustrato y el dado se forman cuando los puntos de soldadura del sustrato se funden y se adhieren a los puntos de soldadura del dado. Los puntos de soldadura en el dado están hechos de una aleación de plomo (Pb) y estaño (Sn) que tiende a formar óxidos a temperatura ambiente. Estos óxidos impiden el proceso reflujo (donde los puntos de soldadura fundida del microprocesador fluyen hacia los pines del sustrato) al requerir una temperatura más alta para fundir la capa de óxido y la soldadura, lo que puede causar un contacto eléctrico deficiente, así como una mala conexión mecánica [1].

Al ser ligeramente ácido, el material del flux ataca y rompe los óxidos formados en la superficie de los puntos de soldadura. Al remover los óxidos, el flux activa las superficies de la soldadura, mejorando el efecto de afinidad de las superficies a la soldadura e incrementa la acción de adherencia durante la etapa de reflujo.

La viscosidad es otra propiedad importante del flux, ya que permite mantener el dado en la posición correcta durante la unión con el sustrato. La viscosidad es una medida de la fluidez (consistencia o espesor), disminuye (se hace más fluida) con el tiempo debido a la absorción de la humedad del aire. Al principio, el flux nuevo es más espeso y de alguna forma más difícil de controlar, por lo que la ejercitación del mismo es un método para volverlo más ralo, sin embargo, después de varias horas, el flux es demasiado ralo, lo que eventualmente hace que no sea utilizables en el proceso por lo que debe cambiarse [1].

Para garantizar el buen funcionamiento de esta fina pasta se realizan verificaciones del grosor (o espesor) de la capa de flux que es aplicada a los sustratos.

La verificación se realiza en determinados momentos del proceso, por ejemplo, después antes de utilizar flux nuevo, después de cierto tiempo de uso o de inactividad. Consiste de cuatro mediciones en las posiciones estratégicas de una bandeja de las que se utilizan para transportar los sustratos durante el ensamble del procesador (ver figura 1.1.2).

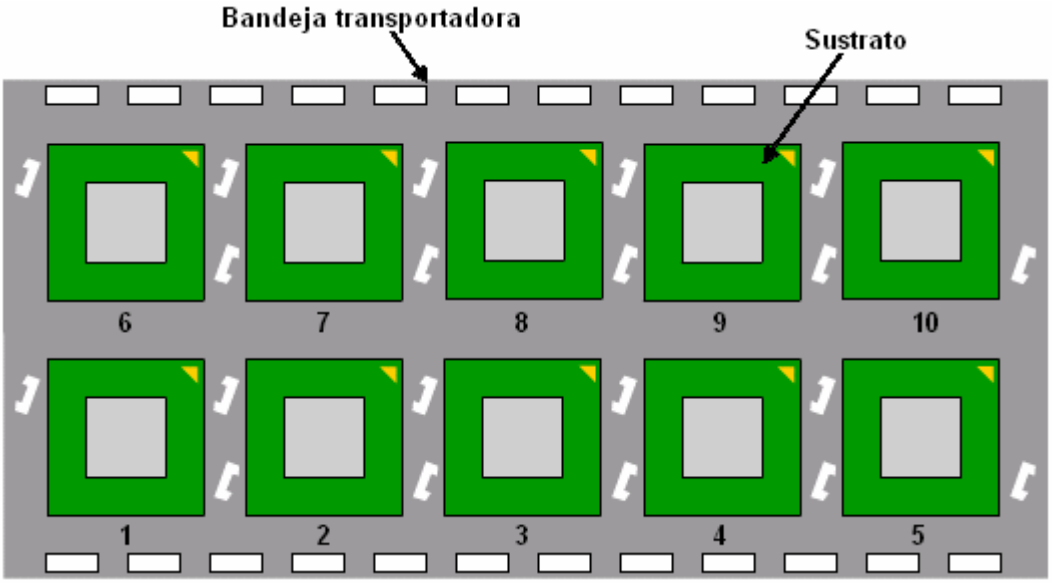


Figura 1.1.2 Vista superior de una bandeja transportadora para 10 sustratos**.**

Existen bandejas para 4, 8, 10 y 12 sustratos, la cantidad depende del producto, y las posiciones estratégicas para la medición del espesor de flux dependen de la bandeja, por ejemplo para una bandeja de 10 sustratos como la que muestra en la figura 1.1.2 las posiciones son la 2, 5, 6 y 9. Lo que se procura es cubrir toda la bandeja sin necesidad de tener que realizar la medición en todas las posiciones.

La medición de espesor de flux se realiza por medio de un dispositivo que calcula y muestra en una pantalla el espesor de un objeto o material que se coloca entre dos sensores de distancia conectados al dispositivo, posee una mesa corrediza que permite llevar el objeto a los sensores. La figura 1.1.3 muestra un dibujo de este dispositivo y en el anexo B.1 se presentan fotografías de este.

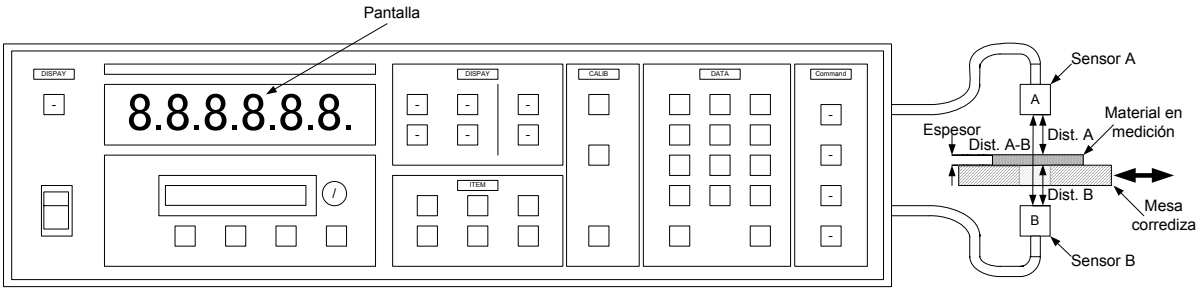


Figura 1.1.3 Dispositivo medidor de espesor.

Para la medición se utilizan unas piezas (llamadas cupones) metálicas con las mismas dimensiones de un sustrato. El objetivo de estos cupones es simular el sustrato pero con las superficies lisas para una mejor medición, pues las medidas son en milésimas de pulgada (mils) y cualquier irregularidad puede variar la medida, por lo tanto también se especifica que la medición siempre se dirija al centro del cupón en el lugar donde estará impreso el flux y que todo se encuentre completamente limpio.

Limpiar bien los cupones, la bandeja transportadora, los sensores y la mesa corrediza, colocar los cupones en la bandeja en las posiciones correspondientes y completar la bandeja con sustratos, son los pasos que inician el procedimiento de verificación de espesor de la capa de flux que es aplicada sobre los sustratos. Los pasos siguientes se describen más fácilmente a través del diagrama de flujo de la figura 1.1.4 y figura 1.1.5.

Este procedimiento esta sujeto a que se ejecute de mala manera lo cual lo hace no muy confiable. El diagrama de bloques de la figura 1.1.6 explica la forma en que por lo general se realiza la verificación de espesor.

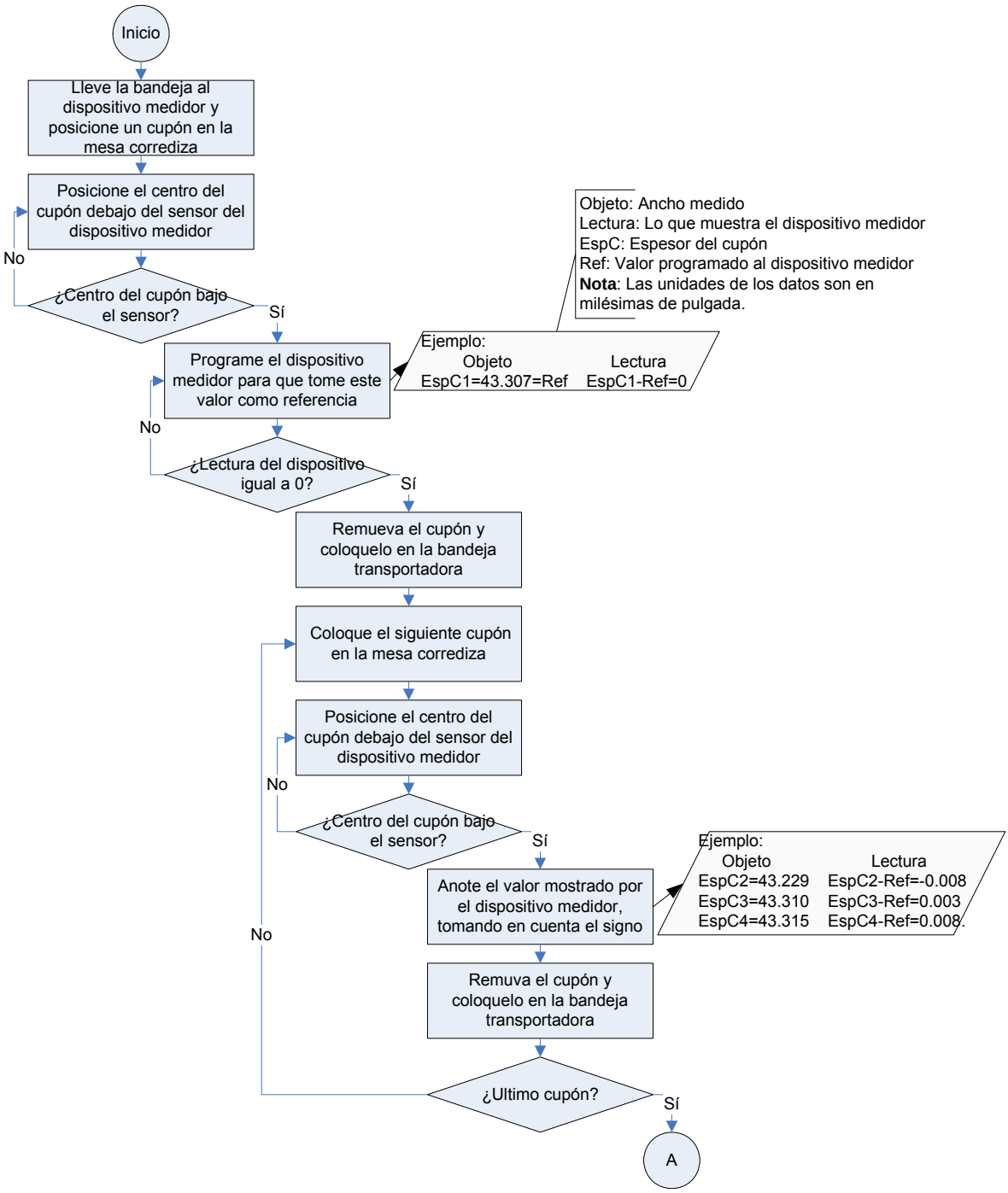


Figura 1.1.4 Primera parte diagrama de flujo para la verificación del espesor de flux.

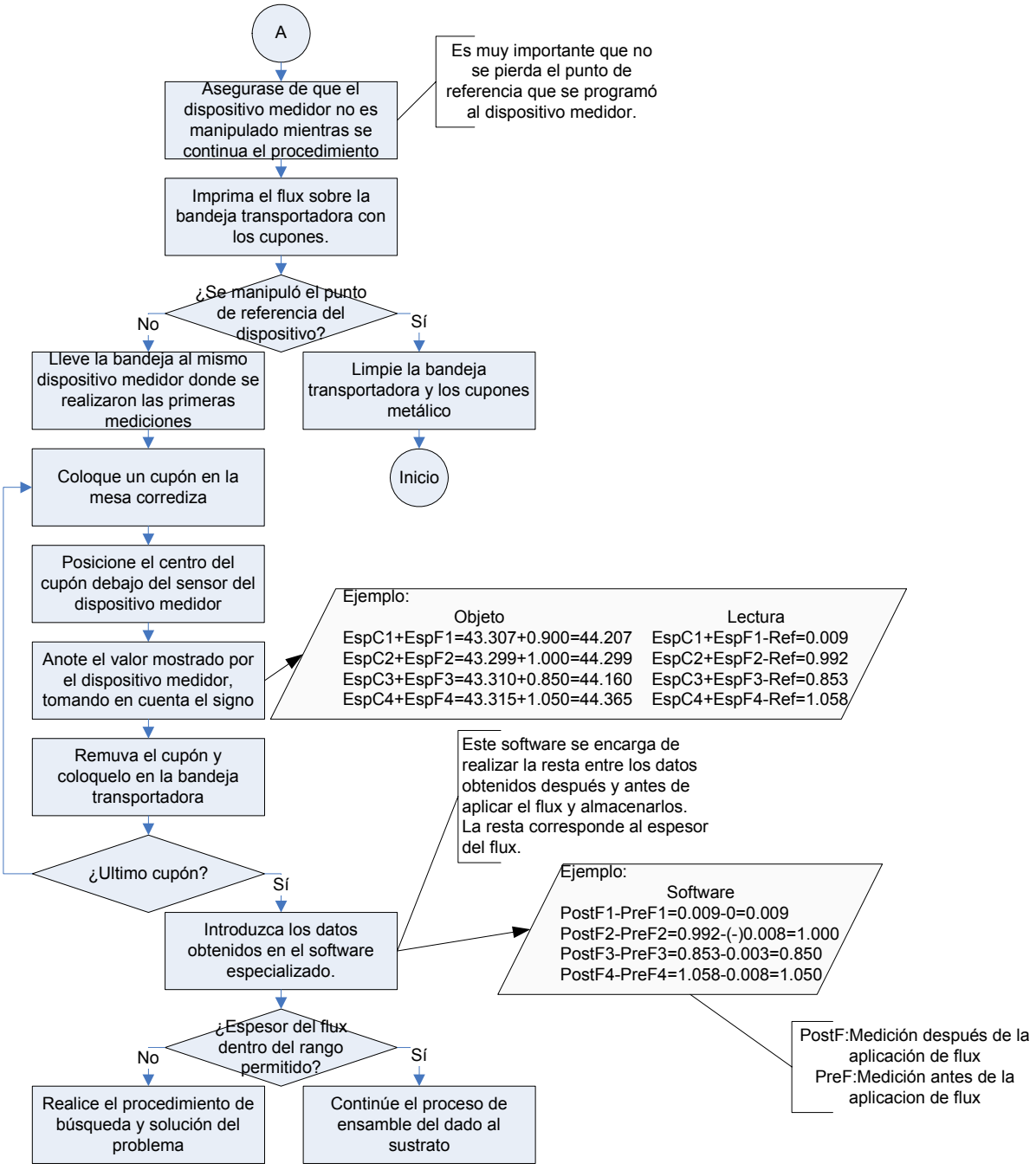


Figura 1.1.5 Continuación diagrama de flujo para la verificación del espesor de flux**.**

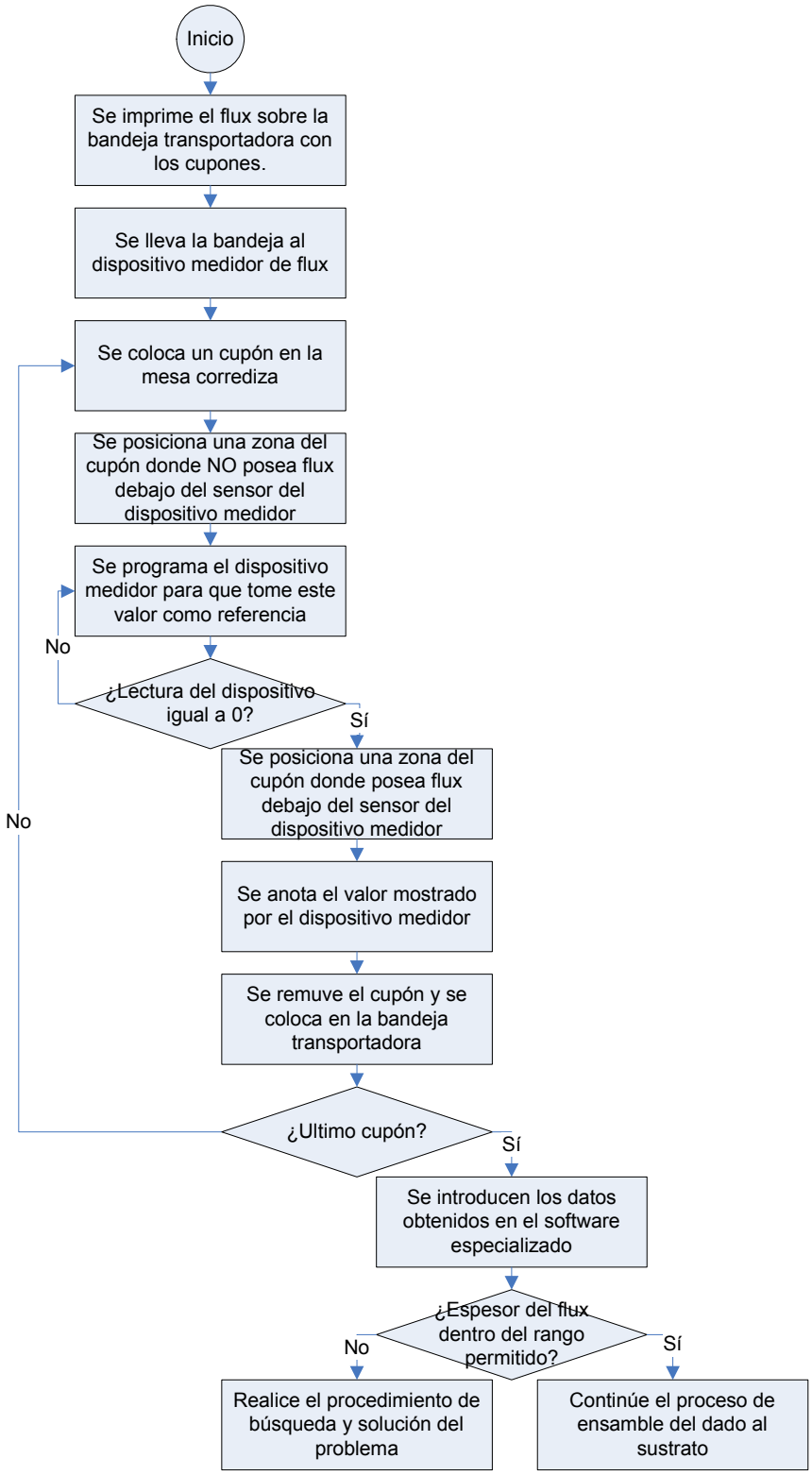


Figura 1.1.6 Diagrama de flujo de la forma en que el operario realiza la verificación del espesor de flux.

Los principales problemas que se han detectado de la forma en que los operarios realizan la verificación de espesor del flux se enumeran a continuación.

1. Se programa la referencia del dispositivo medidor en cada cupón después de aplicado el flux, sobre una zona donde no se aplica flux. El principal problema es que no se garantiza que el cupón sea completamente uniforme y debido a que las medidas son en milésimas de pulgada (mils) cualquier irregularidad en la superficie del cupón por más pequeña que sea puede variar la medición. Por eso es que se pide que la medición se haga siempre en el mismo sector del cupón (en el centro) por lo que la referencia se debe programar solo sobre el primer cupón y antes de aplicar el flux. La figura 1.1.7 muestra el efecto de programar la referencia del dispositivo medidor después de imprimir el flux.

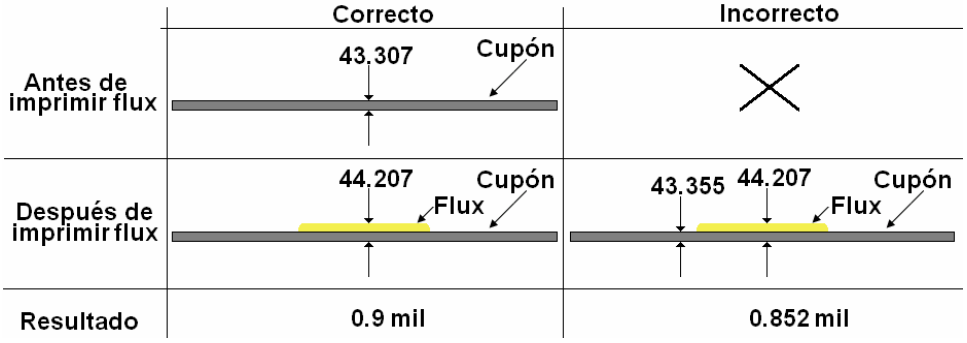


Figura 1.1.7 Efecto de programar la referencia del dispositivo medidor de espesor antes y después de imprimir el flux.

2. La medición sobre el flux se realiza en un lugar arbitrario con tal de obtener el valor requerido. Por lo general, hacia los bordes del flux aplicado el valor del espesor es mayor que en el punto central. La figura 1.1.8 ilustra el resultado de tomar la medición en el borde del flux.

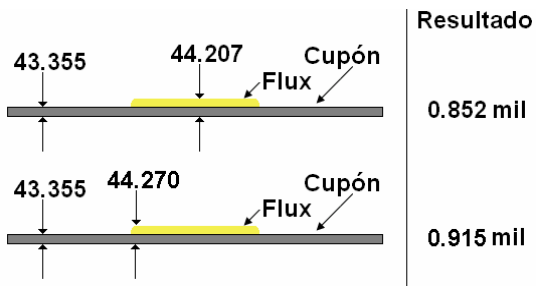


Figura 1.1.8 Efecto de realizar la medición sobre el centro y el borde de flux.

3. Se han detectado ocasiones en que el operario realiza la medición solamente sobre un cupón y asigna el mismo valor o uno parecido a los demás.

4. También se ha descubierto que se alteran (cambian) los datos brindados por el dispositivo de medición que se encuentran fuera del rango permitido, a la hora de ingresarlos al software.

Esta mala práctica a la hora de realizar la verificación del espesor de la capa de flux aplicado para la conexión del dado de silicio al sustrato, es la principal causa de pérdida de producto por desalineamiento del dado (ver figura 1.1.9), mala conexión entre el dado y el sustrato (ver figura 1.1.10) y/o corto circuito (debido a impurezas en la zona de conexión), todas debidas ya sea al exceso o falta de espesor de flux.

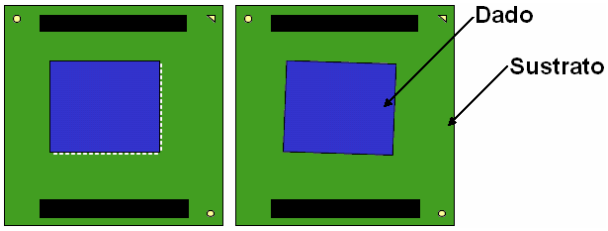


Figura 1.1.9 Ejemplos de desalineamiento del dado.

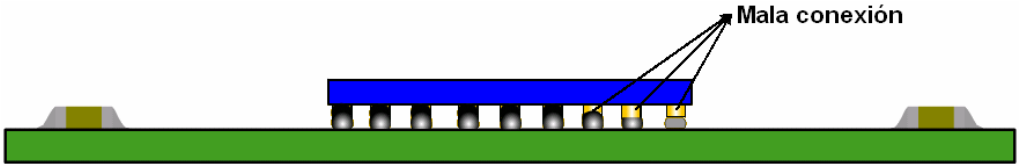


Figura 1.1.10 Ejemplo de mala conexión entre el dado y el sustrato.

Este proyecto pretende desarrollar un sistema que evite la manipulación de los datos y ejecute la medición de forma correcta.

Dentro de los beneficios que se derivan de resolver este problema están los siguientes:

1. Mayor confianza en el procedimiento de verificación de espesor de flux.
2. Disminución de las pérdidas de producto debidas al mal funcionamiento del flux.
3. Menor operación de los controles del dispositivo de medición.
4. Agilización del proceso de verificación.

1.2 Solución seleccionada

Debido a la importancia del flux en el ensamble de procesadores, se requiere que el proceso de verificación de espesor de la capa aplicada a los sustratos se ejecute de forma correcta y eficaz. Por tanto se pretende diseñar un sistema capaz de cumplir con las siguientes necesidades.

1. Proveer la información de una forma que pueda ser verificable y no manipulable.
2. Realizar la medición en el momento y lugar adecuado.
3. Efectuar la medición sobre los cuatro cupones.
4. Identificar cuándo los valores de la medición se encuentran fuera de rango.
5. Almacenar la información en archivos con un formato accesible para posterior análisis.

Para cumplir con los requerimientos anteriores y darle solución al problema actual del proceso de verificación, se desarrolla un sistema basado en una herramienta computacional diseñada mediante el lenguaje LabVIEW[1]. La figura 1.2.1 muestra el diagrama de bloques general de la solución.

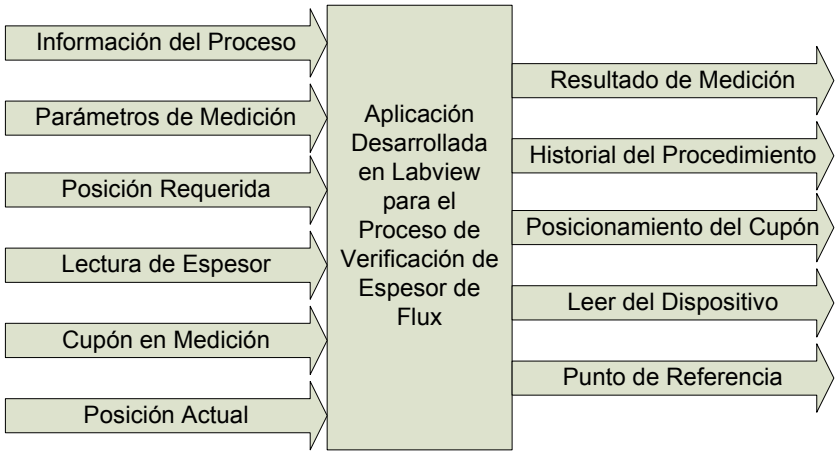


Figura 1.2.1 Diagrama de bloques general de la solución.

[1] Lenguaje de programación gráfica que utiliza iconos en vez de líneas de texto para crear aplicaciones [2].

Las entradas y salidas del sistema se explican a continuación.

Entradas:

Información del proceso:

Se refiere básicamente a las variables relacionadas al procedimiento de verificación tales como usuario encargado (nombre, número de identificación y turno), fecha, hora, lugar (línea de producción), producto y el motivo de la verificación.

El objetivo de introducir esta información es tener un mayor control del procedimiento, facilitar el análisis y entendimiento de los datos de espesor obtenidos y determinar el origen o la causa de algún problema concerniente al espesor del flux.

Previamente se introduce (por personal autorizado) en una base de datos las posibles opciones en cuanto a usuario, producto, línea y motivo de verificación. El usuario debe seleccionar la información correspondiente a través de una interfaz gráfica antes de proceder a realizar las mediciones de espesor.

Parámetros de medición:

Están directamente relacionados al producto, y se refieren al rango permitido para los valores del espesor del flux (límite superior e inferior).

Estos valores se utilizan para determinar si los datos obtenidos del espesor durante el proceso de verificación son los apropiados para continuar con el ensamble de procesadores.

Cuando se ingresa el producto a la base de datos se le asignan los respectivos parámetros de la medición. Así que una vez que el producto es seleccionado por el usuario como información del proceso, los parámetros de medición son introducidos automáticamente.

Lectura de espesor:

Es la lectura que realiza el dispositivo medidor de espesor la cual se envía a la aplicación por medio de una interfaz de comunicación adecuada entre el dispositivo

medidor y la computadora que conforma el *Sistema de Comunicación* que se explica más adelante.

Posición requerida:

Es la posición en la que se debe situar el cupón para capturar el dato de la medición de espesor, es decir cuando el centro del cupón se encuentra bajo los sensores del dispositivo medidor.

Es ingresada y ajustada por personal autorizado a través de la aplicación en LabVIEW y es parte del *Sistema de Control de Posición* el cual se explica más adelante.

Posición actual:

Se refiere a la señal que indica la posición en la que se encuentra el cupón en medición.

Cuando la posición actual es igual a la posición requerida significa que se puede realizar la medición de espesor. Esta señal se obtiene del *Sistema de Control de Posición.*

Cupón en medición:

Es una señal que indica cuál de los cuatro cupones que corresponde al proceso de verificación es el que se encuentra en medición.

Garantiza que la medición se realiza sobre los cuatro cupones y que existe correspondencia entre la medición anterior y posterior a la impresión del flux, en el momento de calcular el espesor.

Esta señal se genera a través del sistema denominado *Sistema Identificación de Cupón* el cual también se explica más adelante.

Salidas:

Resultado de Medición:

Una vez que se han ingresado las mediciones de espesor antes y después de imprimir el flux, el programa calcula automáticamente el espesor de la capa de flux, el promedio y la desviación estándar de estos y además indica si se encuentran dentro del rango permitido para continuar con el ensamble de procesadores.

Historial del procedimiento:

La aplicación almacena en una base de datos la información del proceso y los resultados de la medición y los muestra en forma de tabla y gráficas, facilitando algún tipo de investigación o análisis del caso.

Posicionamiento del cupón

Es una señal de control encargada del mecanismo que posiciona el cupón en el lugar correcto para la medición. Este mecanismo es la base del *Sistema de Control de Posición*.

Leer del dispositivo:

Es una serie de comandos que se envía automáticamente al dispositivo medidor para que envíe las lecturas de espesor hacia la computadora.

Al igual que la salida “punto de referencia”, esta forma parte del *Sistema de Comunicación*.

Punto de referencia:

Es la serie de comandos que se envían automáticamente al dispositivo medidor para programarle el punto de referencia en el momento adecuado.

Del sistema de la figura 1.2.1 conformado por la aplicación en LabVIEW, se derivan tres sistemas los cuales ya han sido mencionados anteriormente, estos son el *Sistema de Comunicación*, el *Sistema de Control de Posición* y el *Sistema Identificación de Cupón*. Seguidamente se hace una breve explicación de cada uno de estos y posteriormente en el capítulo 5 se explican con más detalle.

Sistema de Comunicación:

Cosiste en interconectar el dispositivo de medición a una computadora por medio de una interfaz de comunicación adecuada. En la figura 1.2.2 se muestra en diagrama de bloques el sistema.

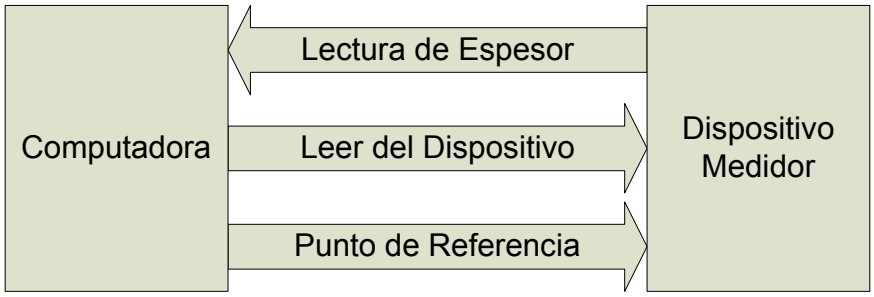


Figura 1.2.2 Diagrama de bloque del *Sistema de Comunicación*.

El objetivo de este sistema es tener control sobre el instrumento de medición y sobre todo capturar los datos de la medición

Sistema de Control de Posición:

Se basa en un sistema de control automático en lazo cerrado tal como se muestra en la figura 1.2.3.

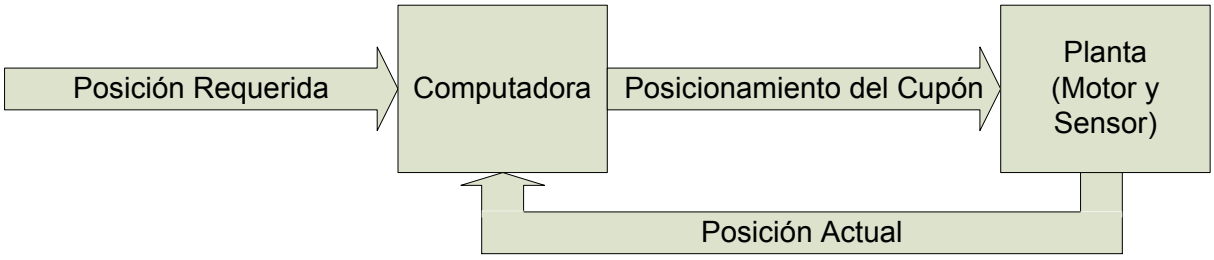


Figura 1.2.3 Diagrama de bloque de *Sistema de Control de Posición.*

Consiste de una nueva mesa corrediza que permite fijar el cupón, un motor acoplado a la mesa corrediza y un sensor que detecta la posición de la mesa. Su objetivo es tener control sobre la ubicación del cupón.

Sistema Identificación de Cupón:

Consiste en marcar los cupones y en un lector de la marca que envía la información hacia la computadora, en la figura 1.2.4 se ilustra en diagrama de bloques este sistema.

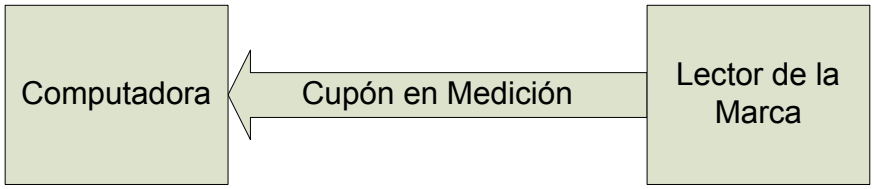


Figura 1.2.4 Diagrama de bloques de la etapa 3 de la solución.

A continuación se presenta en el capítulo 2 los objetivos que se pretenden alcanzar con el desarrollo del proyecto. En el capítulo 3 (Marco Teórico) se describe el proceso que se desea mejorar con el desarrollo de este proyecto así como los principales temas relacionados con la solución del problema tales como interfaces y software de comunicación y control automático. En el capítulo 4 se presenta el proceso metodológico seguido para llegar a la solución del problema. El capítulo 5 hace una explicación detallada del diseño de la solución implementada. En el capítulo 6 se presentan los resultados de la verificación del funcionamiento del sistema y el análisis correspondiente que evidencian el alcance de los objetivos y especificaciones planteadas. Finalmente en el capítulo 7 se incluyen las principales conclusiones, (beneficios o consecuencias) obtenidas como producto de la solución del problema resuelto mediante el proyecto.

Capítulo 2 Meta y Objetivo

2.1 Meta

Disminuir en un 50% las pérdidas de producto por falta o exceso de la capa de flux aplicada sobre el sustrato.

2.2 Objetivo General

Automatizar el proceso de verificación del espesor del flux para garantizar que los datos recolectados sean verídicos.

2.3 Objetivos Específicos

2.3.1 Objetivos de Hardware

Diseñar y realizar un sistema que permita comunicar el dispositivo de medición de espesor con la computadora.

Plantear e implementar un sistema para asegurar el posicionamiento del cupón en el lugar correcto para realizar la medición.

Desarrollar un sistema capaz de identificar el cupón metálico sobre el cual se realizará la verificación del espesor de flux.

2.3.2 Objetivos de Software

Crear un programa que capture, muestre y evalúe los datos de medición y la información general del proceso.

Desarrollar un programa que controle el sistema de posicionamiento del cupón.

Realizar un programa que controle el sistema de identificación del cupón.

2.3.3 Objetivos de documentación

Elaborar un manual sobre el manejo del sistema desarrollado.

Capítulo 3 Marco teórico

3.1 Descripción del proceso a mejorar

3.1.1 Proceso del Módulo de Unión de Chips (CAM)

Debido al tamaño tan pequeño (de 80 a 110 mm^2) de los microprocesadores, y por ende a lo diminuto de sus conectores (de 60 a 70 μm), se debe emplear un elemento que facilite el manejo de las señales para la integración de otros componentes.

El elemento empleado es el sustrato orgánico, el cual es una tableta diseñada para proveer conexiones mecánicas y eléctricas entre el dado de silicio del microprocesador y el panel de circuitos de la computadora.

El Módulo de Unión de Chips (siglas en inglés CAM de Chip Attach Module) es donde se une el dado al sustrato. La operación de este módulo consiste de tres operaciones principales: aplicación de flux, colocación del dado y adhesión del dado. Además, se encarga de colocar componentes pasivos como capacitores y resistencias a los productos que lo requieren. En este caso, se dan dos procesos adicionales que introducen la impresión de pasta de soldadura y la colocación de los componentes en el sustrato que rodean el dado.

Un ejemplo de los productos que requieren componentes pasivos son los microprocesadores para servidores, mientras que los que no los requieren se pueden mencionar los microprocesadores para computadoras portátiles y de escritorio.

La figura 3.1.1 muestra el flujo del proceso completo en la operación del módulo de unión de chips.

Figura 3.1.1 Flujo del proceso de unión de chips.

Una vez que los sustratos son colocados en las bandejas transportadoras se descargan por medio del sistema de manejo de materiales a la impresora de flux

para la impresión. Los rollos de cinta transportadora que sostienen el dado se cargan en la máquina que coloca el dado en el sustrato, y cuando se requieren componentes pasivos los rollos de cinta transportadora que sostienen estos componentes se cargan en la máquina encargada de su colocación.

El flux es dispensado a través de una placa metálica conocida como esténcil, con cortes con la forma del dado. Este se coloca sobre el substrato de tal manera que la parte de la impresora que distribuye el flux sobre el esténcil (squeegees) sólo aplica flux en el área del substrato en el que las unidades van a ser colocadas [3]. La figura 3.1.2 muestra este procedimiento.

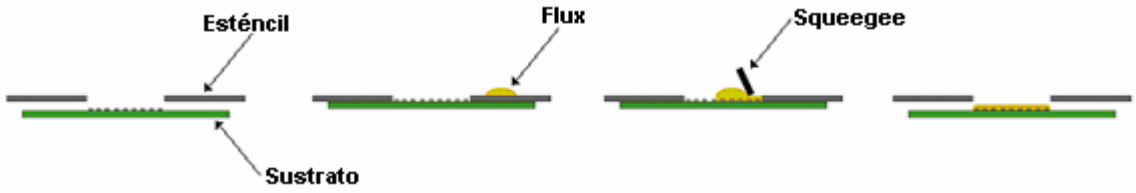


Figura 3.1.2 Proceso de dispensado de flux.

Después de un cambio de cartucho de flux, mantenimiento preventivo a la máquina (PM), cambio de producto, cambio de esténcil o cada vez que se enciende la máquina, se debe realizar una revisión del espesor de flux. Esta revisión se realiza con el medidor de espesor sin contacto como el que se observa en la figura 3.1.3.

Figura 3.1.3 Medidor de espesor sin contacto modelo CL-250.

Después del dispensado de flux, el sistema de transporte lleva los sustratos a la segunda impresora automática con esténcil para impresión de la pasta de soldadura.

Si el producto requiere de componentes pasivos, esta segunda impresora aplicará pasta de soldadura en los sustratos como lo muestra la figura 3.1.4. Sin embargo, si el producto no necesita componentes pasivos, la impresora de pasta se ajusta entonces para pasar solamente por el modo sin imprimir.

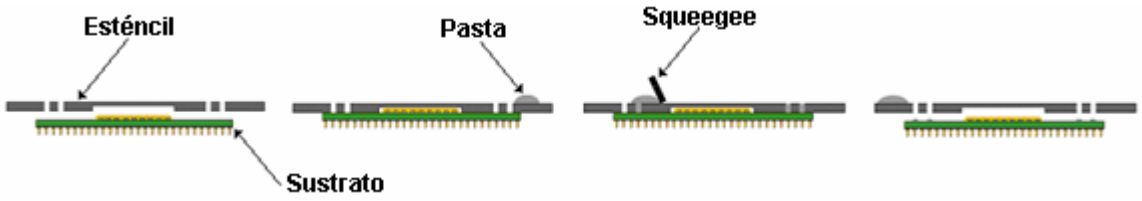


Figura 3.1.4 Proceso de aplicación de pasta de soldadura.

Seguidamente el sustrato se transporta hacia la herramienta encargada de colocar los componentes. Esta recoge los componentes pasivos que se encuentran en los rollos de cinta transportadora, verifica la alineación y el tamaño de los componentes, y compensa para permitir una colocación precisa en la orientación correcta sobre los pines de soldadura en el sustrato [3], como lo muestra la figura 3.1.5.

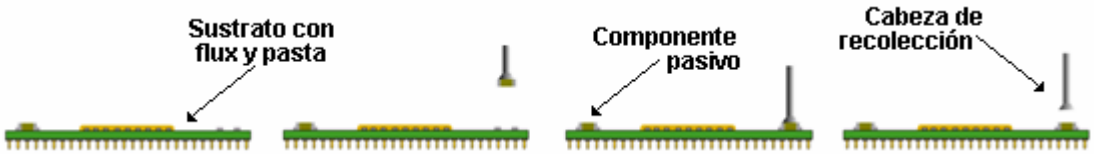


Figura 3.1.5 Proceso de montaje de componentes pasivos.

Igualmente, se lleva los sustratos a una máquina que posee cámaras para verificar que el dado esté alineado con el sustrato. Por medio de una cabeza de recolección se recoge el dado del rollo de cinta transportadora y se coloca en el substrato [3] como se observa en la figura 3.1.6.

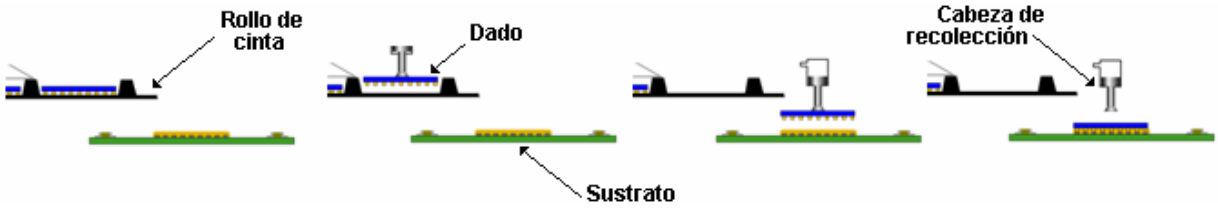


Figura 3.1.6 Proceso de colocación del dado en el sustrato.

Después de la colocación del dado en el sustrato, se pasa por un sistema de revisión por medio de cámaras conocido como DPCS (significado en inglés Die Placement Checking System), que vigila la colocación del dado para detectar unidades desalineadas [3].

Luego el dado y sustrato se llevan al horno de convección de reflujo, una faja lleva los materiales a través de las zonas de calentamiento y enfriamiento. Cuatro zonas de calor crean un perfil térmico que hace que los pines de soldadura del substrato refluyan con los puntos de soldadura del dado y se unan. Esto crea una conexión eléctrica entre el dado y el substrato. De la misma manera para el producto con componentes pasivos [3]. Este procedimiento se refleja en la figura 3.1.7.

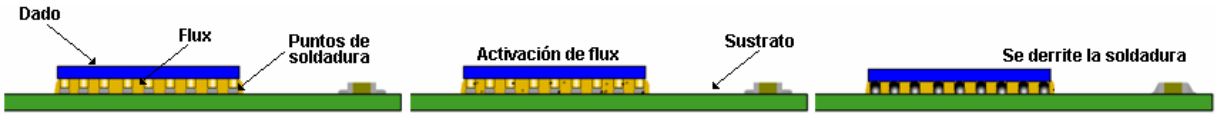


Figura 3.1.7 Proceso de fundición para la unión del dado al sustrato.

3.1.2 Medición de espesor de flux por medio del Ono-Sokki

Como se menciona en el capítulo 1, el flux es un material que se utiliza para la conexión del dado de silicio con el sustrato en la fabricación de procesadores. Debido a su característica de viscosidad se debe verificar cada cierto tiempo el espesor de la capa que se aplica sobre el sustrato para garantizar su buen funcionamiento.

El procedimiento que se emplea para la revisión se describe a continuación. Primero que todo se debe verificar que los sensores del dispositivo medidor tengan un espacio máximo de 1 milímetro con respecto al material a medir. Para lograrlo se debe centrar el cupón metálico entre los sensores superior e inferior como lo muestra la figura 3.1.8 [3].

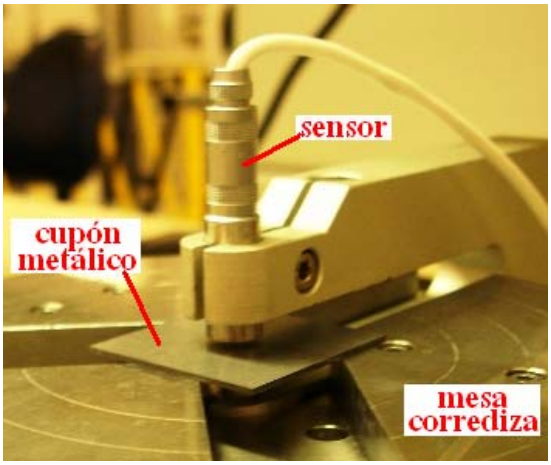


Figura 3.1.8 Sensor capacitivo para medir distancias.

Ya una vez ajustados los sensores se colocan los cupones y los sustratos sobre la bandeja transportadora en las posiciones correspondientes, ya establecidas para cada producto. La figura 3.1.9 muestra un ejemplo para bandejas de 12 posiciones donde los cupones se colocan en las posiciones 3, 6, 7 y 10 de la bandeja [3].

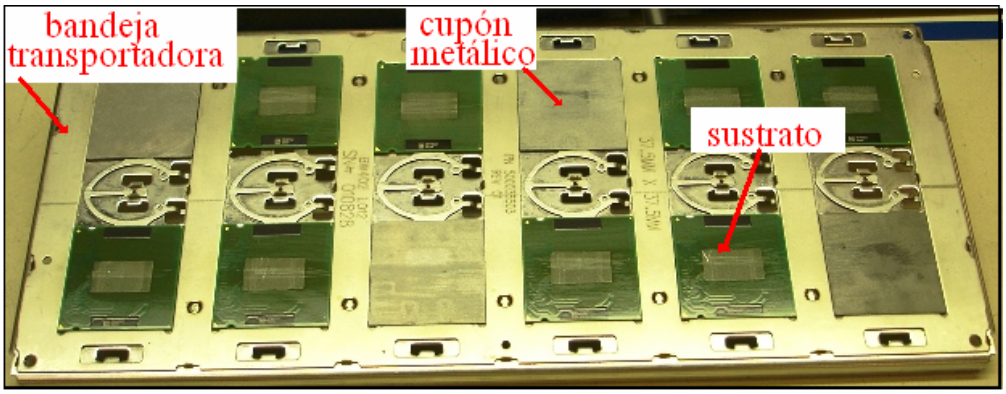


Figura 3.1.9 Bandeja transportadora de 12 posiciones completado con cupones y sustratos.

Después que se realiza la impresión de flux, se retira el cupón metálico, se limpia cuidadosamente la parte de abajo de este y se coloca en la mesa corrediza de la base de los sensores del dispositivo medidor de espesor, bien centrado entre los sensores.

La lectura del espesor del flux se observa en la pantalla del dispositivo medidor y los valores obtenidos se registran manualmente por el operario en una base de datos. Los datos registrados no deben ser modificados con respecto a los obtenidos del medidor de espesor, pues esto podría causar problemas en el proceso de ensamble, por ejemplo al registrar un valor que se encuentre dentro de los límites previamente establecidos cuando en realidad el valor obtenido se encontraba fuera de estos límites.

Solamente se puede continuar con el proceso de ensamble si los valores de espesor están dentro del rango permitido. Si estos se encuentran fuera del rango se debe completar un procedimiento extra de respuesta a la falla.

3.2 Descripción de los principales principios físicos de software y electrónicos relacionados con la solución del problema

Esta sección pretende introducir las características principales del dispositivo medidor de espesor en cuanto al puerto y la forma de comunicación, y estudiar las opciones de interfaces y software para conectase y tener control del dispositivo desde una computadora. Además se presentan algunos conocimientos básicos sobre control automático y posibilidades de equipo para sensar y controlar la posición de la mesa corrediza desde la computadora. También se estudian las diferentes formas de identificar los cupones.

3.2.1 Interfaces de comunicación

- *Bus de Interfaz de Propósito General (GPIB)*

El dispositivo medidor de espesor cuenta con el bus de interfaz de propósito general (siglas en inglés GPIB de General-Pourpose Interface Bus) como interfaz de comunicación estándar. Este fue desarrollado por Hewlett-Packard en 1965 donde obtuvo el nombre de HP-IB, sin embargo fue tanta su adopción en la industria que el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (en inglés IEEE, Institute of Electrical and Electronics Engineers) lo convirtió en el estándar 488, a partir del cual han surgido el 488.1 y el 488.2 donde las velocidades van desde 1.5 Mbytes/s hasta 8 Mbytes/s. Fue diseñado específicamente para la comunicación de instrumentos de medición, principalmente permite transferir los datos de la medición y tener un control remoto del dispositivo desde una computadora. Esto se logra mandando comandos propios a los instrumentos que estructuran las órdenes para que respondan a los pedidos realizados [4]. En la figura 3.2.1 se muestra la distribución eléctrica.

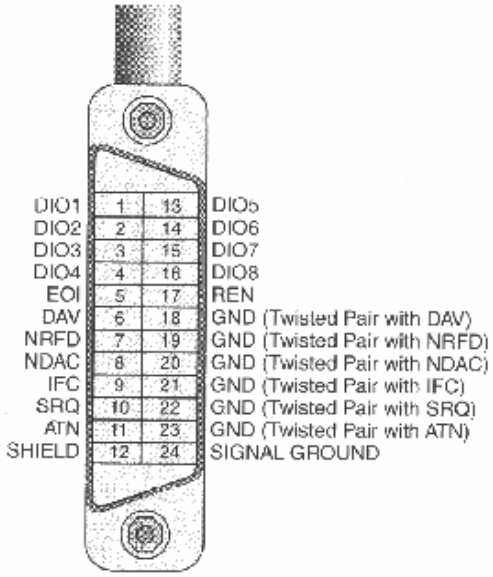


Figura 3.2.1 Distribución de señales del puerto GPIB.

Consta de 24 pines, repartidos de la siguiente forma:

- 8 líneas de transmisión de datos (DIO1-DIO8)
- 3 líneas para el control asíncrono de la comunicación (NRFD, NDAC y NRDAV). Mediante estas líneas se verifica la correcta transmisión de los datos.
- 5 líneas que gestionan la transmisión de comandos (ATN, IFC, REN, SRQ y EOI).
- El resto de pines componen las tierras de las diferentes líneas.

Para poder comunicarse con el dispositivo desde una computadora existen tarjetas de interfaz insertables para los buses tradicionales como el PCI [2]. Y además productos de enlace o controladores externos que permiten convertir de GPIB a otro tipo de bus como por ejemplo USB, Ethernet, RS-232 o FireWire,

[2] PCI de Peripheral Component Interconnect, es un bus local estándar en computadoras personales.

- *USB*

El puerto USB fue diseñado inicialmente para conectar dispositivos periféricos a la PC, tales como teclados, escáners, unidades de disco. Con el paso de los años, el número de dispositivos que incorporan la conectividad USB se ha incrementado dramáticamente en la industria de las computadoras.

Con la especificación USB 1.1, el rendimiento alcanza hasta los 1.5 Mbytes/s y con la especificación USB 2.0 se amplia el desempeño del bus hasta 60 Mbytes/s. Además, la especificación USB 2.0 asegura la compatibilidad con los dispositivos USB 1.1 e incluso utiliza el mismo conector. Debido a que USB es una tecnología de conectar y utilizar (plug & play), la computadora automáticamente detecta cuando un nuevo dispositivo ha sido agregado, obtiene su identificación y configura los manejadores (drivers) apropiadamente. Hasta 127 dispositivos se pueden conectar de manera concurrente en un puerto [4].

A pesar de que USB tiene muchos beneficios atractivos, existen algunas desventajas para su uso en el control de instrumentos. Primero, los cables USB no son para uso industrial, lo cual potencialmente permite pérdida de datos en ambientes ruidosos. Por otra parte, no existe un mecanismo de cierre para los cables USB, pueden ser desconectados de la PC o del instrumento relativamente fácil. La longitud máxima del cable en los sistemas USB es de 30 m, incluyendo el uso de repetidores. Finalmente, no hay un protocolo industrial diseñado para el control de instrumentos vía USB; esto requeriría implementación individual por parte del fabricante del instrumento.

A pesar de las desventajas de USB, la amplia disponibilidad de puertos en las computadoras de hoy en día y la alta velocidad con USB 2.0, hacen que sea considerado una opción para el control de instrumentos.

- *Ethernet*

A pesar de que Ethernet es nuevo en las aplicaciones de control de instrumentos, es una tecnología que es ampliamente utilizada para sistemas de medición.

Las aplicaciones de control de instrumentos con Ethernet pueden tomar ventajas de las características únicas del bus, las cuales incluyen control remoto, facilidad para compartir los instrumentos entre usuarios, y una fácil publicación de los datos obtenidos. Por otra parte, se puede tomar ventaja de las extensas redes Ethernet existentes en las compañías y laboratorios.

Otros factores a considerar al examinar Ethernet para el control de instrumentos, son la velocidad de transferencia y seguridad. La mayoría de las redes Ethernet de hoy en día son del tipo 10BaseT ó 100BaseTX, las cuales transmiten datos a 10 Mbytes/s ó 100 Mbytes/s respectivamente. Sin embargo, estas tasas de transferencia son teóricas debido a factores como: tráfico en la red, retrasos e ineficiencia en la transferencia de datos. Por otra parte, debido a la incertidumbre en las tasas de transferencia, no se puede asegurar un determinismo en la comunicación a través de Ethernet [4].

- *FireWire*

El estándar IEEE 1394-1995, también conocido como FireWire es un bus serial de alto desempeño originalmente desarrollado por Apple en los años 80. Actualmente, IEEE 1394 puede alcanzar velocidades de desempeño de hasta 50 Mbytes/s. La especificación 1394 señala que los dispositivos deben de estar dentro de 4.5 m del conector del bus y que hasta 16 dispositivos pueden ser conectados en serie con una longitud máxima de 72 m [4].

El bus 1394 tiene un gran potencial para aplicaciones de alta velocidad. El gran ancho de banda que involucra a las aplicaciones multimedia hace que 1394 sea una solución viable.

3.2.2 Software de comunicación

Para lograr comunicar y controlar el dispositivo medidor con una computadora se debe desarrollar un programa utilizando un lenguaje de programación adecuado que logre la comunicación entre dichos instrumentos. A continuación se mencionan algunos software empleados para la comunicación con GPIB.

- *Programas propietarios*

La primera alternativa, es el uso de software propietario desarrollado por los mismos fabricantes del instrumento.

La ventaja evidente de estos programas es que pueden ser empleados con solo conectar los instrumentos, y proporcionan las funciones más comunes que se puede realizar, sin necesidad de programar.

Las desventajas son también claras: por tratarse de software cerrado, sólo puede ser usado para la tarea para la que fue diseñado, y además son imposibles de integrar con otros programas.

- *LabVIEW*

Usando LabVIEW para las aplicaciones de medición y automatización se puede adquirir datos al conectarse con varios dispositivos, definir una aplicación para analizar o tomar decisiones en base a esos datos y después presentar los datos por medio de interfaces gráficas, páginas Web, archivos de bases de datos y más.

LabVIEW es un ambiente de desarrollo gráfico con funciones integradas para realizar adquisición de datos, control de instrumentos, análisis de mediciones y presentaciones de datos [2].

A diferencia de los lenguajes de propósito general posee herramientas para crear aplicaciones sin líneas de texto de código: se colocan objetos ya construidos para crear interfaces de usuario, después se especifica la funcionalidad del sistema armando diagramas de bloques. Esto permite construir los sistemas más rápidamente [2].

Permite la comunicación con hardware de medición, desde cualquier tipo de instrumento autónomo tales como GPIB, VXI, PXI, RS-232, Ethernet, USB, FireWire, dispositivos de adquisición de datos, controladores de movimiento y sistemas de adquisición de imágenes. Incluye funciones específicas para adquisición de datos, control de instrumentos, análisis de mediciones, presentación y guardado de datos.

- *Matlab*

Matlab fue en su origen un conjunto de rutinas para manipulación de matrices, pero ha evolucionado con el tiempo para convertirse en un entorno de programación de propósito general con potencia matemática y aplicabilidad en ciencia e ingeniería gracias a sus módulos de extensión de procesamiento de señales, control, ecuaciones diferenciales entre otros.

Recientemente, cuenta una línea de ampliación hacia la conexión de hardware con la computadora, distribuyendo módulos para el control de tarjetas de adquisición, generación de código y emulación de control remoto de computadoras para operación en tiempo real, adquisición de imágenes, etc.

3.2.3 Sistema de Control de Posición

Para colocar el cupón metálico en el lugar adecuado en el momento de la medición de espesor sin necesidad de intervención humana, se debe implementar un control automático por medio de sensores que detecten la posición y un motor que mueva la mesa corrediza del medidor de espesor sobre la cual se coloca el cupón. Además se debe desarrollar un compensador que permita ajustar el sistema de modo que logre un comportamiento dinámico deseado en cuanto al tiempo de estabilización y sobreimpulso, y un controlador estático adecuado esto en cuanto al error de estado estacionario y rechazo de perturbaciones.

Control Automático

El control automático permite alcanzar y mantener la posición deseada midiendo el valor de la posición actual del cupón por medio de sensores y comparándolo con el valor deseado.

La principal característica de un sistema de control automático es el lazo de realimentación ya que éste es el que permite comparar la salida del sistema con la entrada, con el fin de establecer una acción de control apropiada. La figura 3.2.2 muestra el esquema de un sistema de control.

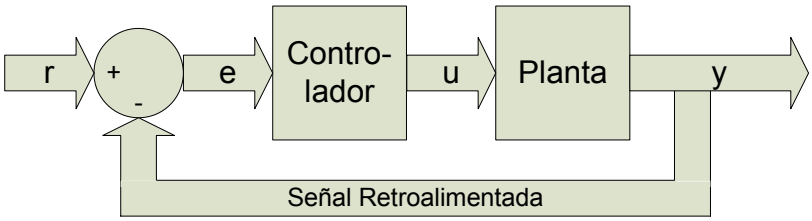


Figura 3.2.2 Diagrama de un sistema de control automático.

La señal de salida (y) es la variable que se desea controlar.

La señal de referencia (r) es la meta de la señal de salida.

La señal de error (e) es la diferencia entre la señal de salida y la de referencia.

La señal de control (u) es la que produce el controlador para lograr que la señal de salida alcance la de referencia.

Para el diseño de controladores es necesario conocer la función de transferencia de la planta a controlar, es decir la relación entre la entrada y salida del sistema en función de transformadas de Laplace (para sistemas continuos) o trasformadas zeta (para sistemas discretos).

Con la ayuda de herramientas computacionales y una tarjeta de adquisición de datos se puede calcular la función de transferencia alimentando el sistema con una entrada escalón y obteniendo la respuesta a la salida del sistema.

A partir de la respuesta al escalón se puede obtener las especificaciones en el dominio del tiempo que se define como [5]:

1. Tiempo de retardo (t_d): tiempo en el cual la respuesta al escalón va de 0 al 50% de su valor final
2. Tiempo de levantamiento (t_r): tiempo en el cual la respuesta al escalón va del 10 al 90% de su valor final.
3. Tiempo pico (t_p): tiempo en el cual la respuesta al escalón alcanza el valor máximo.
4. Tiempo de estabilización (t_s): tiempo en el cual la respuesta al escalón alcanza su estado estable.

5. Sobrepaso máximo (m_p): Es el valor máximo alcanzado por la respuesta al escalón tomando como base su valor en estado estable.

Un método que facilita el análisis de sistemas que utilizan motor de corriente continua es aproximar la función de transferencia a la de un sistema prototipo de segundo orden, lo cual generalmente ayuda al análisis de sistemas de orden superior. La función de transferencia en lazo abierto para este tipo de sistema prototipo es representada por la ecuación (3.2.1) [5].

$$G_p(s) = \frac{Y(s)}{E(s)} = \frac{(w_n)^2}{s^2 + 2\zeta w_n s} \tag{3.2.1}$$

Donde:

w_n =frecuencia natural no amortiguada.

ζ =Factor de amortiguamiento relativo.

La función de transferencia en lazo cerrado por consiguiente es:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{(w_n)^2}{s^2 + 2\zeta w_n s + (w_n)^2} \tag{3.2.2}$$

Las raíces de la ecuación característica de un sistema de segundo orden se pueden expresar como:

$$s_1, s_2 = -\zeta w_n \pm j w_n \sqrt{1-\zeta^2} \tag{3.2.3}$$

En la figura 3.2.3 se muestra la localización de las raíces de la ecuación característica en el plano s.

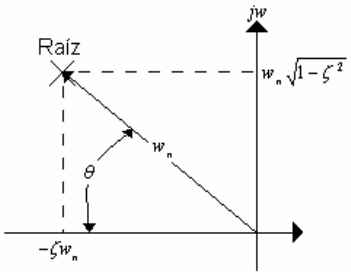


Figura 3.2.3 Localización de las raíces de la ecuación característica en el plano s.

Para el cálculo del factor de amortiguamiento relativo y de la frecuencia natural no amortiguada se parte de la relación con el sobrepaso máximo (m_p) y el tiempo pico (t_p) la cual se muestra en las ecuaciones siguientes:

$$m_p = e^{\frac{-\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}} \tag{3.2.4}$$

$$t_p = \frac{\pi}{w_n\sqrt{1-\zeta^2}} \tag{3.2.5}$$

De la ecuación (3.2.4) se despeja el ζ dando como resultado la ecuación (3.2.6), y una vez que se obtiene el factor de amortiguamiento se puede calcular w_n a partir de la ecuación (3.2.7) que resulta al despejar la ecuación (3.2.5).

$$\zeta = \sqrt{\frac{\left(\ln(m_p)\right)^2}{\pi^2 + \left(\ln(m_p)\right)^2}} \tag{3.2.6}$$

$$w_n = \frac{\pi}{t_p\sqrt{1-\zeta^2}} \tag{3.2.7}$$

Un sistema se puede clasificar con respecto al factor de amortiguamiento relativo como [5]:

1. Bajo amortiguamiento ($0 < \zeta < 1$)
2. Amortiguamiento crítico ($\zeta = 1$)
3. Sobre amortiguamiento ($\zeta > 1$)
4. No amortiguamiento ($\zeta > 0$)
5. Amortiguamiento negativo ($\zeta < 0$)

A partir de la función de transferencia se diseña el controlador que permita alcanzar las especificaciones deseadas en cuanto al sobrepaso máximo y tiempo de estabilización.

Existen varios tipos de controladores como son el proporcional (P), integral (I), derivativo (D) proporcional integral (PI), proporcional derivativo (PD) y proporcional integral derivativo (PID).

El control proporcional (P) es básicamente un amplificador con ganancia ajustable, la característica de este controlador es que al aumentarse la ganancia el sistema responde más rápido pero se hace más oscilatorio. La ecuación (3.2.8) muestra la relación entrada-salida de este tipo de controlador.

$$u(t) = K_p \cdot e(t) \tag{3.2.8}$$

K_p es la ganancia, u*(t)* en la señal de control en función del tiempo y *e(t)* es la señal de error del sistema en función del tiempo.

El controlador integral (I) hace que la señal de control varíe con respecto a la integral de la señal de error tal como se observa en (3.2.9).

$$u(t) = -k_i \cdot \int e(t)dt \tag{3.2.9}$$

k_i es la ganancia del control integral.

Este tipo de controlador tiende a eliminar el error de estado estacionario del sistema, pero con un dimensionamiento incorrecto puede causar inestabilidad.

El controlador con acción derivativa (D) disminuye las oscilaciones al anticiparse al error, pero no puede usarse solo ya que no responde a un error en estado estable. En la ecuación (3.2.10) se observa que la corrección es proporcional a la derivada de la señal de error.

$$u(t) = k_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \tag{3.2.10}$$

k_d es igual a la ganancia del control derivativo.

Los controladores PI, PD y PID son la combinación lineal de los controladores anteriormente mencionados (P, I y D) sus ecuaciones son la suma de las ecuaciones de las respectivas combinaciones.

Matlab es una herramienta computacional que facilita el análisis de sistemas de control, en el anexo B.2 se presentan algunos comandos empleados.

3.2.4 Sensores de posición

En los sistemas de control los sensores cumplen la función de convertir la variable física que se desea controlar en una magnitud eléctrica (voltaje, corriente, resistencia, etc.)

La variable a controlar en este proyecto es la posición del cupón metálico en la mesa corrediza del dispositivo medidor de espesor, para asegurar que se encuentre en el lugar correcto en el momento de la medición. A continuación se explican algunos tipos de sensores de posición que pueden ayudar para el desarrollo del proyecto [6].

El interruptor de límite es un dispositivo mecánico que utiliza contacto físico para detectar la presencia de un objeto. Sus ventajas son la capacidad para alta corriente y bajo costo. Las desventajas son que requiere de contacto físico con el objeto, son de respuesta muy lenta y producen rebotes.

El Sensor Inductivo está constituido por un circuito oscilador con alta frecuencia de resonancia, que crea un campo electromagnético para detectar la presencia de objetos metálicos. Cuando un metal entra al campo electromagnético causa una carga sobre el sensor atenuando la amplitud del campo electromagnético. La detección de dicha amplitud permite obtener la señal que indica la presencia o no del objeto. Las ventajas que presenta son la resistencia a ambientes agresivos, larga vida y fáciles de instalar, mientras que sus desventajas son que la distancia es limitada y solo se utiliza para sensar materiales metálicos.

El Sensor Capacitivo es similar al sensor de proximidad inductivo. La principal diferencia entre los dos tipos es que el capacitivo produce un campo electrostático en lugar de un campo electromagnético, por lo que puede detectar objetos no metálicos (como vidrio, cerámica, plástico, madera, agua, aceite, cartón, papel, etc.), pero su desventaja es que es muy sensible a cambios extremos del ambiente.

El Sensor Ultrasónico utiliza ondas sonoras para detectar la presencia de objetos. Cuando un objeto interrumpe el haz de sonido el nivel de recepción varia y el receptor lo detecta. La ventaja de este es que puede detectar todos los materiales, hasta transparentes. La desventaja es la sensibilidad al cambio de temperatura.

El Sensor Fotoeléctrico utiliza un rayo de luz modulado que es bloqueado o reflejado por un objeto. Sus ventajas son que sensa toda clase de materiales, posee larga vida, es inmune a perturbaciones electromagnéticas, la distancia de detección es grande, posee una alta velocidad de respuesta, identifica colores y detecta pequeños objetos.

El Potenciómetro lineal es un dispositivo que si en sus terminales fijas se aplica un voltaje producirá en su terminal variable un voltaje equivalente a su posición. Entre sus ventajas, se puede determinar la posición en cualquier momento es decir no solo detecta la presencia del objeto, es facilidad de implementar y el costo es muy bajo. Sin embargo requiere de contacto físico con el objeto.

Capítulo 4 Procedimiento metodológico

En este capítulo se describe la metodología empleada para el reconocimiento del problema y la implementación de la solución.

4.1 Reconocimiento y definición del problema

En una primera etapa para lograr la identificación exacta del problema se identificaron y analizaron las etapas del proceso de verificación de espesor del flux, considerando las tareas, los participantes y los insumos del proceso. Posteriormente, a través de entrevistas a los operarios del sistema actual, fue posible identificar las necesidades o problemas que éstos enfrentan y también las deficiencias del proceso. Dichas necesidades y deficiencias fueron validadas a través de pruebas con el fin de delimitar mejor el alcance y facilitar la definición de los requerimientos y restricciones del proyecto. Dichos requerimientos y limitaciones fueron especificados y revisados junto con los supervisores de la empresa.

4.2 Obtención y análisis de información

Como parte del desarrollo de la solución del proyecto se realizó adecuadamente un proceso de obtención y análisis de la información recolectada. El primer paso para llevar a cabo la obtención de los datos fue investigar el funcionamiento del dispositivo de medición mediante el manual de usuario del mismo. Posteriormente para el planteamiento de la solución y desarrollo del sistema fue necesario investigar sobre los métodos de análisis y evaluación del comportamiento de un sistema de control, además determinar las características que deben poseer las partes mecánicas del sistema y las modificaciones que se deben realizar a la estructura del dispositivo de medición para adaptar el sistema a implementar.

Para realizar la preparación del dispositivo de solución o sistema a implementar se llevaron a cabo experimentos para determinar el comportamiento real del sistema, determinar las características de la interfaz gráfica e investigar sobre los tipos de controladores y la forma como se implementan para obtener el comportamiento requerido del sistema. Además se hicieron investigaciones en Internet sobre las

opciones de dispositivos y software para el desarrollo del sistema y posteriormente consultar a expertos sobre la mejor opción de estos. Finalmente para hacer una selección de los materiales a utilizar se solicitaron cotizaciones a distribuidores y fabricantes y mediante un cuadro comparativo de los aspectos investigados se hizo la selección de la mejor alternativa.

4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución

En las etapas finales del proceso, para obtener una síntesis de la solución se analizó la información del cuadro comparativo para evaluar las alternativas investigadas tomando como parámetros de comparación el costo de la oferta, la capacidad del equipo y la facilidad de implementación. Para apoyar la decisión sobre la selección de la alternativa adecuada se hicieron consultas al personal correspondiente sobre la posibilidad de obtener el equipo y finalmente considerando esto y los criterios especificados se seleccionó la mejor opción.

4.4 Implementación de la solución

Una vez definida la mejor alternativa como solución inició el proceso de implementación de la misma, dicha implementación abarcó una serie de tareas a desarrollar. En un inicio del desarrollo del sistema se interconectó el dispositivo de medición de espesor a la computadora a través de una interfaz de comunicación, luego se desarrolló un programa que capturara y mostrara los datos obtenidos con el dispositivo de medición de espesor y otro que enviara comandos de instrucciones a éste dispositivo. Una de las funciones más importantes del sistema es el posicionamiento del cupón para la medición por lo que las tareas siguientes fueron diseñar el sistema de control de posición y el sistema identificador del cupón a implementar, coordinar la construcción e instalación de las partes mecánicas del sistema y calibrar el equipo para controlar la posición del cupón. Una vez construido el dispositivo se determinaron los algoritmos y se desarrolló el programa para el control de posición del cupón, posteriormente se hizo una comprobación del funcionamiento de dicho programa. En la parte final de la implementación del sistema

se instaló y calibró el equipo para la identificación del cupón medido. Luego para el almacenamiento de los datos se desarrolló un programa para que los datos de la medición se registren en el espacio correspondiente al cupón medido. Después de hacer la comprobación del funcionamiento del sistema se desarrolló la interfaz gráfica que controlara cada parte del sistema.

4.5 Reevaluación y rediseño

La última parte consistió en optimizar el sistema y realizar cambios a la interfaz gráfica según sugerencias de los operarios del sistema.

Capítulo 5 Descripción detallada de la solución

El sistema desarrollado para la corrección del problema que se presenta durante el proceso de verificación del espesor de flux, aplicado sobre los sustratos en el ensamble de procesadores, se explica con detalle en este capítulo, incluyendo los criterios de selección de cada uno de los módulos que componen la solución final y la descripción de la estructura y funcionamiento del hardware y software implementados.

5.1 Análisis de soluciones y selección final.

Para cumplir con los requerimientos establecidos se desarrolla un sistema que consiste en una unidad de control que se basa en un software de aplicación que administra el procedimiento de verificación en forma automatizada, desde una computadora. Este sistema se divide en tres módulos denominados *Sistema de Comunicación*, *Sistema de Control de Posición* y *Sistema Identificación de Cupón*. En la figura 5.1.1 se muestra en diagrama de bloques el sistema general a desarrollar.

La unidad de información es una interfaz de usuario donde el operario del sistema puede ingresar y obtener información sobre el proceso.

Para la selección del lenguaje de programación a utilizar en el desarrollo de la aplicación de la solución, se toma en cuenta la capacidad en la adquisición, control, análisis y presentación de datos, además que en el control de instrumentos exista la compatibilidad con el bus de comunicación del dispositivo medidor de espesor, el bus interfaz de propósito general (GPIB).

LabVIEW es el lenguaje de programación seleccionado ya que cumple con todos los requerimientos anteriormente mencionados y además el código que utiliza es familiar en ingeniería.

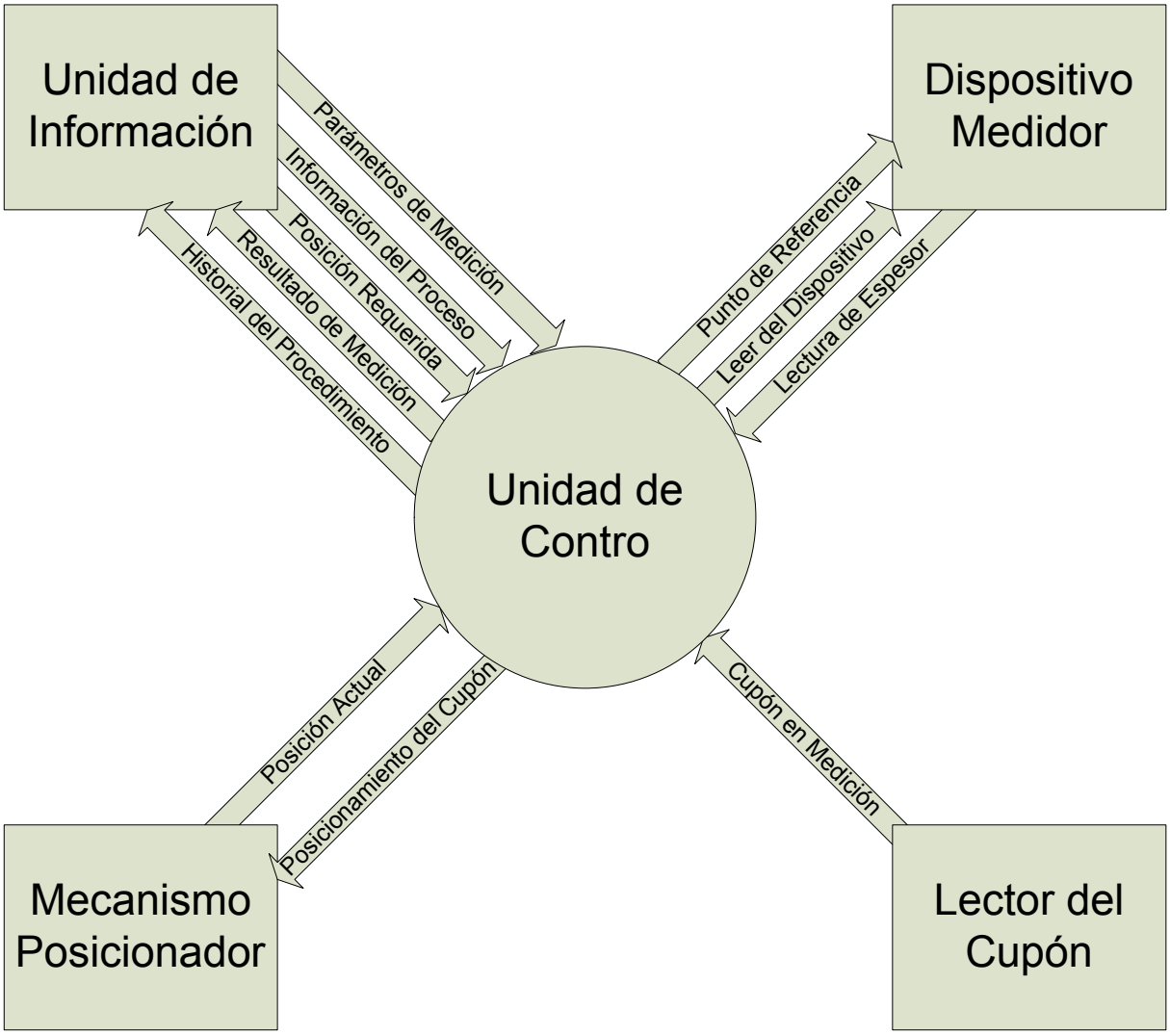


Figura 5.1.1 Diagrama de bloques del Sistema General.

Sistema de Comunicación

Este sistema se basa en una interfaz de comunicación que permite interconectar el dispositivo medidor de espesor a la computadora y una aplicación que maneja el flujo de datos y comandos que se envían al instrumento. Procura almacenar los datos obtenidos en la computadora para evitar la alteración del valor de la medición.

Como ya se ha mencionado el instrumento medidor en cuestión cuenta con el bus GPIB el cual fue diseñado específicamente para la comunicación de un ordenador con instrumentos electrónicos de medida.

La interfaz puede ser una tarjeta GPIB insertable en la computadora o algún tipo de controlador externo que utilice alguno de los puertos tradicionales (USB, serial paralelo, Ethernet, FireWire).

En la siguiente tabla se enlistan las opciones analizadas para la selección de la interfaz utilizada en el desarrollo del proyecto.

Tabla 5.1.1 Opciones de interfaz entre el dispositivo medidor y la computadora.

Convertidor	**Cable Adicional**	**Transferencia (Kbytes/s)**	**Precio ($)**
Tarjeta insertable	Cable GPIB	1500	850
GPIB-USB	No requiere	880	725
GPIB-Ethernet	Cable Ethernet Cable GPIB	900	1660
GPIB-FireWire (IEEE1394)	Cable GPIB	1500	1100
GPIB-Puerto Paralelo	Cable paralelo Cable GPIB	-	1180
GPIB-RS232/485	Cable serial Cable GPIB	38.4	1050

El GPIB-USB (figura 5.1.2) fue el convertidor seleccionado (la hoja de datos se presenta al final en el anexo B.3.1) principalmente por utilizar una de las nuevas tecnologías de bus (USB siglas en ingles de Universal Serial Bus) el cual está implementado en cualquier computadora moderna. Además, este tipo de convertidor no requiere de dispositivos alternativos para realizar la conexión entre el dispositivo y la PC, es fácil de instalar y usar ya que el sistema lo reconoce automáticamente, y su precio es relativamente bajo.

Por otra parte, en el sistema a instalar la distancia requerida del cable USB es máximo de 50 cm, el ambiente de trabajo donde se ubica no es muy ruidoso y gracias a que la computadora cuenta con seguro para las conexiones incluyendo para el puerto USB este no podrá ser fácilmente desconectado. Esto permite descartar las desventajas del puerto USB que se mencionan en el apartado 3.2.1 Interfaces de comunicación.

Figura 5.1.2 Conector NI-GPIB-USB [4].

Sistema de Control de Posición

El objetivo de este sistema es garantizar que el centro del cupón sobre el cual se está realizando la medición se encuentre debajo del sensor del dispositivo medidor de espesor en el momento de la captura del dato.

Inicialmente se propuso detectar por medio de sensores ambos lados del cupón colocado sobre la mesa corrediza del dispositivo medidor. Así cuando el operario coloca el cupón en la posición correcta los sensores generan una señal que indica que se puede capturar el dato del dispositivo medidor de espesor. Sin embargo se convertía en un sistema lento mientras el operario coloca el cupón en la posición requerida, y además no garantiza que se mantenga el cupón en posición en el momento que se está capturando la medición.

Es por eso que surge la idea de fijar el cupón a la mesa corrediza del dispositivo medidor y sensar la posición de la mesa, la cual solo tiene movimiento en un sentido. Esto aligeraría un poco más el sistema ya que el operario solo debe colocar y fijar el cupón sobre la mesa corrediza y moverla hasta la posición determinada por el sensor que detecta la mesa. Pero a pesar de que aligera el sistema aún no se garantiza la precisión de la posición a la hora de la medición.

Por lo tanto se decide agregar un sistema mecánico controlado que se encargue de llevar la mesa corrediza a la posición requerida.

El cupón se debe fijar a la mesa corrediza de tal forma que el centro del cupón se pueda colocar justo debajo del sensor del dispositivo medidor y que el operario no

pueda manipular la posición del cupón en el momento de la captura del dato, además se debe tomar en cuenta que existen diferentes tamaños de cupones. La figura 5.1.3 muestra el diseño seleccionado el cual consiste de placas metálicas con un boquete del tamaño del cupón. Estas placas son fácilmente removibles y se fijan a la mesa corrediza por medio de unos pines y agujeros.

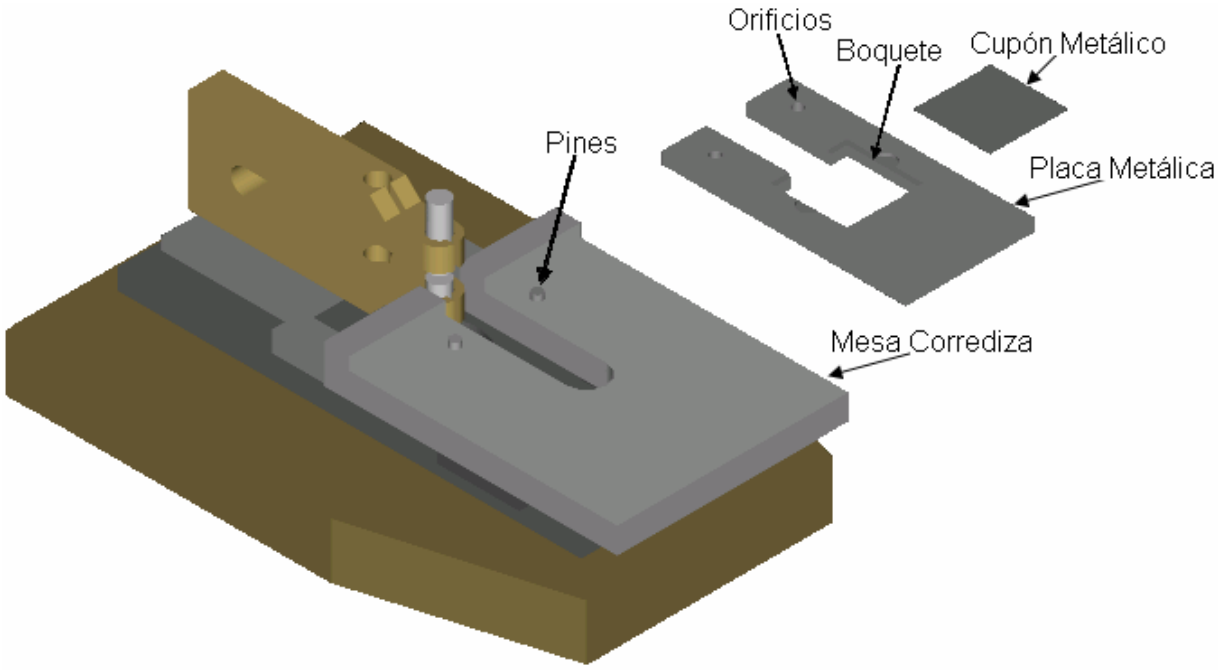


Figura 5.1.3 Diseño para fijar el cupón a la mesa corrediza del dispositivo medidor de espesor.

Para el sistema mecánico se analizó la opción de fijar un motor de corriente continua (CC) o uno paso a paso a la mesa corrediza ya sea por medio de un tornillo sin fin o por medio de fajas y poleas.

Para la selección del motor se analizó principalmente el grado de exactitud de posicionamiento debido a la necesidad de situar el cupón en un lugar muy específico que permita realizar la medición de espesor exactamente en el centro del cupón; la capacidad de regulación de velocidad para que este sea un sistema rápido pero que conforme se va acercando a la posición requerida la velocidad vaya disminuyendo para lograr una mayor estabilidad o evitar sobreimpulsos; la facilidad de inversión del

sentido de giro debido a que la mesa corrediza debe estar constantemente entrando y saliendo.

En cuanto al grado de exactitud de posicionamiento el tipo de motor paso a paso tiene la desventaja que depende del tamaño del paso, ya que puede que el último paso para lograr la posición deseada la sobrepase y que un paso anterior no la alcance, y aunque es posible disminuir el tamaño del paso para ello es necesario aumentar el número de bobinas del estator lo que aumenta el costo y disminuye considerablemente el rendimiento del motor.

Por su lado el motor de corriente continua comprende todas las posiciones ya que va avanzando linealmente y por medio de un control de velocidad se puede alcanzar la posición deseada simplemente des-energizando el motor. En la figura 5.1.4 se ilustra esta ventaja del motor de corriente continua con respecto a un motor paso a paso.

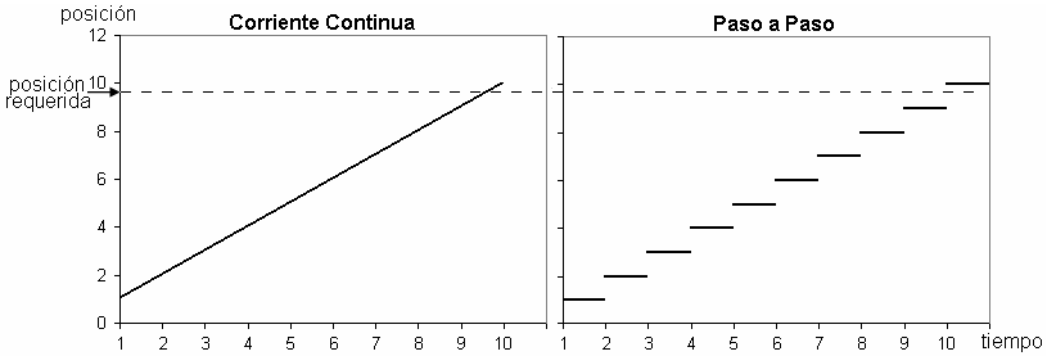


Figura 5.1.4 Comparación del grado de exactitud de posicionamiento entre el motor de corriente continua y el de paso a paso.

Tanto el motor paso a paso como el de corriente continua son útiles cuando es necesario regular la velocidad. Sin embargo el de corriente continua se simplifica por el hecho de que la velocidad desarrollada es proporcional al voltaje aplicado es decir que para controlar la velocidad simplemente se debe de controlar la tensión aplicada y a mayor tensión, mayor corriente y mayor par del motor. Por otro lado el motor paso a paso depende de la frecuencia de excitación de sus bobinas, y cuando aumenta la velocidad de giro se produce un aumento de la fuerza electromagnética generada y por consecuencia una disminución de la corriente absorbida por los bobinados del estator lo que disminuye el par motor.

En cuanto al cambio del sentido de giro para un motor de corriente continua consiste simplemente en invertir la polaridad de la tensión aplicada a sus bornes y para un paso a paso se debe aplicar una secuencia inversa a la secuencia de excitación.

Para el proyecto se utiliza un motor de corriente continua con el cual cuenta la empresa. La información sobre este se encuentra en el anexo B.3.2.

Para acoplar el motor a la mesa corrediza se utiliza el juego de poleas y faja tal como lo muestra la figura 5.1.5, principalmente debido a que una faja puede ceder hasta reventarse ante un desajuste o problema con la planta, en cambio un tornillo sin fin además puede dañar otras partes de la planta como el motor o los acoples.

Para sensar la posición de la mesa corrediza y en consecuencia del cupón metálico, después de analizar desde sistemas de visión, sensores ópticos, láser, inductivos, capacitivos, fibra óptica, entre otros se concluyó utilizar un potenciómetro acoplado al eje del motor (ver figura 5.1.5), principalmente por la facilidad de implementación ya que consiste simplemente en alimentar con un voltaje las terminales fijas y en la terminal móvil se producirá un voltaje proporcional a la posición; y además por su bajo costo.

Para garantizar que el incremento o decremento de voltaje dado por la terminal variable del potenciómetro sea proporcional a la variación de la posición de la mesa corrediza, el potenciómetro debe tener un comportamiento lineal. Además debido a que el motor da varios giros para completar la carrera de la mesa corrediza, el potenciómetro debe ser de rotación continua.

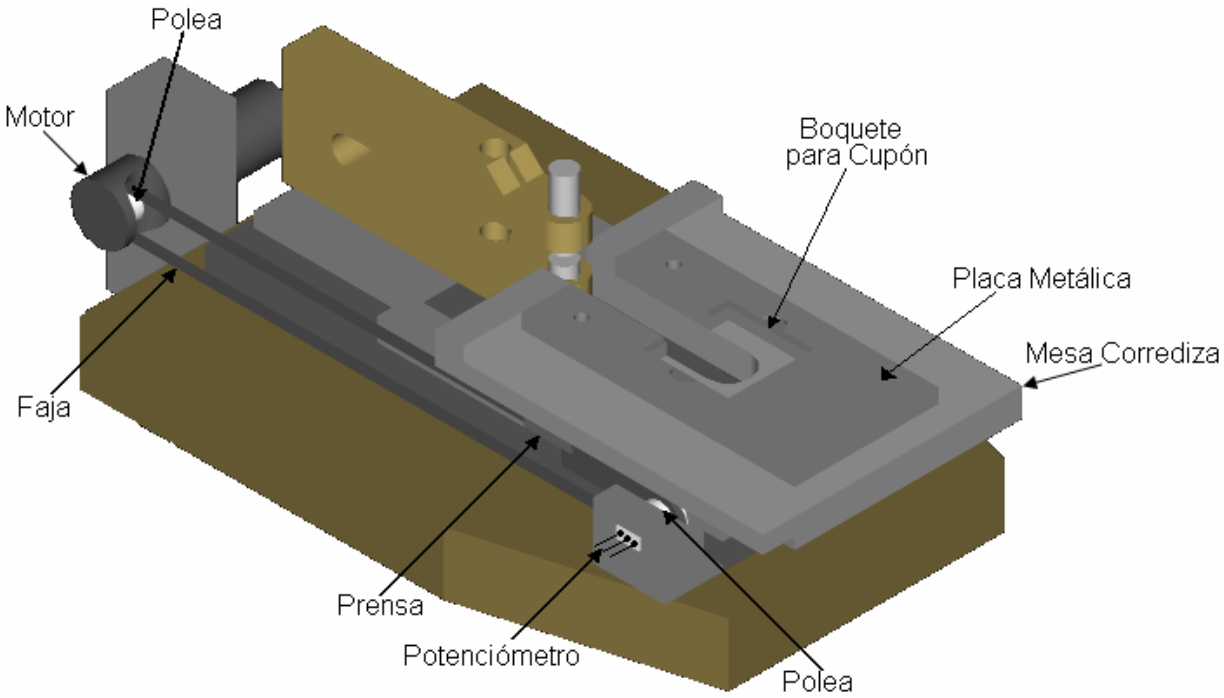


Figura 5.1.5 Sistema mecánico para mover automáticamente la mesa corrediza.

El potenciómetro seleccionado se observa en la figura 5.1.6. Este es de rotación continua, lineal y de 100kΩ de resistencia, en el anexo B.3.4 se encuentra la hoja de datos respectiva.

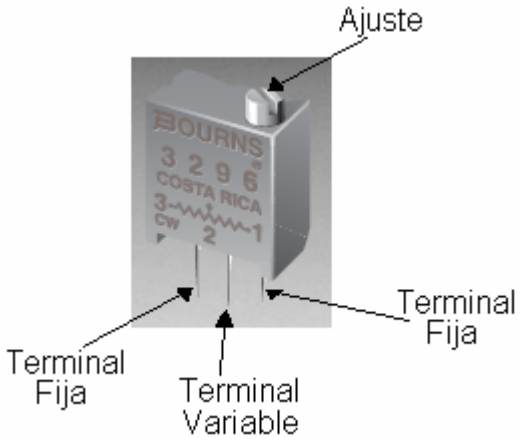


Figura 5.1.6 Potenciómetro de precisión utilizado como sensor de posición [7].

Como el control del sistema se pretende hacer por medio del programa en LabVIEW desde la computadora, es necesario un convertidor analógico-digital que permita llevar la señal del sensor de posición (potenciómetro) a la computadora y a la vez un convertidor digital-analógico que permita enviar la señal de control hacia el motor desde la computadora. El dispositivo que se muestra en la figura 5.1.7 fue el adoptado, este es una tarjeta de adquisición de datos que cuenta con al menos una salida analógica y una entrada analógica. Este dispositivo es muy fácil de instalar ya que es externo, es decir, no es necesario insertarlo dentro de la computadora sino que se conecta por medio del puerto USB. Además, es compatible con el lenguaje de programación a utilizar (LabVIEW) lo que facilita su programación. Las especificaciones de esta tarjeta USB-6608 se encuentran en el anexo B.3.5.

Figura 5.1.7 Tarjeta de adquisición de datos [8].

Sistema Identificación del Cupón

Este sistema pretende que se realice la lectura de espesor sobre los cuatro cupones y además que durante el cálculo de espeso de flux (la resta de la lectura antes a la lectura después de aplicar el flux) los datos correspondan al mismo cupón.

La propuesta inicial consistía en agujerear los cupones cada uno con una configuración diferente y por medio de sensores de fibra óptica (transmisor-receptor) detectar la existencia o no del agujero (ver figura 5.1.8) determinándose el cupón en medición.

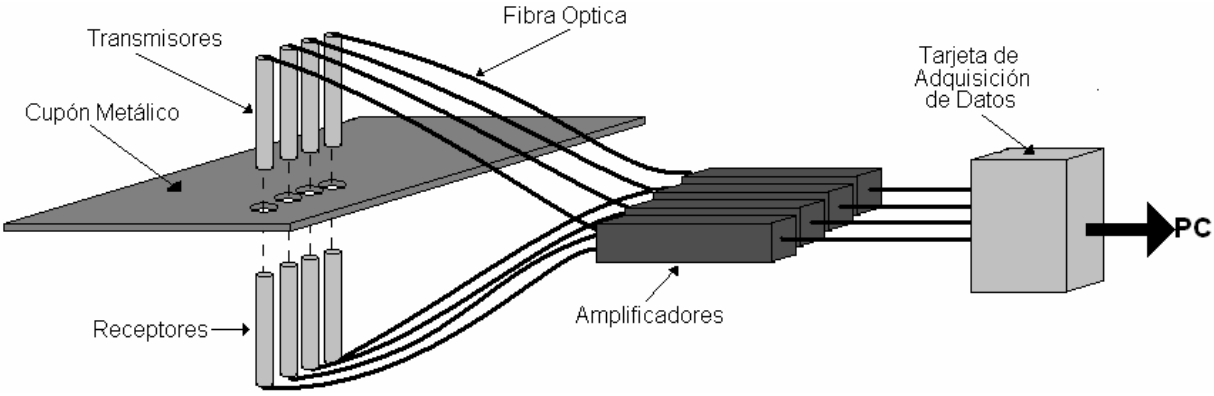


Figura 5.1.8 Identificación del cupón metálico por medio de sensores ópticos.

Este método necesitaría de cuatro parejas de sensores (transmisor-receptor) un amplificador de la señal para cada pareja y una tarjeta de adquisición con cuatro entradas digitales. Esta técnica se complica en cuanto al montaje de los sensores por la alta precisión que deben tener para la recepción del rayo, y al hecho de agujerear los cupones.

Otra posibilidad fue utilizar una cámara que capture la imagen del cupón al cual se le realizaría una marca como un número, y desde una aplicación en la computadora poder descifrar la imagen y determinar el cupón en medición. Además de la cámara se necesitaría una tarjeta de adquisición de imágenes para insertar en la computadora y desarrollar un algoritmo para la interpretación de la imagen capturada.

Finalmente se emplea un sistema de código de barras, que consiste en marcar con un código de barras cada cupón metálico con la información respectiva como el tamaño y el número que lo identifica; y de un lector de código de barras que decodifique la información, la procese y la envíe a la computadora. La aplicación en LabVIEW captura la información y designa el campo correspondiente para almacenar el valor de la medición de espesor de flux.

Para el marcaje de los cupones se utilizará el código de barras de dos dimensiones matriz de puntos (figura 5.1.9), principalmente a que este se puede imprimir directamente sobre metal por medio de láser, caso contrario a los códigos

unidimensionales que requieren fondo blanco por lo que sería necesario imprimir el código sobre una etiqueta blanca que se colocaría sobre el cupón. El problema de la etiqueta que requieren los códigos unidimensionales es que el grosor de esta puede afectar la impresión de flux y además puede ser removible fácilmente.

Figura 5.1.9 Código de matriz de puntos con la información Cupón 1.

La desventaja del sistema de código de barras de dos dimensiones es el alto precio del lector y del marcaje, sin embargo la empresa cuenta con la herramienta para imprimir el código por medio de láser y con el lector el cual se observa en la figura 5.1.10.

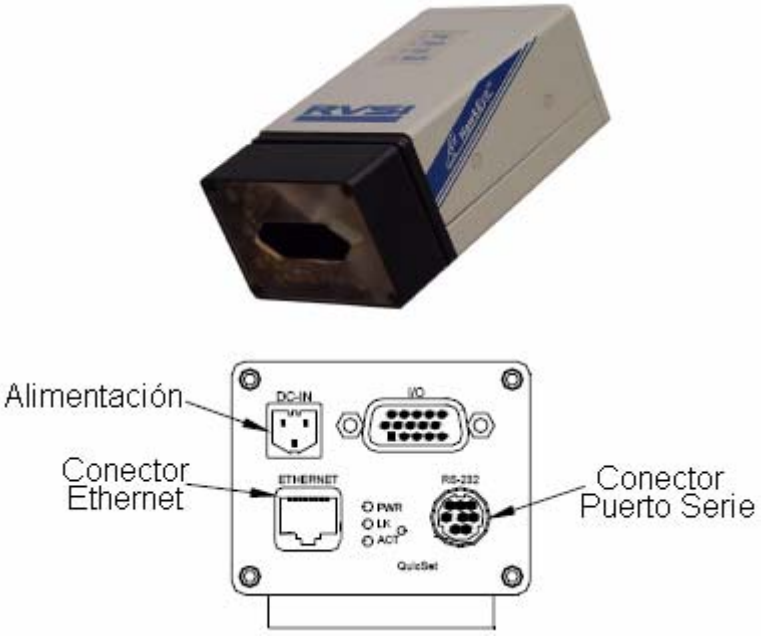


Figura 5.1.10 Cámara lectora de códigos de matriz HE1515 y sus principales conexiones [9].

El lector de la figura 5.1.10 decodifica códigos de barras tanto unidimensionales como de dos dimensiones, posee comunicación Ethernet y serial (RS232). Las demás especificaciones se pueden leer en el anexo B.3.6.

5.2 Descripción del hardware

Sistema de Comunicación

El hardware utilizado para el desarrollo del sistema de comunicación se ilustra en la figura 5.2.1, este consta de una computadora con puerto USB, el dispositivo medidor de espesor modelo CL-250 de la marca Ono-Sokki y la interfaz de comunicación el convertidor GPIB-USB.

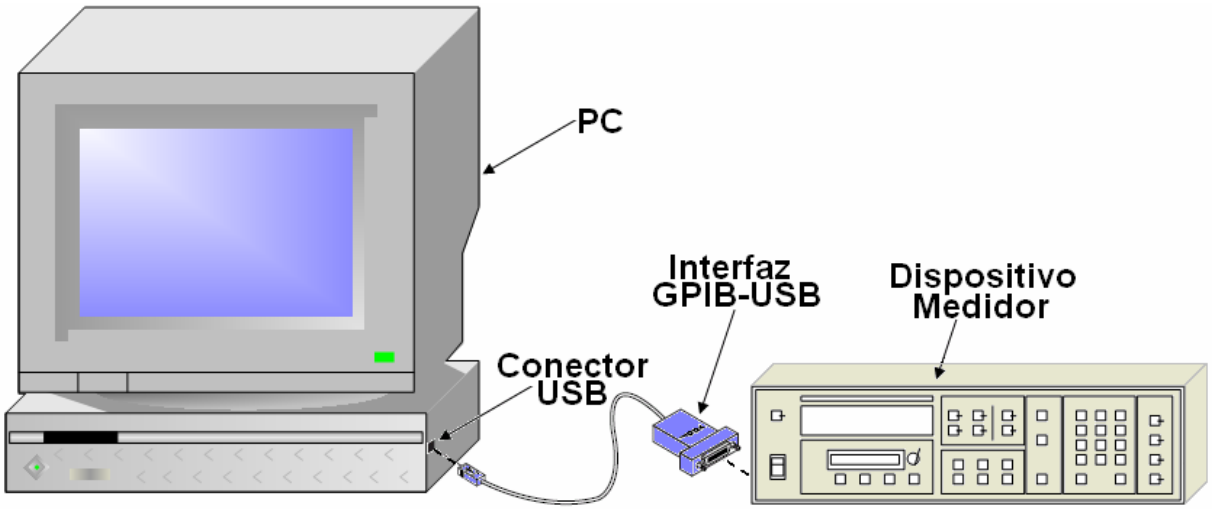


Figura 5.2.1 Hardware empleado en el *Sistema de Comunicación*.

Sistema de Control de Posición

Para la construcción de este sistema se utiliza la misma computadora que para el *Sistema de Comunicación*, por tanto esta debe poseer al menos dos puertos USB para también conectar la tarjeta de adquisición de datos (USB-6008). Fue necesario construir un circuito acondicionador de señales, una etapa de potencia y una fuente de alimentación de ±9 voltios para alimentar el motor que mueve la nueva mesa corrediza por medio de poleas y faja. El material mencionado anteriormente más el potenciómetro que se utiliza como sensor de posición corresponde al hardware empleado para este sistema de control, el cual se ilustra en la figura 5.2.2. Los destalles de diseño e implementación se describen más adelante.

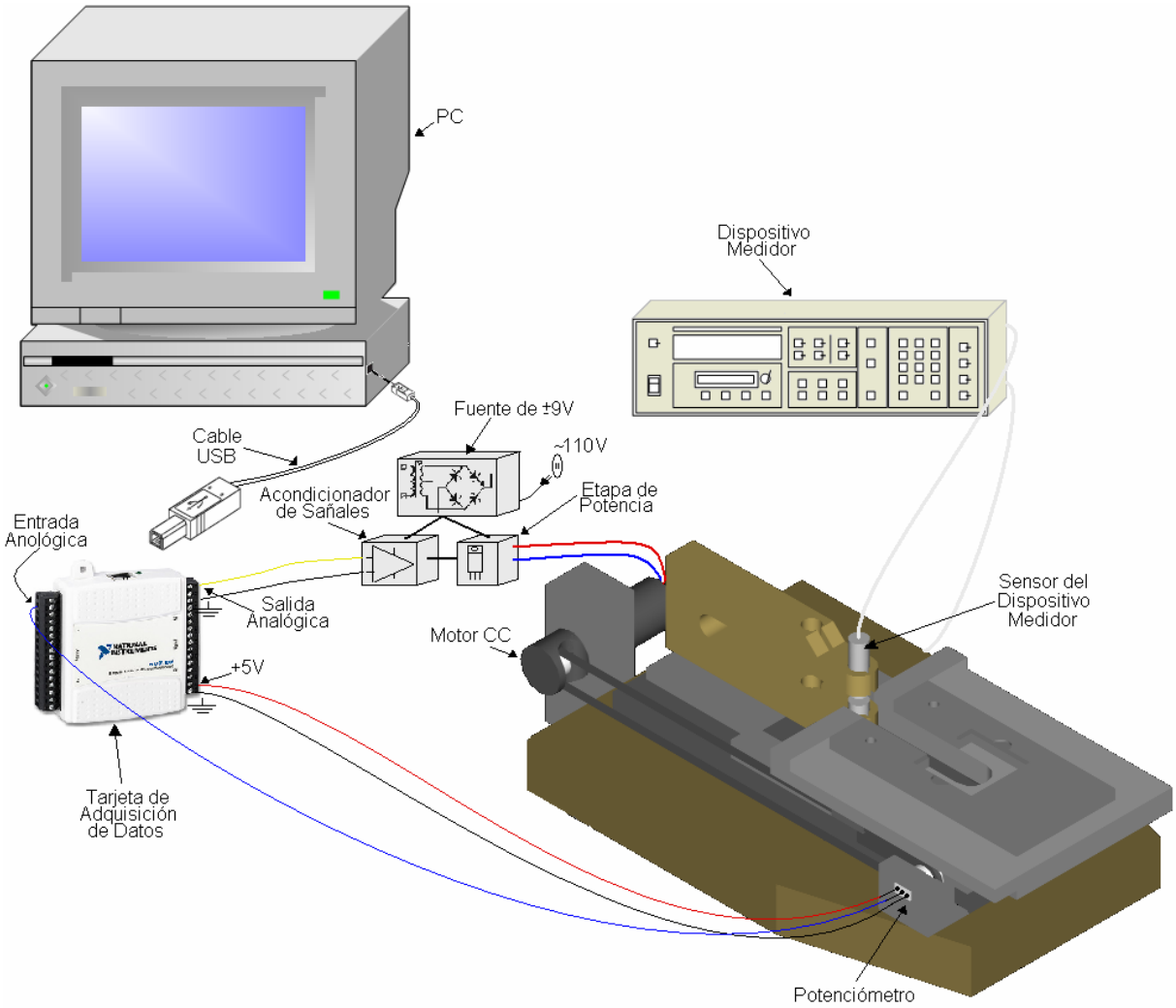


Figura 5.2.2 Hardware empleado en el *Sistema de Control de Posición*.

Este sistema consiste en un control automático en lazo cerrado ya que continuamente se está verificando la señal de posición dada por el potenciómetro para compararla con la señal de referencia establecida desde la computadora, y calcular la señal de error (diferencia entre la señal de referencia y la de posición), la cual es utilizada en el controlador para generar la señal de control que mueve el motor. En la figura 5.2.3 se muestra en diagrama de bloques el sistema de control en lazo cerrado.

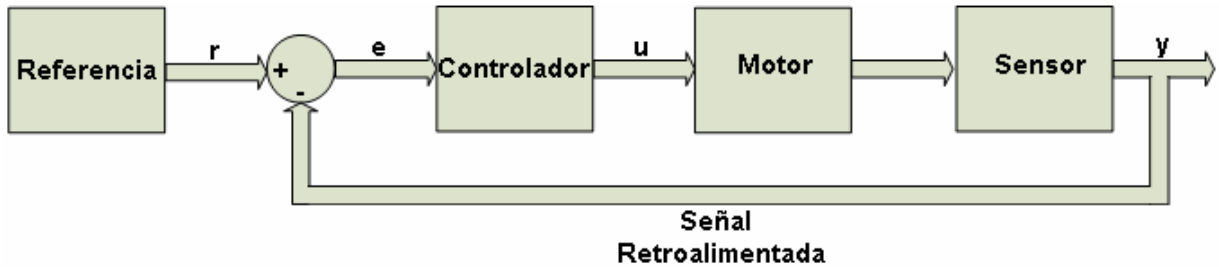


Figura 5.2.3 Diagrama de bloques de un control en lazo cerrado.

A continuación se va a explicar cada una de las señales del diagrama de bloques de la figura 5.2.3:

La señal **r** corresponde a la señal de referencia que indica la posición deseada. Es generada dentro de la computadora y corresponde al voltaje que debe alcanzar la terminal variable del potenciómetro para lograr ubicar la mesa corrediza en la posición requerida.

La señal **y** corresponde al voltaje generado en la patilla variable del potenciómetro la cual es proporcional a la posición actual de la mesa corrediza. Es enviada a la computadora por medio de una de las entradas analógicas de la tarjeta de adquisición de datos.

La señal **e** corresponde a la diferencia entre la señal **r** y la señal **y**, conocida como la señal de error. Se calcula dentro de la computadora, y es la entrada del controlador que permite determinar la amplitud y dirección del voltaje de alimentación del motor que mueve la mesa corrediza con el objetivo de disminuir y anular esta diferencia.

La señal **u** corresponde al voltaje producido por el controlador que opera la velocidad y sentido del motor con el objetivo de disminuir y anular la señal de error (**e**). Esta señal se inicia en la computadora se extrae por medio de una salida analógica de la tarjeta de adquisición, se pasa por el acondicionador de señales y la etapa de potencia, para finalizar en las terminales del motor.

Para el desarrollo de este sistema fue necesario modificar la mesa corrediza del dispositivo medidor, para lograr fijar el cupón a la mesa independientemente del tamaño y además para acoplar todo el mecanismo del motor y potenciómetro. En la figura 5.2.4 se pueden apreciar los cambios realizados.

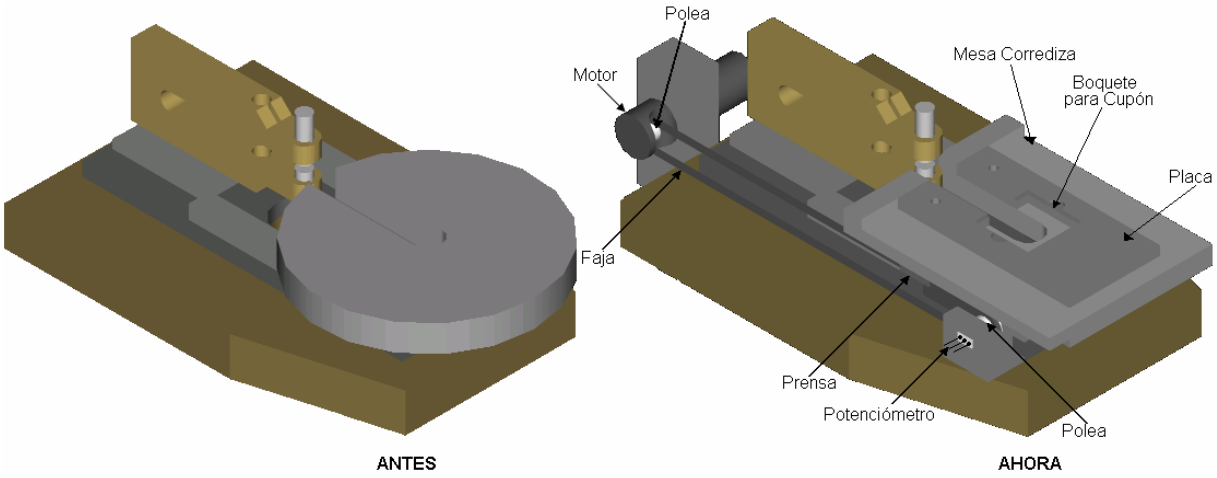


Figura 5.2.4 Cambios realizados a la mesa corrediza del dispositivo medidor de espesor.

El potenciómetro utilizado como sensor de posición es de rotación continua y posee una resistencia máxima de 100 kΩ. El eje de este se encuentra acoplado a una polea del sistema mecánico movido por el motor, por tanto varía su resistencia en razón al movimiento del motor. Entre las patillas externas (terminales fijas) se aplica un voltaje de 5 voltios de corriente directa que se obtiene de una fuente externa suministrada por la tarjeta de adquisición de datos entre las terminales 31 y 32. El voltaje de la terminal variable del potenciómetro corresponde a la posición actual de la mesa corrediza. Esta se conecta a la entrada analógica AI0 de la tarjeta la cual permite un rango de voltaje de ±10 voltios. La figura 5.2.5 ilustra la conexión del potenciómetro.

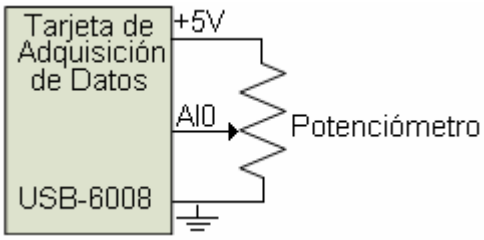


Figura 5.2.5 Conexión del sensor de posición (potenciómetro).

La gráfica que se presenta en la figura 5.2.6 muestra el comportamiento del voltaje que se obtiene de la terminal variable del potenciómetro respecto a las vueltas del eje del mismo. El potenciómetro continuo de menos vueltas encontrado es el de 14 vueltas y debido a que la carrera de la mesa corrediza es de 75 mm (vuelta y media), el potenciómetro varía aproximadamente 10% de su capacidad. En la figura 5.2.6 se marca en rojo el rango de variación del voltaje proporcionado por el potenciómetro (0,36 a 0,76 voltios).

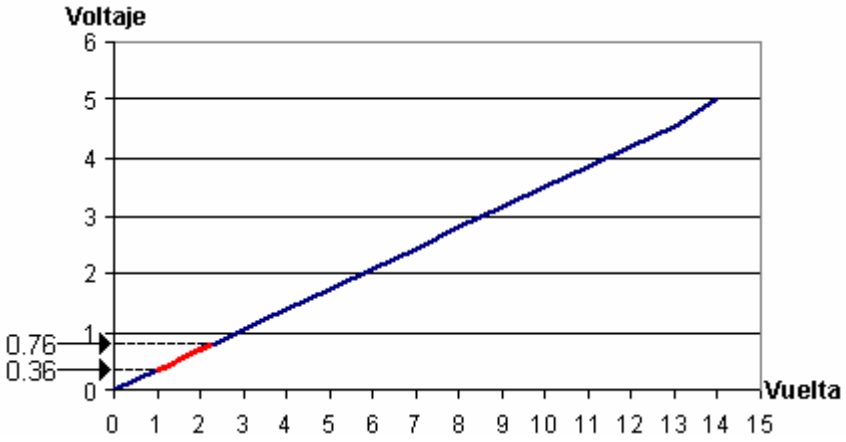


Figura 5.2.6 Curva característica del potenciómetro utilizado.

La tarjeta de adquisición de datos se conecta directamente al puerto USB de la computadora por medio de un cable propio de la tarjeta. Como ya se ha mencionado anteriormente esta se encarga de enviar la señal de posición hacia la computadora por medio de una entrada analógica de 12 bits de resolución con una tasa de muestreo de 10000 muestras por segundo; y de llevar la señal de control hasta el motor por medio de una de las salidas analógicas de 12 bit de 150 Hz. El rango de voltaje que proporciona la salida analógica es de 0 a +5 voltios con una corriente máxima de 5 miliamperios.

El voltaje nominal del motor utilizado para mover la mesa es de 9 voltios y debido a que es necesario estar cambiando el sentido de giro del mismo, se requiere que la señal de control varíe entre -9 y +9 voltios, por lo tanto se debe desarrollar un circuito acondicionador de señales que ajuste la señal de 0 a +5 voltios que proporciona la tarjeta de adquisición en una señal que varié de -9 a +9 voltios. Sin embargo esta

señal no tendrá la potencia necesaria para mover el motor por lo que además se debe implementar una etapa de potencia.

El diseño de los circuitos mencionados más la fuente de alimentación se explica a continuación.

Circuito Acondicionador de Señales [10]:

Este circuito se construye con amplificadores operacionales y resistencias eléctricas, por su bajo costo y facilidad para conseguir en el mercado. Se comporta acorde con la ecuación de una línea recta (5.2.1)

$$y = mx + b \tag{5.2.1}$$

En la figura 5.2.7 se observa la gráfica del voltaje de entrada (V_e) entre el voltaje de salida del acondicionador de señales. El voltaje de entrada corresponde al entregado por la tarjeta de adquisición de datos mientras que el de salida es el que se requiere para el control del motor.

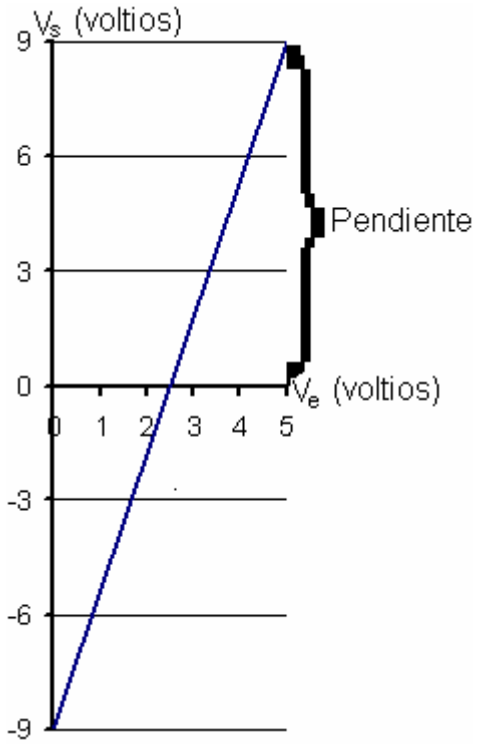


Figura 5.2.7 Características entra/salida de circuito acondicionador de señales.

Para la gráfica de la figura anterior se obtiene la pendiente que se observa en la ecuación (5.2.2) y se observa que la intersección con el eje V_s corresponde a -9V.

$$m = \frac{(9-0)}{(5-2{,}5)} = 3{,}6 \tag{5.2.2}$$

Por lo tanto, la ecuación del voltaje de salida de circuito acondicionador de señales es:

$$V_s = 3{,}6V_e - 9 \tag{5.2.3}$$

El circuito de la figura 5.2.8 se trata de un sumador inversor con un amplificador operacional. El voltaje de salida se representa en la ecuación (5.2.4).

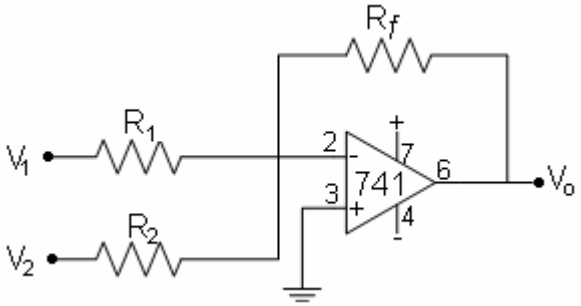


Figura 5.2.8 Circuito Sumador Inversor.

$$V_o = -\frac{R_f}{R_1}V_1 - \frac{R_f}{R_2}V_2 \tag{5.2.4}$$

Para conseguir que (5.2.4) coincida con (5.2.3) se debe invertir la señal de entrada V_1, esto se logra utilizando un amplificador inversor de ganancia unitaria como el de la figura 5.2.9 para finalmente obtener la ecuación (5.2.5).

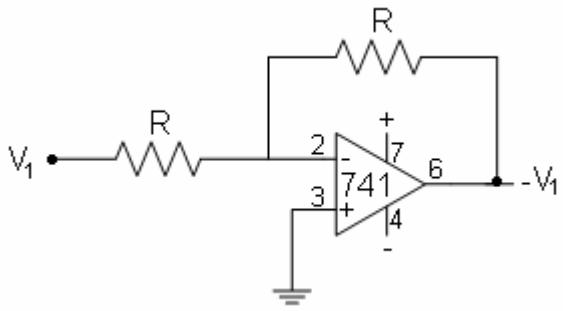


Figura 5.2.9 Amplificador inversor de ganancia igual a 1.

$$V_o = \frac{R_f}{R_1}V_1 - \frac{R_f}{R_2}V_2 \qquad (5.2.5)$$

De acuerdo a la correspondencia de (5.2.3) con (5.2.5) se obtiene:

$$V_0 = V_s$$
$$V_1 = V_e$$
$$\frac{R_f}{R_1} = 3{,}6$$
$$\frac{R_f}{R_2}V_2 = 9$$

Se utiliza la fuente de +9V como V_2 por lo tanto:

$$\frac{R_f}{R_2} = 1$$

Si se elige $R_f = R_2$=47 kΩ se obtiene que R_1=13.055 kΩ.

El circuito acondicionador de señales diseñado se muestra en la figura 5.2.10.

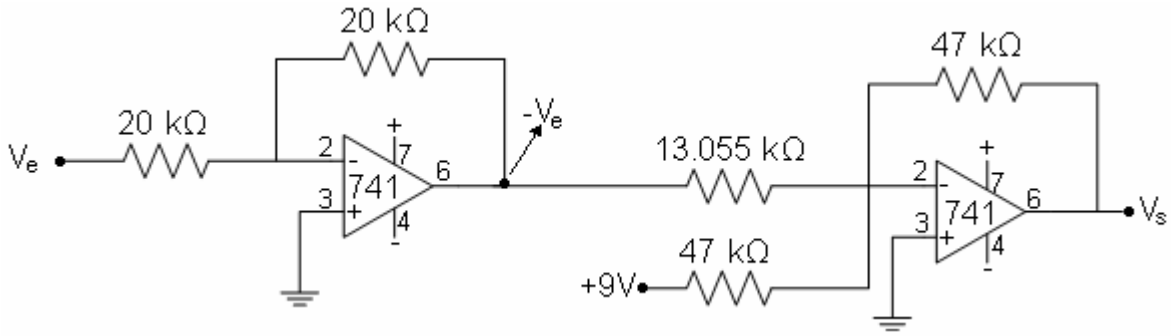


Figura 5.2.10 Circuito Acondicionador de Señales

Circuito de potencia

La etapa de potencia se implementa con dos transistores de potencia uno PNP (A940) y otro NPN (D1138) conectados tal como lo muestra la figura 5.2.11. Las hojas de datos respectivas se encuentran en el anexo B.3.7 y B.3.8.

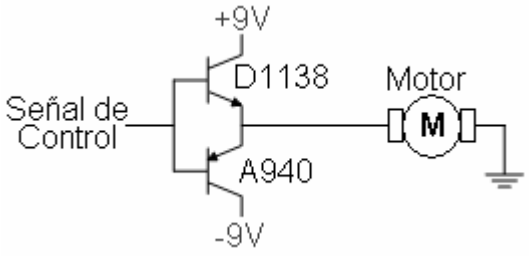


Figura 5.2.11 Etapa de potencia.

El circuito final se muestra en la figura 5.2.12

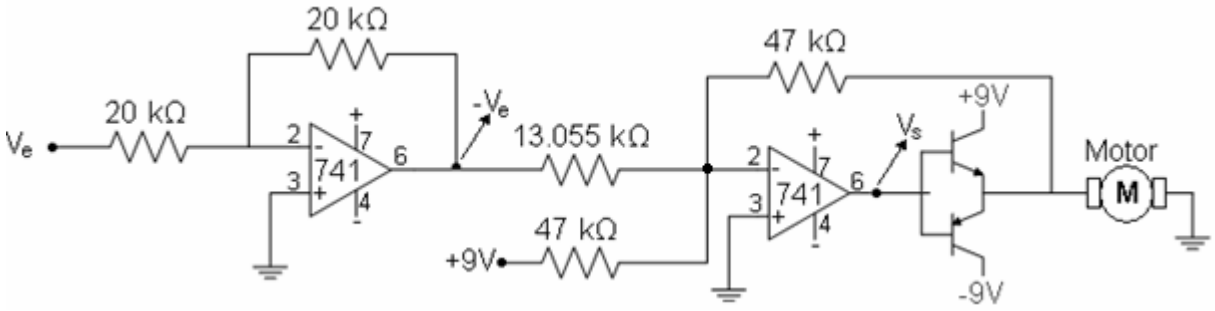


Figura 5.2.12 Circuito Acondicionador de señales con Etapa de Potencia.

Fuente de Alimentación

Para la alimentación de los circuitos mencionados anteriormente se necesita de una fuente de ±9 voltios es decir una fuente simétrica, para ello se necesita de un transformador con derivación central, un rectificador de onda completa, un regulador de 9V y otro de -9V. En la figura 5.2.13 su observa el diseño de la fuente utilizada.

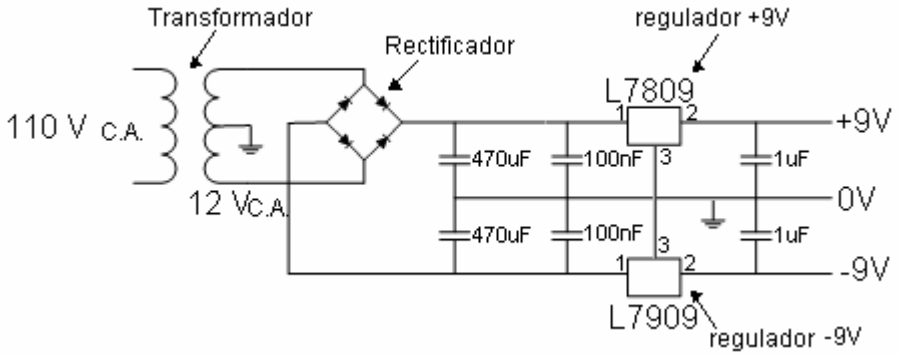


Figura 5.2.13 Fuente simétrica de ±9 voltios.

Los bloques que conforman la señal que controla el motor se muestran en la figura 5.2.14.

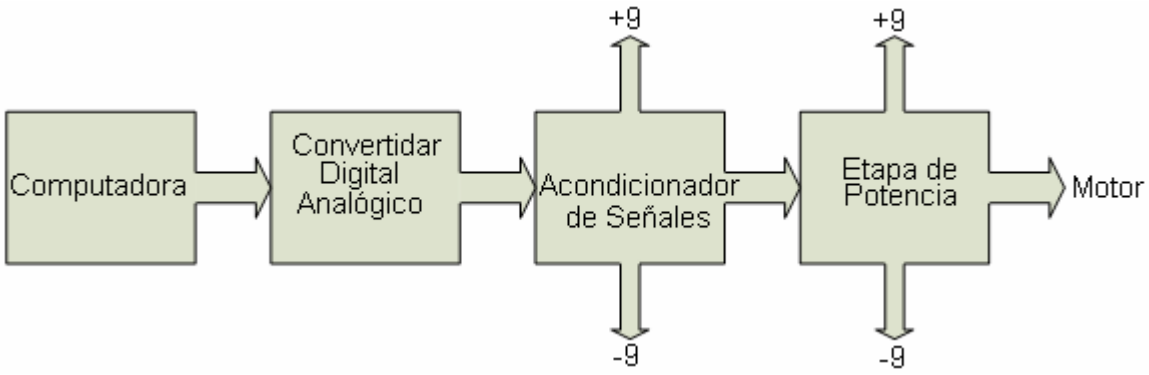


Figura 5.2.14 Diagrama de bloques de la señal de control.

El motor utilizado tiene acoplado un engranaje con una reducción de 32:1 es decir que para obtener una vuelta al final del engranaje el motor debe realizar 32 vueltas, además de reducir la velocidad del motor, el engranaje le da mayor fuerza. La hoja de datos de este dispositivo se obtiene del B.3.3. La figura 5.2.15 ilustra la forma como se adapta el motor a la mesa corrediza por medio de poleas y faja.

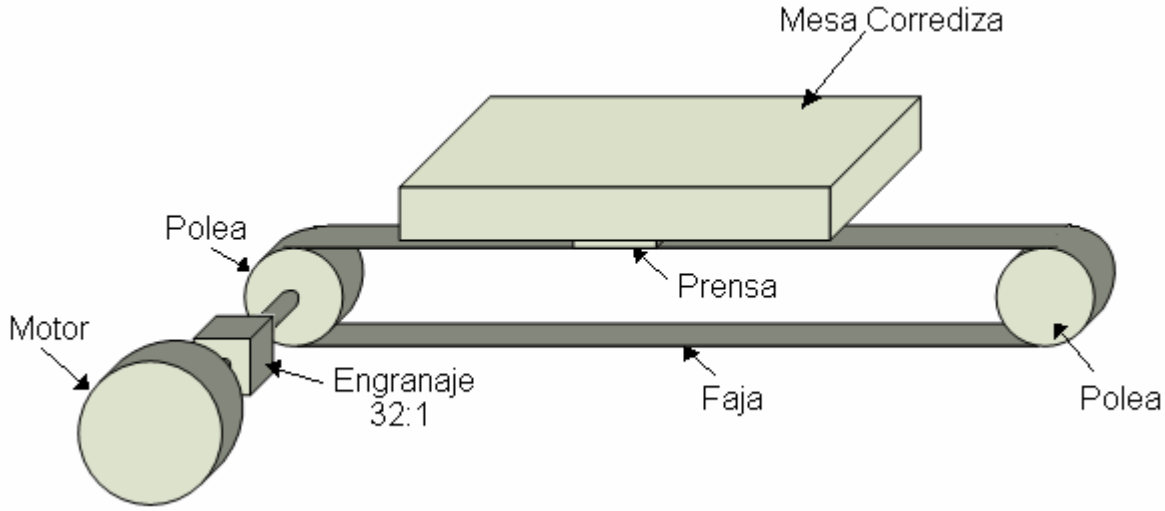


Figura 5.2.15 Adaptación del motor a la mesa corrediza

Sistema Identificación del Cupón

El hardware de este sistema se muestra en la figura 5.2.16. Los cupones se marcan con una matriz de datos para diferenciarlos, mientras que el lector de código de matriz se fija de tal forma que pueda leer el código impreso sobre el cupón. Para enviar la información a la computadora se conecta el lector a la computadora a través del puerto serie RS-232.

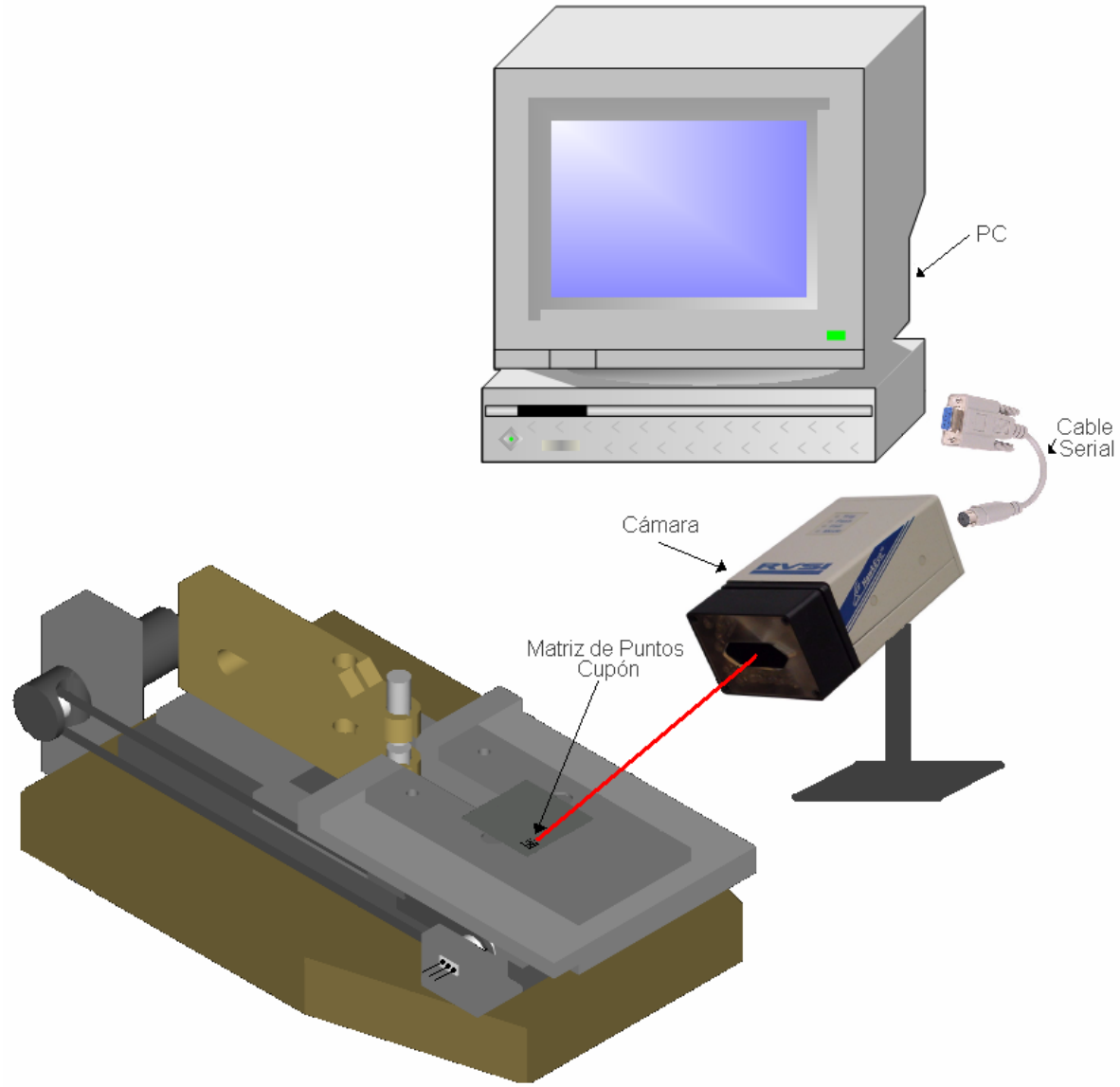


Figura 5.2.16 Hardware empleado en el *Sistema Identificación del Cupón*.

5.3 Descripción del software

El control del sistema desarrollado para realizar la verificación de espesor de flux en forma automática y confiable, consiste en un programa de computadora diseñado con el lenguaje de programación LabVIEW.

El programa básicamente se encarga de guiar al operario durante el proceso de verificación mediante una interfaz gráfica, de establecer la señal de control para posicionar el cupón, de obtener los datos de la medición y calcular el espesor de flux, además de almacenar y presentar la información necesaria con respecto a la medición.

A través de la interfaz gráfica el usuario debe ingresar la información del proceso antes de iniciar con la medición. Esta información se refiere a los datos del operario como número de identificación, nombre y el número del turno de horario de trabajo, a la fecha y hora, a la línea de producción sobre la cual se está trabajando, al producto en proceso y al motivo de la verificación.

La fecha y la hora además del número de semana y turno actual de trabajo son datos que el programa genera. El resto de información se encuentra en bases de datos (archivos Excel) por lo que el usuario simplemente selecciona de listas obtenidas de estas bases que se encuentran vinculadas al campo respectivo. La figura 5.3.1 muestra el aspecto de la parte de la interfaz para ingresar la información.

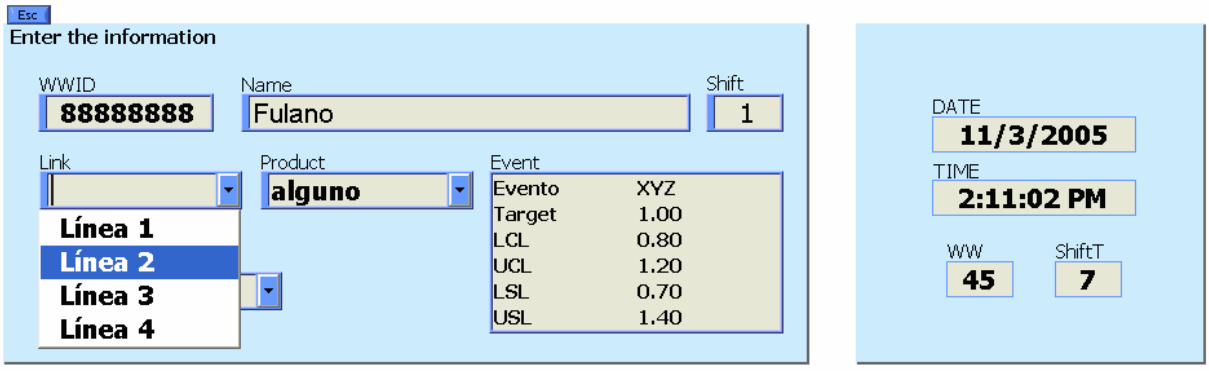


Figura 5.3.1 Interfaz gráfica de la aplicación para ingresar la información del proceso.

Las bases de datos pueden modificarse (borrar o ingresar datos) dentro de la aplicación solamente por personal autorizado ya que esta opción se encuentra protegida con contraseña. El objetivo de las bases de datos es aligerar el proceso y asegurar que se ingrese información correcta.

El producto tiene asignados los límites que definen el rango dentro del cual se debe encontrar el valor del espesor de flux para que su funcionamiento sea adecuado. Así, en el momento que el operario selecciona el producto, estos límites se obtine en forma automática y son utilizados para comprobar si la verificación pasó o falló.

Ya una vez que el operario ingresa la información del proceso puede iniciar con la toma de datos de espesor. En la figura 5.3.2 se observa la pantalla de la interfaz gráfica de la medición.

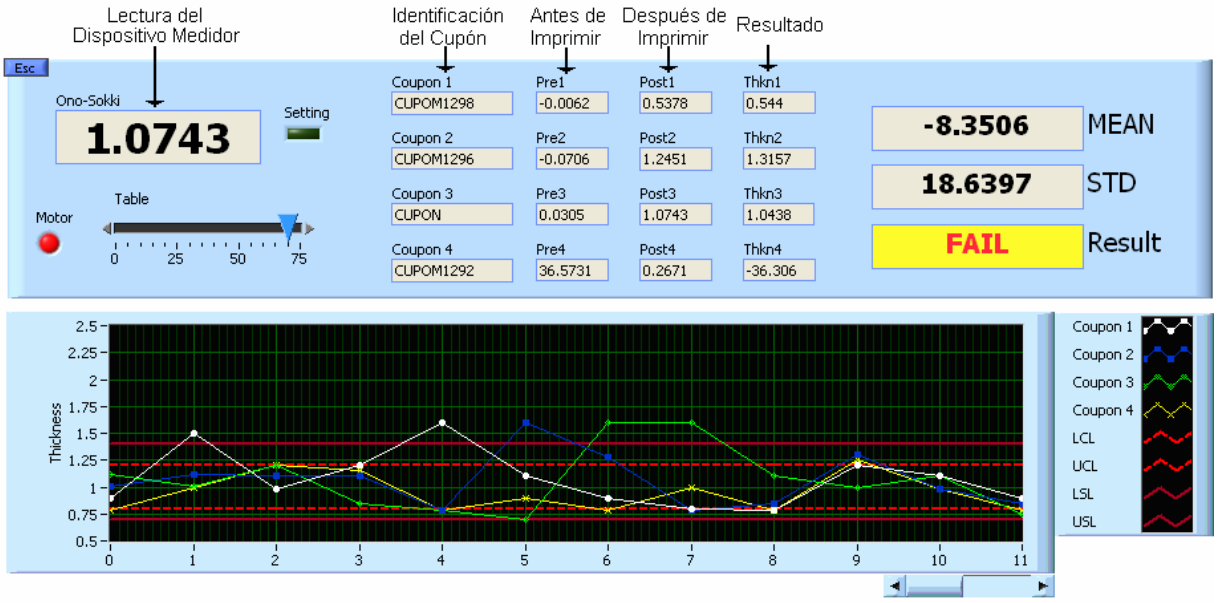


Figura 5.3.2 Interfaz gráfica de la aplicación para realizar la medición de espesor.

En esta interfaz hay un campo que muestra la lectura realizada por el dispositivo medidor de espesor. Para obtener esta lectura y también programar la referencia del dispositivo, desde la aplicación desarrollada se maneja el flujo de datos y comandos que se envían al instrumento para que este responda a las peticiones realizadas.

La aplicación lee del dispositivo en el momento que el cupón se encuentra en posición de medición, y únicamente cuando se trata de la primera medición sin flux es que se realiza la programación de la referencia. En el diagrama de flujo de la figura 5.3.3 se observa cada serie de comandos enviados al dispositivo para lograr la captura de datos y la programación de la referencia.

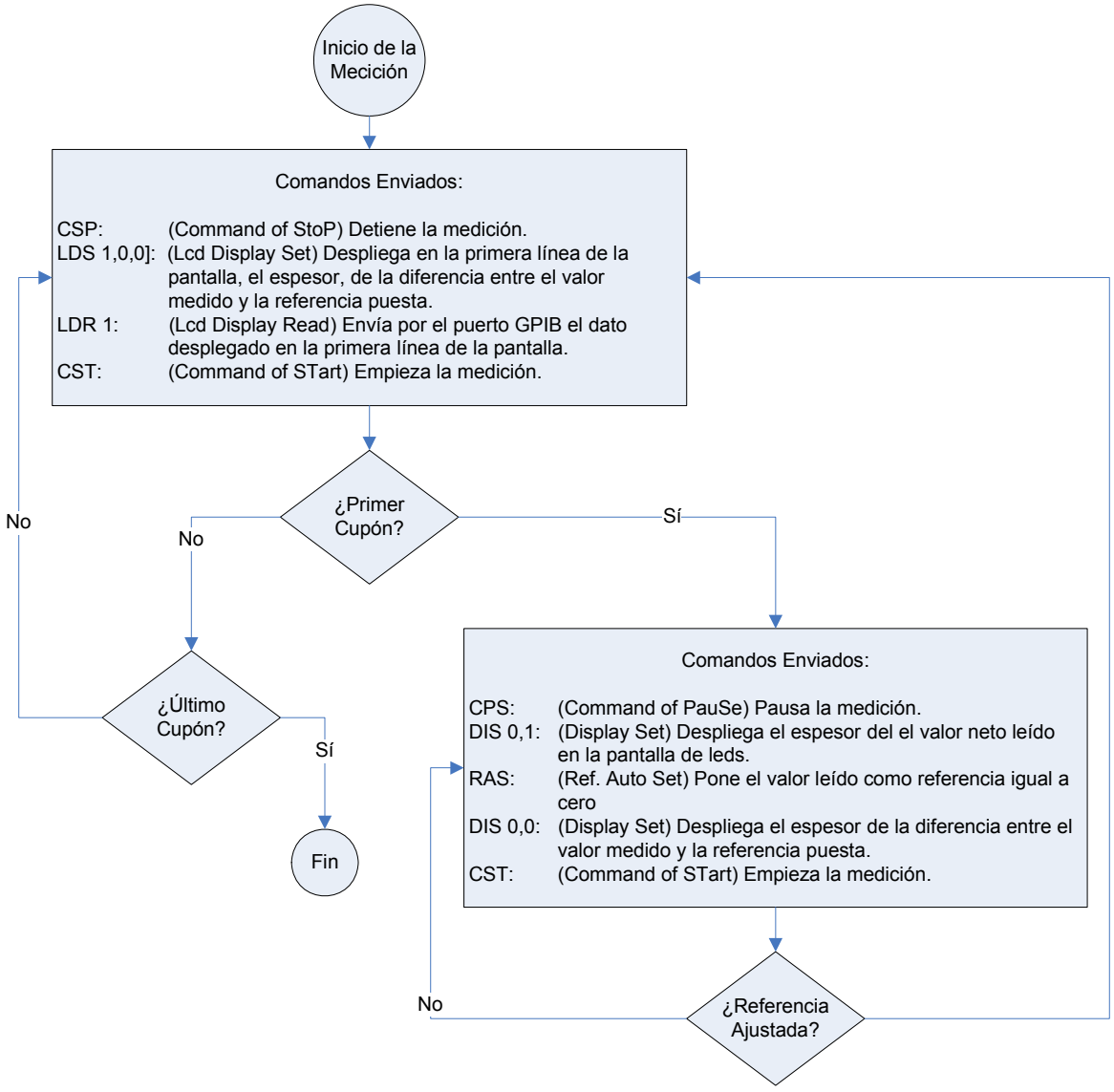


Figura 5.3.3 Flujo de comandos enviados al dispositivo medidor.

En el momento que se detecta que el cupón se encuentra en la posición correcta para la medición, se almacena el dato en el campo respectivo dependiendo al número de cupón y momento (antes o después de imprimir el flux).

Una vez que se han capturado todos los datos el programa calcula el espesor de flux para cada cupón, el promedio y la desviación estándar, además muestra en una gráfica el historial de los datos almacenados para la línea de producción y el producto seleccionados. El diagrama de flujo de la figura 5.3.4 y 5.3.5 explica el procedimiento seguido durante la medición de espesor.

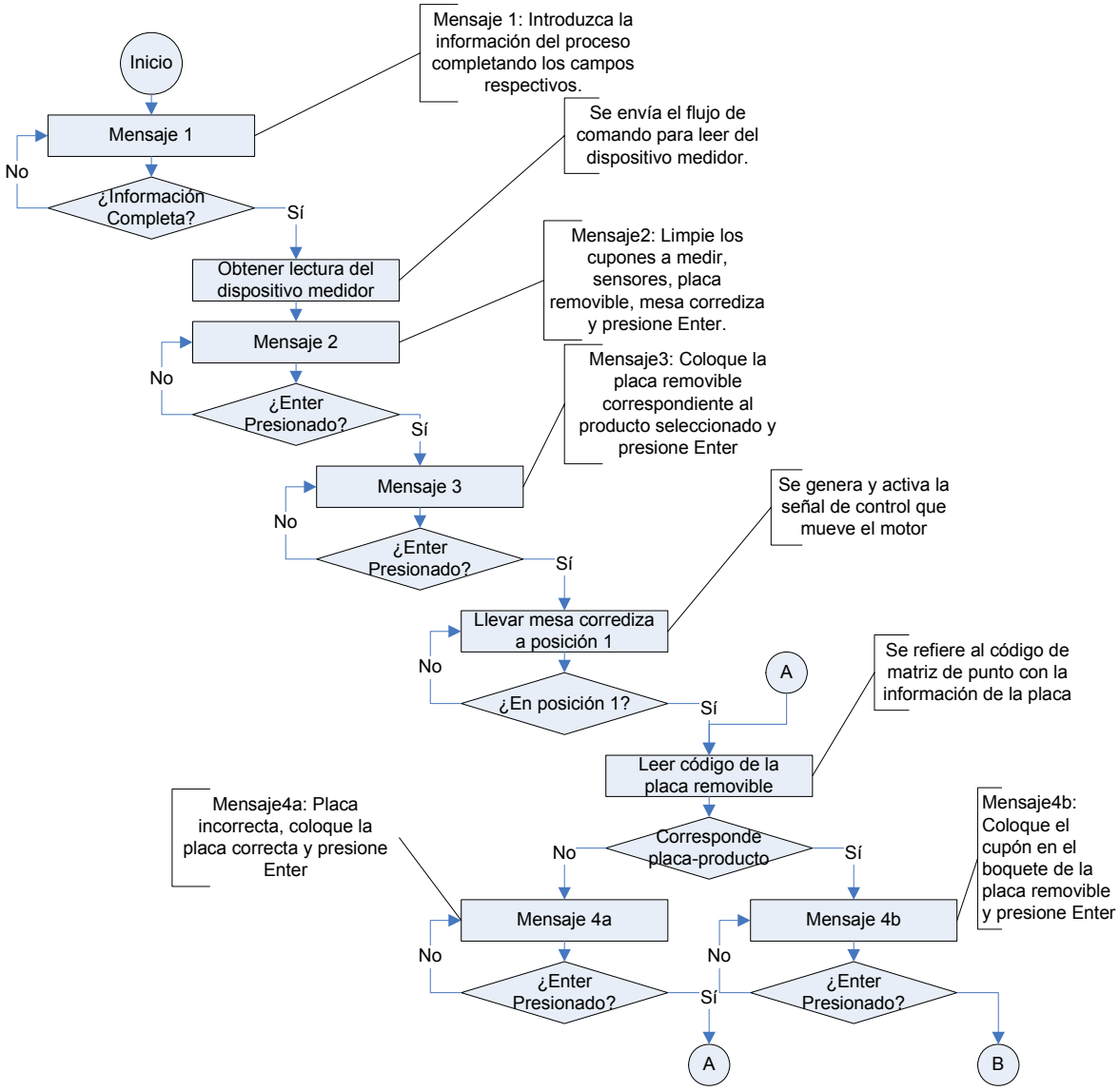


Figura 5.3.4 Primera parte del diagrama de flujo del algoritmo del programa desarrollado para el proceso de verificación de flux.

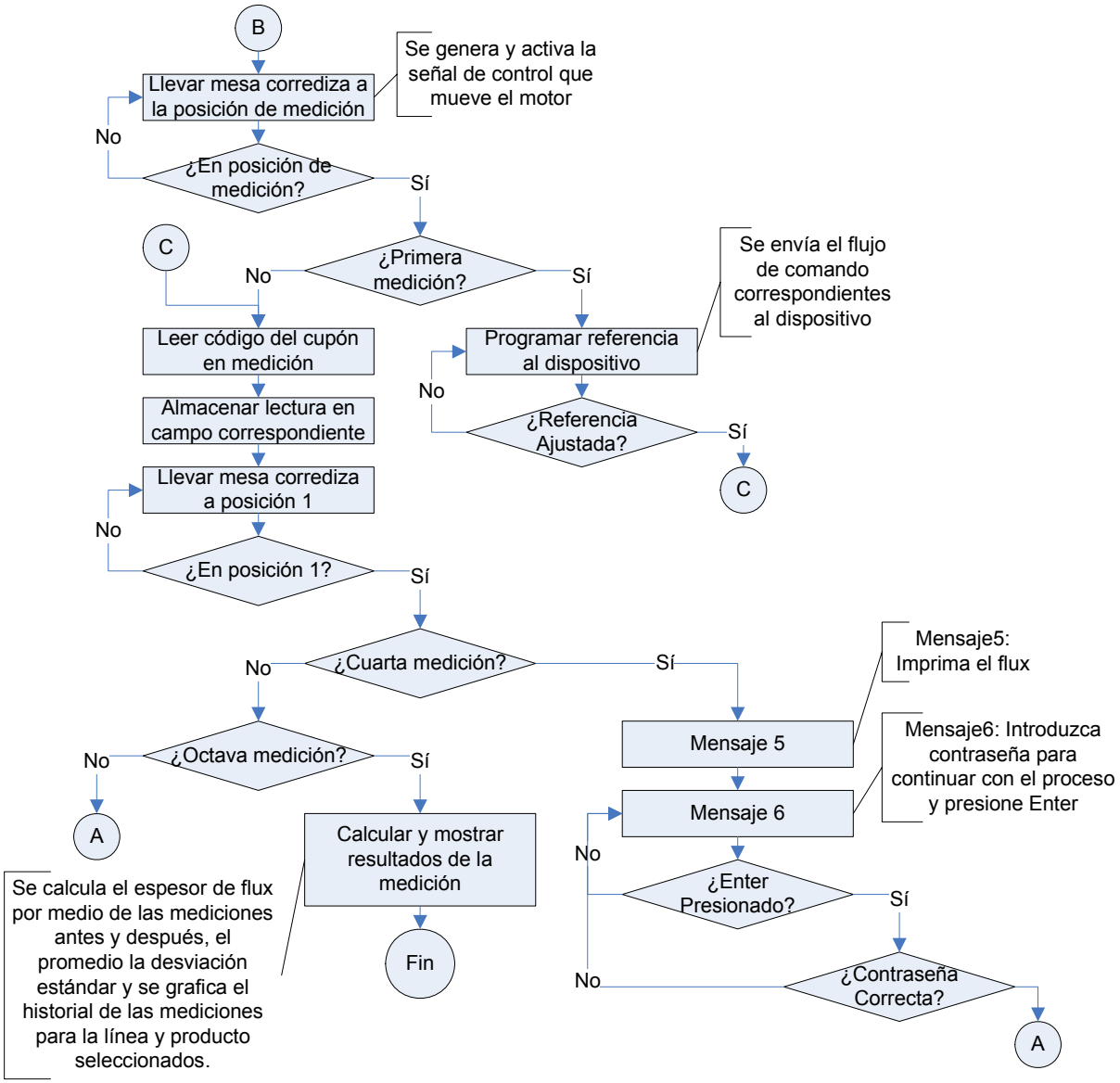


Figura 5.3.5 Segunda parte del diagrama de flujo del algoritmo del programa desarrollado para el proceso de verificación de flux.

Diseño del Controlador

Para el diseño del controlador se parte de las especificaciones en el dominio del tiempo del sistema en lazo cerrado, por lo que se crea un algoritmo en LabVIEW para capturar el comportamiento de la salida del sistema ante una entrada escalón de amplitud igual a 1.016785 V, la figura 5.3.6 muestra este comportamiento.

Para simplificar el análisis del sistema, este se considera como un sistema prototipo de segundo orden (refiérase al apartado 3.2.3).

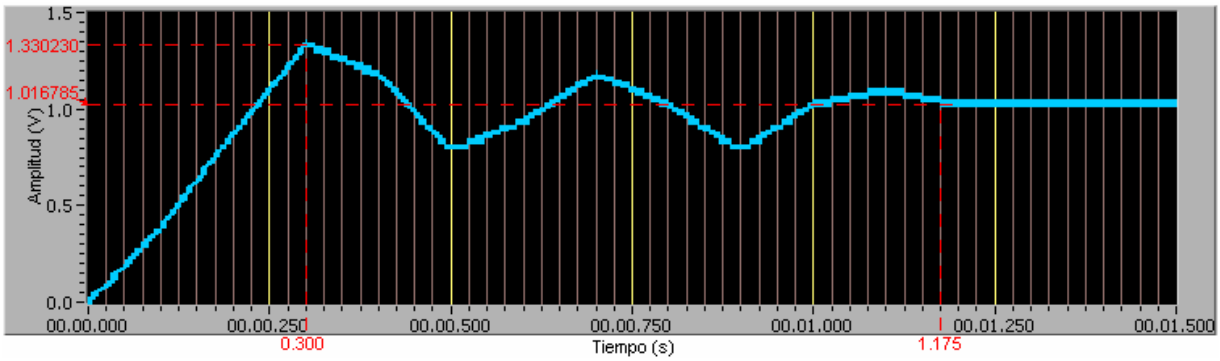


Figura 5.3.6 Comportamiento real del sistema de control en lazo cerrado ante una entrada escalón de 1.016785 V.

Las especificaciones en el dominio del tiempo para el comportamiento del sistema en lazo cerrado son las siguientes.

Sobrepaso máximo: $m_p = 1.330230 - 1.016785 = 0.313445V$

Tiempo de estabilización: t_s = 1.175 s

Tiempo de pico: t_p=0.300 s

Sustituyendo los valores en la ecuación (3.2.6) se obtiene el factor de amortiguamiento relativo del sistema.

$$\xi = \sqrt{\frac{\left(\ln(0.313445)\right)^2}{\pi^2 + \left(\ln(0.313445)\right)^2}} = 0.346416 \qquad (5.3.1)$$

Y de la ecuación (3.2.7) se calcula la frecuencia natural.

$$w_n = \frac{\pi}{0.300\sqrt{1-(0.346416)^2}} = 11.163189 \qquad (5.3.2)$$

Suponiendo que se trata de un sistema prototipo de segundo orden la función de transferencia en lazo abierto del sistema dada por (3.2.1) es:

$$G_p(s) = \frac{124.616789}{s^2 + 7.734215s} \qquad (5.3.3)$$

Y la respectiva función en lazo cerrado de con respecto a la ecuación (3.2.2) es:

$$G(s) = \frac{124.616789}{s^2 + 7.734215s + 124.616789} \qquad (5.3.4)$$

Para el diseño del controlador se especifica que este no presente un sobrepaso máximo de 5%, y que el tiempo de estabilización sea menor a 0.8 s. Por lo que se diseña un controlador proporcional derivativo (PD) de la forma que presenta la ecuación (5.3.5)

$$K_{PD} = K\left(\frac{s + z_0}{s + p_0}\right) \qquad (5.3.5)$$

Un sobrepaso menor al 5% significa que el factor de amortiguamiento debe ser menor a 0.690107 tal como lo muestra la ecuación (5.3.6) que resulta de la ecuación (3.2.6).

$$\xi = \sqrt{\frac{(\ln(0.05))^2}{\pi^2 + (\ln(0.05))^2}} = 0.690107 \qquad (5.3.6)$$

Se elige un punto s_x en el plano complejo de s que se encuentre en el área donde se cumpla las especificaciones definidas. Para ello se calcula el ángulo θ y el factor ξw_n, los resultados se muestran en (5.3.7) y (5.3.8).

$$\theta = \cos^{-1}(\zeta) = \cos^{-1}(0.690107) = 46.361420° \qquad (5.3.7)$$

$$\xi w_n = \frac{4}{t_s} = \frac{4}{0.8} = 5 \qquad (5.3.8)$$

En la figura 5.3.7 se subraya el área en plano complejo de s donde se debe encontrar el punto s_x. El punto seleccionado es:

$$s_x = -7 \pm j5 \tag{5.3.9}$$

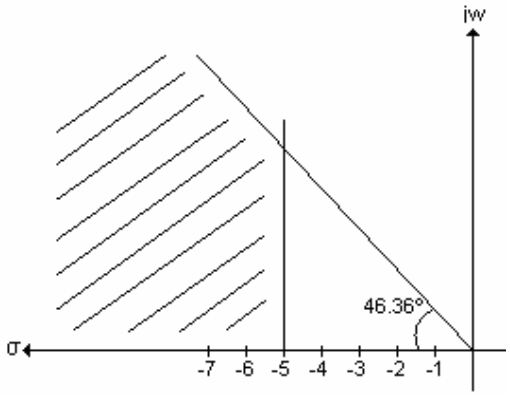


Figura 5.3.7 Área en el plano complejo de s donde se cumple con las especificaciones definidas sobre el diseño del controlador.

Las ecuaciones para el cálculo del polo y el cero del compensador PD se presentan a continuación.

$$z_0 = -|s_x| * \frac{\cos\left(\frac{\theta - \phi}{2}\right)}{\cos\left(\frac{\theta + \phi}{2}\right)} \tag{5.3.10}$$

$$p_0 = -|s_x| * \frac{\cos\left(\frac{\theta + \phi}{2}\right)}{\cos\left(\frac{\theta - \phi}{2}\right)} \tag{5.3.11}$$

Donde.

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{5}{7}\right) = 35.537678° \tag{5.3.12}$$

$$\phi = 180^{o} - \angle G_p(S_x) = 46.108541^{o} \tag{5.3.13}$$

Sustituyendo estos valores en (5.3.10) y (5.3.11) se obtiene:

$$z_0 = -\left|-7+j5\right| * \frac{\cos\left(\frac{35.537678-46.108541}{2}\right)}{\cos\left(\frac{35.537678+46.108541}{2}\right)} = -11.319405 \tag{5.3.14}$$

$$p_0 = -\left|-7+j5\right| * \frac{\cos\left(\frac{35.537678+46.108541}{2}\right)}{\cos\left(\frac{35.537678-46.108541}{2}\right)} = -6.537446 \tag{5.3.15}$$

El cálculo del *k* del compensador se realiza a través de la ecuación (5.3.16).

$$k = \left| \frac{1}{G_p(s_x) * \frac{s_x - z_0}{s_x - p_0}} \right| = 0.459039 \tag{5.3.16}$$

Al final el resultado del compensador se muestra en la ecuación (5.3.17).

$$k_{PD} = 0.459039 \frac{s+6.537446}{s+11.319405} \tag{5.3.17}$$

Y la función de transferencia del sistema compensado en lazo abierto se presenta a continuación.

$$\begin{aligned} G_p &= \frac{124.616789}{s^2+7.734215s} * 0.459039 \frac{s+6.537446}{s+11.319405} \\ G_p &= \frac{57.203966s+373.967839}{s^3+19.05362s^2+87.546712s} \end{aligned} \tag{5.3.18}$$

El controlador diseñado es implementado al sistema en forma digital por medio de herramientas propias de LabVIEW.

Capítulo 6 Resultados y Análisis

En este capítulo se presentan y discuten los resultados obtenidos del proyecto. Este hace énfasis en el diseño del control del sistema que mueve la mesa, en la implementación del hardware y en los datos sobre medidas de espesor.

6.1 Comportamiento del sistema de control

Los cálculos del controlador del sistema de control de posición se presentan en la sección *Diseño del Controlador* en el apartado 5.3 Descripción del software. La función de transferencia en lazo cerrado (5.3.4) se calcula por medio de las especificaciones en el tiempo de la respuesta ante un escalón (ver figura 5.3.6), considerando al sistema de segundo orden.

Por medio de la herramienta computacional Matlab se graficó el comportamiento teórico de la función de transferencia obtenida en lazo cerrado ante un escalón de amplitud 1.016785 V superpuesta con el comportamiento real del sistema de la figura 5.3.6 (ver figura 6.1.1).

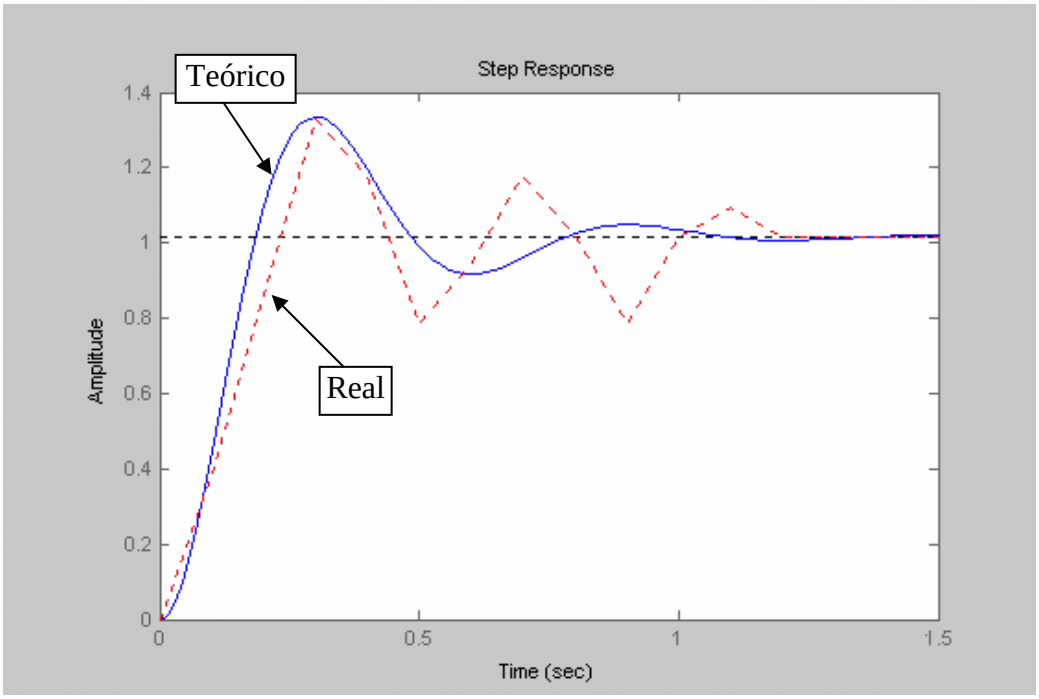


Figura 6.1.1 Respuesta ante un escalón de amplitud 1.016785 de la función de transferencia de la ecuación (5.3.4).

En la figuras 6.1.1 se observa que tanto el comportamiento real del sistema en lazo cerrado como la simulación de la función de transferencia calculada son similares en cuanto a forma (bajo amortiguamiento), tiempo pico (0.3 s), sobrepaso máximo (30%), y tiempo de estabilización (1.35 s) lo que permite concluir que la función de transferencia del sistema en lazo cerrado se aproxima a la ecuación (5.3.4) de un sistema prototipo de segundo orden. Las principales diferencias de las gráficas de la figura 6.1.1 se deben a que el comportamiento real se graficó a 10 muestras por segundo.

Para disminuir el sobrepaso que presenta el sistema a un máximo de 5% e igualmente lograr un tiempo de estabilización menor a 0.8 s se diseñó un controlador proporcional derivativo (refiérase a la ecuación 5.3.17). Al final la función de transferencia en lazo abierto con el controlador se presenta en la ecuación (5.3.18).

El controlador calculado se integró al sistema a través de un algoritmo propio de LabVIEW, en la figura 6.1.2 se puede observar la respuesta al escalón de amplitud 1.016785 V del sistema real compensado.

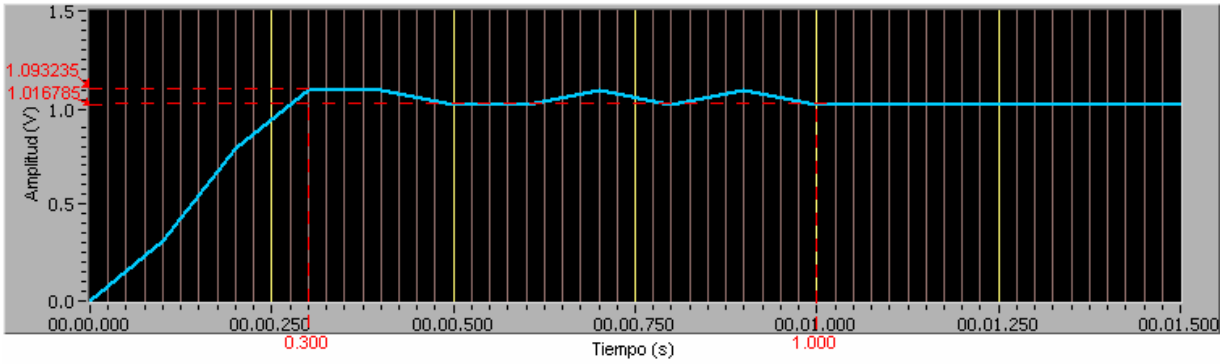


Figura 6.1.2 Respuesta al escalón del sistema de control de posición con controlador PD.

De la gráfica de la figura 6.1.2 se obtiene que el sistema presenta un sobrepaso máximo de 7.518797% (ecuación 6.1.1) y un tiempo de estabilización de 1 s.

$$\%m_p = \frac{1.093235 - 1.016785}{1.016785} * 100 = 7.518797\% \qquad (6.1.1)$$

En la tabla 6.1.1 se comparan las especificaciones requeridas durante el desarrollo del controlador y las obtenidas del comportamiento real del sistema controlado.

Tabla 6.1.1 Especificaciones en el dominio del tiempo.

	Requerido	**Obtenido**	**Diferencia**
Sobre paso máximo (%)	5	7.518797	2.5
Tiempo de estabilización (s)	0.8	1s	0.2

De la tabla 6.1.1 se deduce que las especificaciones requeridas no se alcanzaron sin embargo la diferencia que presentan con las obtenidas no afecta al sistema ya que un 2.5% más en el sobrepaso máximo significa 0.025420 V lo cual equivale a aproximadamente 0.8 mm de la carrera de la mesa corrediza lo cual es rápidamente compensado.

Las diferencias que se presentan en la tabla 6.1.1 se justifica principalmente en que para el cálculo teórico del compensador PD se supuso un sistema prototipo de segundo orden para aproximar la función de transferencia, lo cual no se puede considerar como exacto.

6.2 Implementación del Hardware

En la imagen de la figura 6.1.3 se muestra la parte del hardware implementado, donde se puede observar la computadora de escritorio, el dispositivo medidor de espesor, la mesa corrediza modificada y una bandeja transportadora con cupones metálicos y sustratos.

Figura 6.2.1 Foto del Sistema completo para le monitoreo de espesor de flux de forma más automatizada.

El dispositivo medidor se conectó a la computadora (ver figura 6.2.2) para almacenar los valores de espesor por medio del convertidor GPIB-USB, lo cual era un objetivo de hardware del proyecto. A través de esta conexión se consigue controlar el dispositivo medidor desde la computadora para programar la referencia y enviar la lectura de espesor realizada hacia la computadora para mostrarla en tiempo real por medio de una interfaz gráfica. Además, esto conexión evita la manipulación de los controles del dispositivo lo que le permite aumentar su ciclo de vida

Figura 6.2.2 Conexión del dispositivo medidor de espesor con la computadora a través del cable GPIB-USB.

Las modificaciones realizadas a la mesa corrediza para lograr colocar el centro del cupón bajo los sensores del dispositivo medidor se muestran en la figura 6.2.3. Una debilidad de esta adaptación es la parte de la faja, ya que se acondicionó una faja dentada que presenta los dientes muy separados (5 mm) entre si, y debido al tamaño de las poleas (14 mm de diámetro) esta tiende a desencajar produciendo un trabamiento, sin embargo este es compensado por el controlador logrando alcanzar la posición deseada.

En la figura 6.2.3 se puede observar la adaptación del motor y potenciómetro (como sensor de posición) a la mesa corrediza por medio de una faja dentada, las placas removibles para la colocación del cupón en una poción fija, una caja en acrílico donde se encuentra la fuente de alimentación el circuito acondicionador de señales con etapa de potencia y la tarjeta de adquisición de datos. En la imagen inferior

izquierda se ve cuando el centro del cupón se encuentra bajo el sensor del dispositivo medidor.

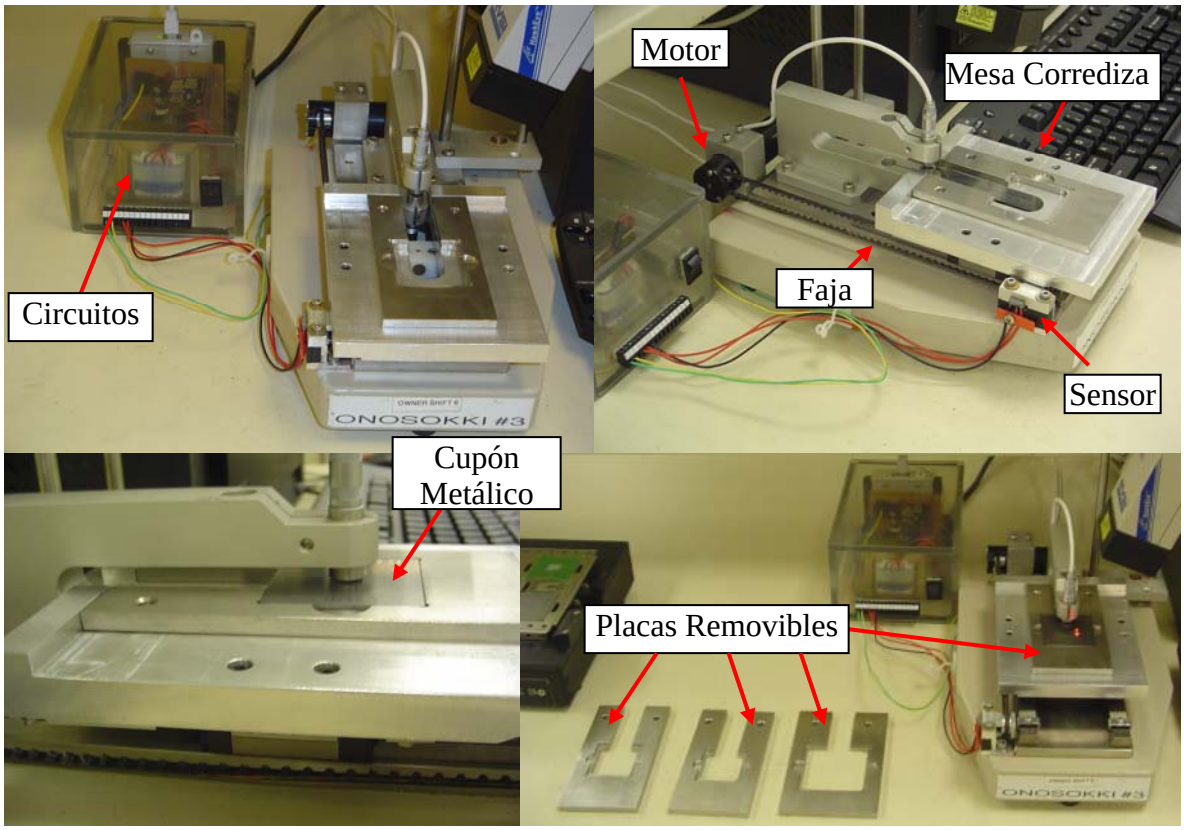


Figura 6.2.3 Modificaciones realizadas a la mesa corrediza.

El funcionamiento de la fuente de alimentación, el acondicionador de señales y la etapa de potencia se analiza a través de los datos de la tabla 6.2.1. Esta tabla presenta las mediciones de voltaje en los puntos correspondientes a la entrada del acondicionador de señales y a la salida de la etapa de potencia, para diferentes voltajes programados en la tarjeta de adquisición de datos desde la computadora.

Para el cálculo teórico del voltaje de salida de la etapa de potencia se utiliza la ecuación (5.2.3) y las mediciones prácticas fueron realizadas por medio de un voltímetro. Además se calcula la diferencia entre el valor teórico y el experimental para concluir el desempeño.

Tabla 6.2.1 Comportamiento del Circuito Acondicionador de Señales (CAS) con etapa de potencia y la fuente da alimentación.

Voltaje Programado (V)	Voltaje a la entrada CAS (V)	Voltaje a la salida de la etapa de potencia (V)		
		Teórico	Experimental	Diferencia
0.0	0.001	-8.996	-8.980	-0.016
0.5	0.496	-7.214	-7.240	0.026
1.0	0.994	-5.422	-5.490	0.068
1.5	1.494	-3.622	-3.726	0.104
2.0	1.990	-1.836	-1.975	0.139
2.5	2.489	-0.040	-0.219	0.179
3.0	2.992	1.771	1.552	0.219
3.5	3.486	3.550	3.300	0.250
4.0	3.987	5.353	5.070	0.283
4.5	4.490	7.164	6.820	0.344
5.0	4.980	8.928	8.580	0.348

De la tabla se observa que la diferencia entre el valor teórico y el experimental del voltaje a la salida de la etapa de potencia va aumentando conforme el valor en la entrada se va aproximando a 5V. La figura 6.2.4 muestra la gráfica de los datos de la tabla 6.2.1, donde se observa que la diferencia se debe a la pendiente de las línea recta.

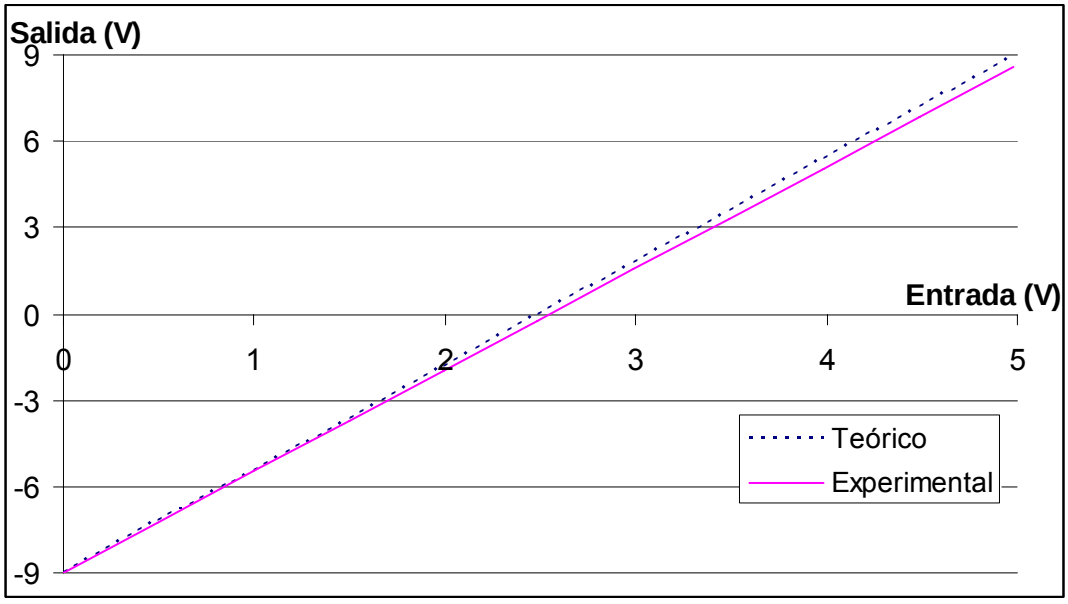


Figura 6.2.4 Comportamiento teórico y experimental a la salida de la etapa de potencia ante diferentes voltajes de entrada.

En la ecuación 6.2.1 se calcula la pendiente de comportamiento experimental de la figura 6.2.4. La cual debió ser de 3.6 tal como se indica en la ecuación (5.2.2)

$$m = \frac{(8.58 - 1.552)V}{(4.98 - 2.992)V} = 3.535 \qquad (6.2.1)$$

Esto implica que el error se debe al ajuste de R_1 del circuito de la figura 5.2.8.

Para la identificación del cupón en medición se logran realizar marcas láser de matriz de puntos sobre cada uno, tal como lo muestra la figura 6.2.5.

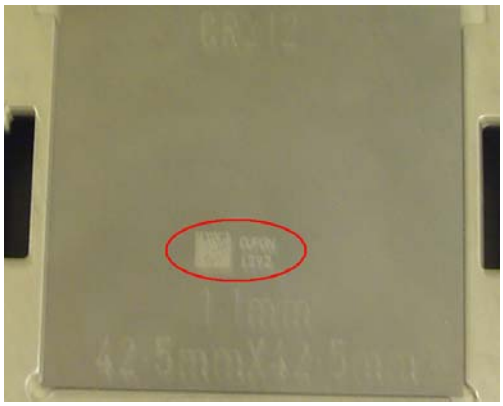


Figura 6.2.5 Matriz de puntos impresa con láser sobre el cupón metálico para su identificación.

El lector de matriz de puntos se instaló con un soporte con varios puntos de ajuste (como se observa en la figura 6.2.6) para lograr una ubicación óptima de lectura.

El sistema de control de posición transporta el cupón en medición por medio de la mesa corrediza a una posición establecida, donde el foco del lector apunta a la marca del cupón. El lector se activa cuando detecta una marca y envía la información a la computadora por el puerto serie. El programa lee del puerto serie en el momento requerido. Si no se lee nada del puerto serie, la aplicación desarrollada en LabVIEW envía un error que indica que el cupón no fue detectado, igualmente si el cupón ya fue leído.

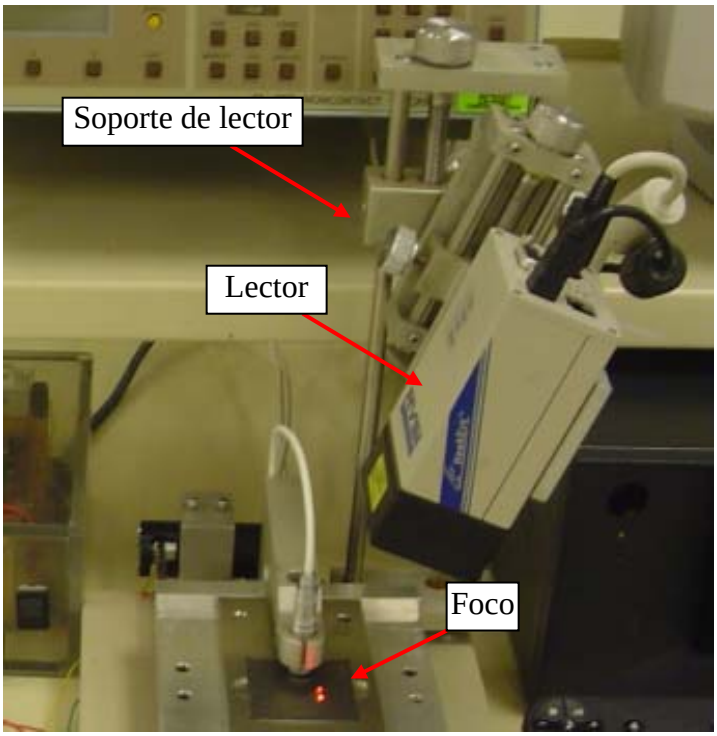
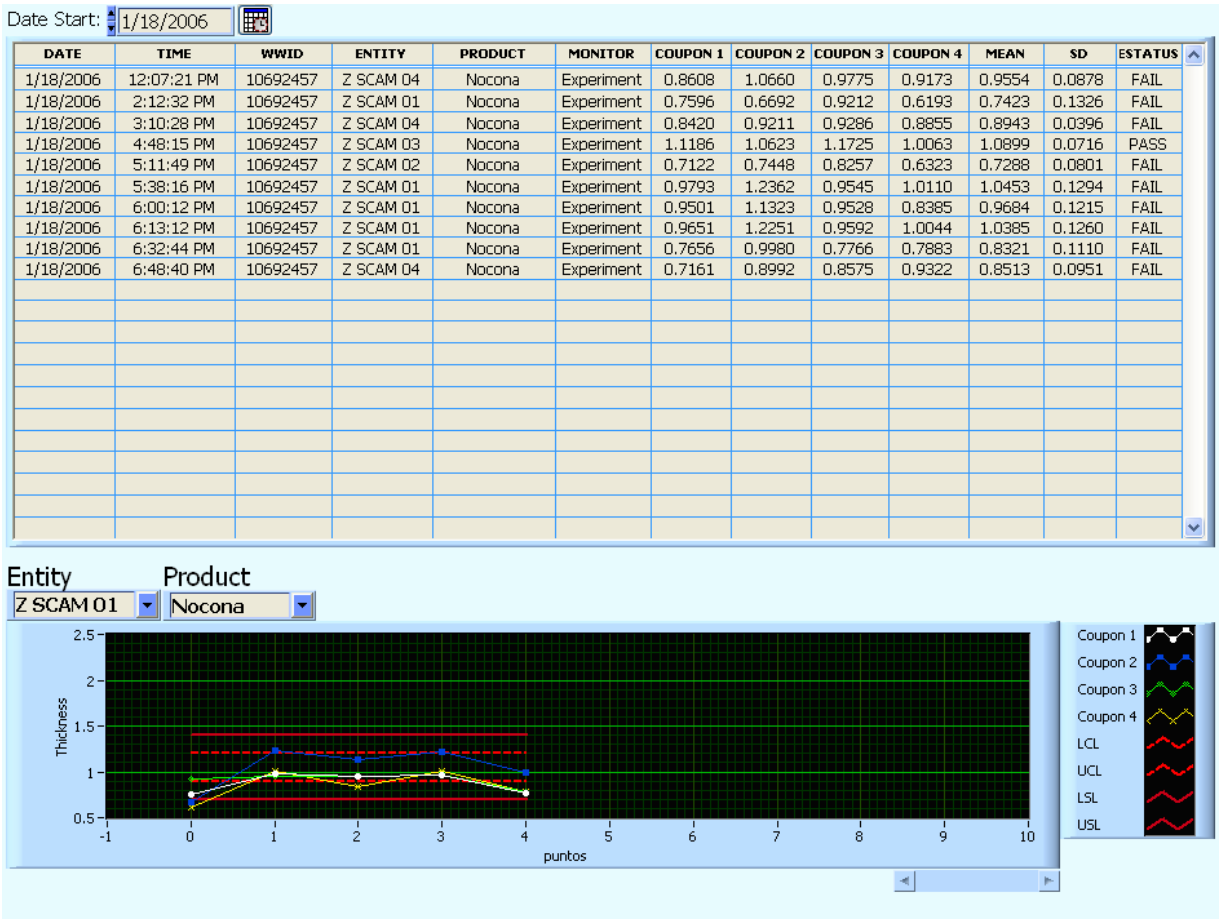


Figura 6.2.6 Instalación del lector de matriz de puntos.

6.3 Pruebas al sistema.

Para determinar el funcionamiento del sistema se realizaron 10 verificaciones de espesor de flux en diferentes líneas de producción. La figura 6.3.1 muestra los resultados almacenados por medio del programa en LabVIEW.

Para cada medición se utilizaron los mismos cupones siempre en la misma posición sobre la bandeja transportadora.



DATE	TIME	WWID	ENTITY	PRODUCT	MONITOR	COUPON 1	COUPON 2	COUPON 3	COUPON 4	MEAN	SD	ESTATUS
1/18/2006	12:07:21 PM	10692457	Z SCAM 04	Nocona	Experiment	0.8608	1.0660	0.9775	0.9173	0.9554	0.0878	FAIL
1/18/2006	2:12:32 PM	10692457	Z SCAM 01	Nocona	Experiment	0.7596	0.6692	0.9212	0.6193	0.7423	0.1326	FAIL
1/18/2006	3:10:28 PM	10692457	Z SCAM 04	Nocona	Experiment	0.8420	0.9211	0.9286	0.8855	0.8943	0.0396	FAIL
1/18/2006	4:48:15 PM	10692457	Z SCAM 03	Nocona	Experiment	1.1186	1.0623	1.1725	1.0063	1.0899	0.0716	PASS
1/18/2006	5:11:49 PM	10692457	Z SCAM 02	Nocona	Experiment	0.7122	0.7448	0.8257	0.6323	0.7288	0.0801	FAIL
1/18/2006	5:38:16 PM	10692457	Z SCAM 01	Nocona	Experiment	0.9793	1.2362	0.9545	1.0110	1.0453	0.1294	FAIL
1/18/2006	6:00:12 PM	10692457	Z SCAM 01	Nocona	Experiment	0.9501	1.1323	0.9528	0.8385	0.9684	0.1215	FAIL
1/18/2006	6:13:12 PM	10692457	Z SCAM 01	Nocona	Experiment	0.9651	1.2251	0.9592	1.0044	1.0385	0.1260	FAIL
1/18/2006	6:32:44 PM	10692457	Z SCAM 01	Nocona	Experiment	0.7656	0.9980	0.7766	0.7883	0.8321	0.1110	FAIL
1/18/2006	6:48:40 PM	10692457	Z SCAM 04	Nocona	Experiment	0.7161	0.8992	0.8575	0.9322	0.8513	0.0951	FAIL

Figura 6.3.1 Pantalla del programa desarrollado que muestra los resultados de las verificaciones realizadas de espesor de flux.

Cada medición se realizó a través del sistema implementado el cual sigue el procedimiento especificado en el diagrama de flujo de la figura 5.3.4 y 5.3.5. Los datos completos se muestran en la tabla 6.3.1.

Después de efectuar la toma de datos con el sistema desarrollado seguidamente se efectuó la verificación programando la referencia en un lado del cupón que no contenga flux y luego midiendo en el centro donde se encuentra el flux, los datos obtenidos por ambos procedimientos se comparan en la tabal 6.3.2, donde:

De la tabla 6.3.2 se observa que la diferencia que existe entre el procedimiento previo y el nuevo (entre 0.0225 y 0.0754 mils) es significativa ya que los valores de espesor de flux se encuentra entre los 1x10-2 mils. También se observa que la diferencia varía dependiendo del cupón, sin embargo para el mismo cupón la variación es mínima (refiérase a la desviación estándar de la tabla 6.3.2).

Para determinar el porqué de esta diferencia se realizan mediciones de espesor sobre los mismos cupones sin flux en el centro del cupón y hacia un lado ante una referencia establecida. Los resultados se muestran en la tabla 6.3.3 donde se observa que sí existe diferencia y que esta es muy aproximada a la diferencia que se presentó e la tabla 6.3.2, por lo que se concluye que la diferencia se debe a que los cupones no son completamente uniformes por tanto la importancia de efectuar la medición siempre en el centro del cupón lo cual se garantiza con el nuevo sistema.

Otra prueba fue medir el espesor sobre el flux aplicado en los cupones, en el centro y hacia un borde de la capa de flux, los resultados se muestran en la tabla 6.3.4, se puede observar que hacia el borde del flux el espesor es significativamente más alto (promedio 0.1342 mils) lo que afecta en mayor grado la medición, concluyendo en otro importancia de realizar la medición siempre en el centro del cupón.

Tabla 6.3.1 Datos obtenidos de 10 verificaciones de espesor de flux por medio del sistema desarrollado.

Medición	Espesor Cupón 1 (mil)			Espesor Cupón 2 (mil)			Espesor Cupón 3 (mil)			Espesor Cupón 4 (mil)		
	Pre	Post	Espesor	Pre	Post	Espesor	Pre	Post	Espesor	Pre	Post	Espesor
1	-0.0007	0.8601	0.8608	-0.3750	0.6910	1.0660	0.0344	1.0119	0.9775	-0.0706	0.8467	0.9173
2	-0.0002	0.7594	0.7596	-0.3421	0.3271	0.6692	0.0639	0.9851	0.9212	-0.0405	0.5788	0.6193
3	0.0002	0.8422	0.8420	-0.3909	0.5302	0.9211	0.0380	0.9666	0.9286	-0.0773	0.8082	0.8855
4	0.0004	1.1190	1.1186	-0.3849	0.6774	1.0623	0.0158	1.1883	1.1725	-0.0745	0.9318	1.0063
5	0.0005	0.7127	0.7122	-0.3784	0.3664	0.7448	0.0252	0.8209	0.8257	-0.0848	0.5475	0.6323
6	-0.0030	0.9763	0.9793	-0.3833	0.8529	1.2362	0.0159	0.9704	0.9545	-0.0851	0.9259	1.0110
7	0.0036	0.9537	0.9501	-0.3793	0.7530	1.1323	0.0197	0.9725	0.9528	-0.0791	0.7594	0.8385
8	-0.0034	0.9617	0.9651	-0.3744	0.8507	1.2251	0.0205	0.9797	0.9592	-0.0738	0.9306	1.0044
9	0.0008	0.7664	0.7656	-0.3769	0.6211	0.9980	0.0290	0.8056	0.7766	-0.0592	0.7291	0.7883
10	-0.0037	0.7124	0.7161	-0.3786	0.5206	0.8992	0.0233	0.8808	0.8575	-0.0730	0.8592	0.9322

Tabla 6.3.2 Comparación entre los datos obtenidos por medio del método anterior y el nuevo sistema desarrollado.

Medición	Espesor Cupón 1 (mil)			Espesor Cupón 2 (mil)			Espesor Cupón 3 (mil)			Espesor Cupón 4 (mil)		
	Previo	Nuevo	Diferen.	Previo	Nuevo	Diferen..	Previo	Nuevo	Diferen.	Previo	Nuevo	Diferen.
1	0.8200	0.8608	0.0408	0.9700	1.0660	0.0960	0.9100	0.9775	0.0675	0.8900	0.9173	0.0273
2	0.7100	0.7596	0.0496	0.6000	0.6692	0.0692	0.8700	0.9212	0.0512	0.5900	0.6193	0.0293
3	0.7900	0.8420	0.0520	0.8500	0.9211	0.0711	0.8500	0.9286	0.0786	0.8500	0.8855	0.0355
4	1.0700	1.1186	0.0486	0.9900	1.0623	0.0723	1.1400	1.1725	0.0325	1.0200	1.0063	-0.0137
5	0.6500	0.7122	0.0622	0.6600	0.7448	0.0848	0.7700	0.8257	0.0557	0.6000	0.6323	0.0323
6	0.9300	0.9793	0.0493	1.1500	1.2362	0.0862	0.9000	0.9545	0.0545	0.9900	1.0110	0.0210
7	0.9100	0.9501	0.0401	1.0600	1.1323	0.0723	0.8900	0.9528	0.0628	0.8100	0.8385	0.0285
8	0.9200	0.9651	0.0451	1.1700	1.2251	0.0551	0.9200	0.9592	0.0392	0.9800	1.0044	0.0244
9	0.7400	0.7656	0.0256	0.9400	0.9980	0.0580	0.7400	0.7766	0.0366	0.7800	0.7883	0.0083
10	0.6700	0.7161	0.0461	0.8100	0.8992	0.0892	0.8000	0.8575	0.0575	0.9000	0.9322	0.0322
Promedio			0.0459			0.0754			0.0536			0.0225
Des. Est.			0.0095			0.0134			0.0144			0.0148

Tabla 6.3.3 Mediciones del grosor de los cupones metálicos en el centro y a un lado.

Medición	Espesor Cupón 1 (mil)			Espesor Cupón 2 (mil)			Espesor Cupón 3 (mil)			Espesor Cupón 4 (mil)		
	Lado	Centro	Difernc.	Lado	Centro	Difernc.	Lado	Centro	Difernc.	Lado	Centro	Difernc.
1	0.0600	0.0300	-0.0300	-0.3000	-0.3600	-0.0600	0.1100	0.0700	-0.0400	-0.0500	-0.0400	0.0100
2	0.0600	0.0300	-0.0300	-0.3000	-0.3500	-0.0500	0.0900	0.0800	-0.0200	-0.0400	-0.0500	-0.0100
3	0.0600	0.0300	-0.0300	-0.2900	-0.3500	-0.0600	0.1000	0.0600	-0.0400	-0.0400	-0.0500	-0.0100
4	0.0600	0.0200	-0.0400	-0.2800	-0.3500	-0.0700	0.1000	0.0600	-0.0400	-0.0400	-0.0500	-0.0100
5	0.0600	0.0300	-0.0400	-0.2700	-0.3500	-0.0800	0.1000	0.0500	-0.0500	-0.0300	-0.0500	-0.0200
6	0.0700	0.0200	-0.0400	-0.2900	-0.3600	-0.0700	0.0900	0.0400	-0.0500	-0.0300	-0.0500	-0.0200
7	0.0600	0.0300	-0.0400	-0.2900	-0.3600	-0.0700	0.1000	0.0700	-0.0300	-0.0300	-0.0400	-0.0100
8	0.0700	0.0300	-0.0400	-0.2900	-0.3600	-0.0700	0.0900	0.0500	-0.0400	-0.0300	-0.0500	-0.0200
9	0.0600	0.0200	-0.0400	-0.2700	-0.3400	-0.0700	0.1000	0.0500	-0.0500	-0.0400	-0.0500	-0.0100
10	0.0700	0.0300	-0.0400	-0.2800	-0.3500	-0.0700	0.1000	0.0500	-0.0500	-0.0200	-0.0300	-0.0100
Promedio			-0.0370			-0.0670			-0.0410			-0.0110
Des. Est.			0.0048			0.0082			0.0099			0.0088

Tabla 6.3.4 Mediciones de espesor sobre la capa de flux aplicada a sobre los cupones en el centro y en un borde del flux.

Medición	Espesor Cupón 1 (mil)			Espesor Cupón 2 (mil)			Espesor Cupón 3 (mil)			Espesor Cupón 4 (mil)		
	Borde	Centro	Difernc.	Borde	Centro	Difernc.	Borde	Centro	Difernc.	Borde	Centro	Difernc.
1	1.0200	0.8000	-0.2200	0.6300	0.5000	-0.1300	1.1400	0.9300	-0.2100	0.9100	0.7600	-0.1500
2	0.9700	0.8100	-0.1600	0.9000	0.7900	-0.1100	1.3800	1.2500	-0.1300	1.1200	1.0600	-0.0600
3	1.1900	1.1600	-0.0300	0.8400	0.7500	-0.0900	1.3100	1.2300	-0.0800	1.0600	1.0000	-0.0600
4	1.0000	0.7700	-0.2300	0.5000	0.4100	-0.0900	1.0500	0.9100	-0.1400	0.7400	0.6100	-0.1300
5	0.8800	0.6900	-0.1900	0.5200	0.3400	-0.1800	0.9800	0.8300	-0.1500	0.6800	0.5500	-0.1300
6	1.1600	1.0400	-0.1200	1.0300	0.9300	-0.1000	1.1300	1.0400	-0.0900	1.1200	0.9900	-0.1300
7	1.0300	0.9100	-0.1200	0.8400	0.7100	-0.1300	1.0500	0.9200	-0.1300	0.9000	0.7200	-0.1800
8	1.1700	1.0000	-0.1700	1.0300	0.9000	-0.1300	1.1100	1.0200	-0.0900	1.1000	0.9700	-0.1300
9	0.8800	0.7400	-0.1400	0.6800	0.5800	-0.1000	0.8900	0.7500	-0.1400	0.8300	0.7000	-0.1300
10	0.8500	0.6700	-0.1800	0.6900	0.4800	-0.2100	1.0800	0.8500	-0.2300	1.0400	0.8200	-0.2200
Promedio			-0.1560			-0.1270			-0.1390			-0.1320

Capítulo 7 Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

- Por medio de una interfaz de comunicación y un programa computacional se logra tener control del dispositivo medidor desde la computadora lográndose capturar los datos de la medición.
- El sistema de control de posición permite colocar el centro del cupón bajo el sensor del dispositivo medidor.
- El sistema de control de posición presenta un comportamiento sub amortiguado ante una entrada escalón en lazo cerrado.
- Por medio del controlador PD diseñado se logra que el sistema se comporte de forma más estable ya que se logra disminuir el sobrepaso de un 30% a 7.5% y el tiempo de estabilización de 1.35 s a 1 s.
- El sistema no permite mezclar los cupones durante el proceso de verificación de flux.
- Los controles del dispositivo medidor no se requieren manipular lo que le permite aumentar su ciclo de vida.
- Los cupones presentan diferencia significativa en cuanto al grosor en su superficie.
- La capa de flux aplicado sobre los sustratos presenta mayor espesor en los bordes que en el centro.
- El sistema obliga al operario a realizar la medición de espesor de flux de la forma correcta, es decir que se realicen las mediciones en el centro del cupón antes y después de imprimir el flux.
- El sistema automatizado garantiza que los datos almacenados en los archivos son los valores reales de la medición.

7.2 Recomendaciones

- Diseñar un circuito de seguridad que desactive el sistema ante sobrecargas.
- Enviar la información obtenida de la verificación a las bases de datos de Intel a través de la red.
- Adaptar un sistema de faja en V para mover la mesa en lugar de la faja dentada para lograr mayor estabilidad y tracción.
- Implementar una etapa de calibración del sistema de control de posición ante desajustes, por medio de sensores que detecten los topes de la carrera de la mesa corrediza.

Bibliografía

[1] Documento de Intel “CAM Training Material”

[2] National Instruments: LabVIEW [en línea]. 2005 [citado 21 marzo 2005]. Disponible en http://www.ni.com/LabVIEW/esa/

[3] Documento de Intel “CAM Spec 75-3108”

[4] National Instruments: Soluciones GPIB (IEEE 488) [en línea]. 2005 [citado 21 marzo 2005]. Disponible en http://www.ni.com/gpib/esa/

[5] Kuo, Benjamín C., Sistemas de Control Automático, 7 Edición, Prentice 1996. México.

[6] Escuela Politécnica Superior de Albacete: Teoría de sensores [en línea]. 2005 [citado 13 abril 2005]. Disponible en http://www.info-ab.uclm.es.

[7] Bourns:Trimming Potentiometers [en línea]. 2005 [citado 06 junio 2005]. Disponible en http://www.bourns.com/

[8] National Instruments: USB Data Acquisition [en línea]. 2005 [citado 03 mayo 2005]. Disponible en http://www.ni.com/dataacquisition/usb/esa/

[9] RVSI: Acuity CiMatrix [en línea]. 2005 [citado 10 junio 2005]. Disponible en http://www.rvsi.com/

[10] Coughlin, Robert F, Driscoll, Frederick F, Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales, 5 Edición, Prentice hall 1999, México.

[11] Corporaciones Intel: Intel en Costa Rica [en línea]. 2005 [citado 15 febrero 2005]. Disponible en http://www.intel.com/costarica/encostarica.htm?iid=CR HPAGE

[12] Maxon Motor: Product [en línea]. 2005 [citado 20 de junio]. Disponible en http://www.maxonmotor.com/

[13] Elite: Product [en línea]. 2005 [citado 24 de junio]. Disponible en http://www.elite-ent.com.hk

[14] Hitachi: Silicon NPN Triple Diffused [en línea]. 2005 [citado 24 de junio]. Disponible en http://www.has.hitachi.com.sg/databook/Hitachi/Bipolar/2SD1138.pdf

Apéndices

A.1 Glosario, abreviaturas y simbología

Automatización: Tecnología que está relacionada con el empleo de sistemas mecánicos, electrónicos y basados en computadores, en la operación y control de ciertas labores industriales, administrativas o científicas.

Bandeja transportadora: Contenedor diseñado para sostener los sustratos.

CAM: (Significado en inglés Chip Attach Module) es el proceso utilizado para adherir el dado de silicio al sustrato.

Dado de silicio: Pequeña sección de material semiconductor (silicio), conformado por varios circuitos integrados. Es capaz de memorizar datos, gestionar información e interpretar y ejecutar instrucciones.

Deflux: Esta operación remueve residuos de flux atrapados entre el dado y el sustrato después de la operación de unión del chip.

DPCS: (Significado en inglés Die Placement Checking System), sistema de revisión por medio de cámaras que vigila la colocación del dado para detectar unidades desalineadas.

Esténcil: Una placa metálica con cortes con la forma de las unidades. Se coloca sobre el substrato de tal manera que el squeegees sólo aplica flux en el área del substrato en el que las unidades van a ser colocadas.

Flux: Pasta que permite que los puntos de soldadura de las conexiones del dado fluyan hacia los pines de soldadura del sustrato cuando se calientan. Además ayuda a remover los óxidos y contaminantes que se encuentren en la superficie de los puntos de unión.

GPIB: (Significado en inglés General-Pourpose Interface Bus), bus de interfaz de propósito general.

IEEE: (Significado en inglés Institute of Electrical and Electronics Engineers), Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.

Microprocesador: El componente principal de una computadora, a cargo de controlar el proceso central de datos.

Ono-Sokki: Marca del medidor de espesor sin contacto.

PC: Computadora personal.

PM: (Significado en inglés Preventive Maintenance routine), es una rutina de mantenimiento preventivo.

Sistema Estático: Sistema en el cual el estado actual depende sólo de las entradas actuales (la relación entre las variables está dada por una ecuación algebraica)

Sistema Dinámico: Sistema en el cual el estado actual depende de las entradas actuales y anteriores. Su estado varía con el tiempo y puede ser descrito por ecuaciones diferenciales.

Sobrepaso máximo (M_p): Es el valor pico máximo que presenta la variable controlada tomando como base su referencia.

Squeegee: Parte de la Impresora de flux, que distribuye el flux sobre el Esténcil.

Sustrato: placa diseñada para proveer conexión mecánica y eléctrica entre el dado de silicio y el panel de circuitos de una computadora.

Tiempo de estabilización (t_s): Es el tiempo en el cual la variable controlada alcanza su estado estable.

Tiempo de retardo (t_d): Es el tiempo en el cual la variable controlada va del 0 al 50% de su valor final.

Tiempo de subida (t_r): Es el tiempo en el cual la variable controlada va del 0 al 100% de su valor final de una sola vez.

USB: (Significado en ingles Universal Serial Bus), es un bus serial universal.

A.2 Manual de usuario

La pantalla principal del programa desarrollado para el monitoreo de espesor de flux se muestra en la figura A.2.1

Figura A.2.1 Pantalla principal de la aplicación desarrollada.

El programa cuenta con un menú personalizado el cual se encuentra localizado en la esquina superior izquierda de la pantalla principal. En al tabla A.2.1 se resumen las funciones del menú.

Tabla A.2.1 Descripción de las funciones del menú del programa.

Ítem Menú	Descripción	Puede ser accesado por:
File>New measurement	Da inicio al proceso de verificación de espesor de flux.	Operador, Técnico e Ingeniero.
File>EXIT	Se sale del programa LUNA.	Técnico e Ingeniero.
Operate>Information	Despliega una ventana donde se presenta en forma de tabla y gráfica información sobre el historial de mediciones realizadas.	Operador, Técnico e Ingeniero.
Operate>STOP	Detiene el programa.	Ingeniero.
Tools>User>Create	Despliega una pantalla para ingresar un nuevo usuario del sistema a la base de datos de usuarios.	Ingeniero.
Tools>User>Delete	Despliega una pantalla para borrar de la base de datos un usuario.	Técnico e Ingeniero.
Tools>Product>Create	Despliega una pantalla para ingresar un nuevo producto y sus parámetros a la base de datos de productos.	Ingeniero.
Tools>Product>Delete	Despliega una pantalla para borrar de la base de datos un producto.	Técnico e Ingeniero.
Tools>Link>Create	Despliega una pantalla para ingresar una nueva línea de producción a la base de datos de líneas.	Técnico e Ingeniero.
Tools>Link>Delete	Despliega una pantalla para borrar de la base de datos una línea de producción.	Técnico e Ingeniero.
Tools>Monitor Type>Create	Despliega una pantalla para ingresar una nueva opción para realizar la verificación de espesor a la base de datos de tipo de monitor.	Técnico e Ingeniero.
Tools>Link>Delete	Despliega una pantalla para borrar de la base de datos un tipo de monitoreo.	Técnico e Ingeniero.
Tools>Calibration	Esta opción se utiliza para calibrar la posición de la mesa corrediza y definir los puntos de paro de la mesa.	Técnico e Ingeniero.
Tools>Communicate with instrument	Esta opción se utiliza para seleccionar el bus de comunicación con el instrumento y verificar su funcionamiento.	Técnico e Ingeniero.
Help>About	Muestra información sobre la versión de LUNA	Operador, Técnico e Ingeniero.

Cuando se selecciona una opción del menú la cual solo puede ser acezada solo por ingeniero o técnico, aparece una pantalla solicitando una contraseña (ver figura A.2.2). Esta contraseña es asignada a la hora de crear un nuevo usuario lo cual se explica más adelante. Si no existe ningún usuario por favor contactar al dueño del sistema.

Figura A.2.2 Ventana para el ingreso de la contraseña para tener acceso a opciones de menú restringidas.

En caso de ingresar una contraseña incorrecta aparece el siguiente mensaje de error.

Figura A.2.3 Mensaje de error al ingresar contraseña incorrecta.

Crear un nuevo usuario:

- Opción del menú: Tools>User>Create

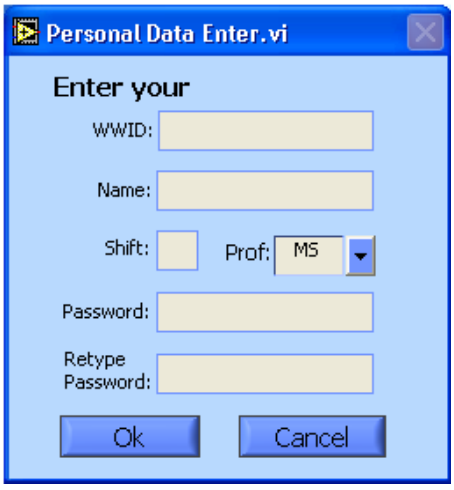


Figura A.2.4 Ventana para ingreso de usuarios del sistema

Una vez que se completan todos campos se presiona Ok o Enter:

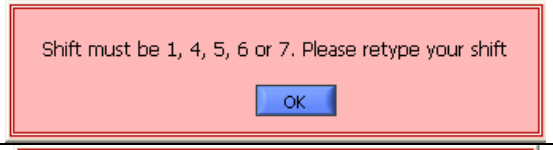
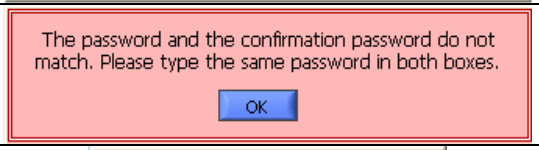
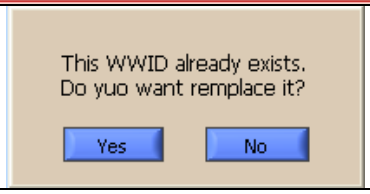
- Descripción de los Campos

Tabla A.2.2 Descripción de los campos de la interfaz para crear usuarios.

Campo	Descripción
WWID	Número de identificación del empleado
Name	Nombre del empleado
Shift	Turno de trabajo (1, 4, 5, 6 o 7)
Prof	Profesión, Ingeniero (ing), técnico (MTE) y operario (MS)
Password	Contraseña para cada usuario para algunas opciones del sistema
Retype Password	Repetir la contraseña para verificación

- Tipo de Mensajes después de presionado Ok o Enter

Tabla A.2.3 Descripción de los errores durante la creación de usuarios.

Error	Descripción
	EL número de identificación ingresado es inválido
	No se ha ingresado el nombre del usuario
	No se ingresa un número de turno correcto
	No se ha ingresado la contraseña
	La contraseña no es igual a la contraseña de verificación
	El numero de identificación ya existe, pregunta si se quiere remplazar

Borrar usuario

- Opción del menú Tools>User>Delete

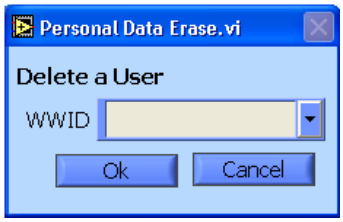


Figura A.2.5 Ventana para borrar usuarios.

En la cejilla del campo WWID se selecciona el usuario a eliminar y se presiona Ok o Enter:

Crear un nuevo producto:

- Opción del menú Tools>Product>Create

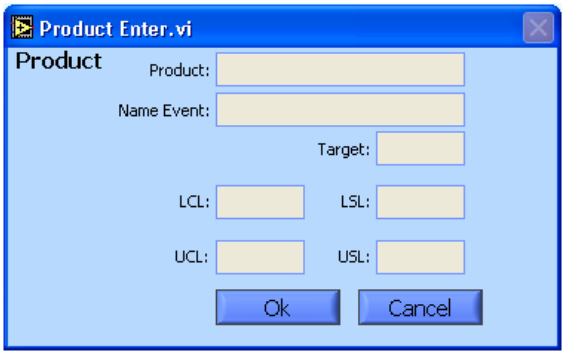


Figura A.2.6 Ventana para ingresar productos y sus parámetros.

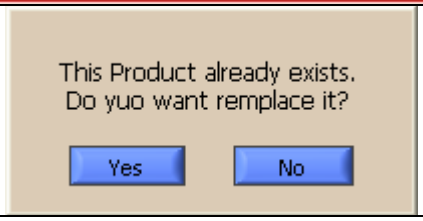
- Descripción de los Campos

Tabla A.2.4 Descripción de los campos de la interfaz para crear productos.

Campo	Descripción
Product	Nombre del producto
Name Event	Nombre del evento para la verificación de flux
Target	Valor ideal del espesor de flux
LCL (Low Control Limit)	Límite de control bajo
UCL (Uper Control Limit)	Límite de control alto
LSL (Low Spec Limit)	Límite de spec bajo
USL (Uper Spec Limit)	Límite de spec alto

- Tipo de Mensajes después de presionado Ok o Enter

Tabla A.2.5 Descripción de los mensajes durante ingreso de productos.

Mensaje	Descripción
	no se ha completado los campos
	El producto ya existe, pregunta si se quiere remplazar

Borrar producto

- Opción del menú Tools>Product>Delete

Figura A.2.7 Ventana para borrar usuarios.

En la cejilla del campo Product se selecciona el producto a eliminar y se presiona Ok o Enter:

Crear una nueva línea de producción:

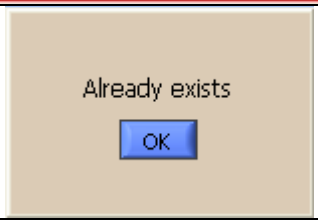
- Opción del menú Tools>Product>Create

Figura A.2.8 Ventana para el ingreso de una nueva línea de producción.

Ingrese el nombre de la nueva línea de producción en el campo Link y presione Ok o Enter.

- Tipo de Mensajes después de presionado Ok o Enter

Tabla A.2.6 Descripción de los mensajes durante ingreso de líneas.

Mensaje	Descripción
	no se ha ingresado la nueva opción para realizar la verificación
	LA opción ingresada ya existe

Borrar línea de producción

- Opción del menú Tools>Link>Delete

Figura A.2.9 Ventana para borrar líneas de producción

En la cejilla del campo Link seleccione la línea de producción a eliminar y presione Ok o Enter:

Crear una nueva opción para realizar la verificación:

- Opción del menú Tools>Type Monitor>Create

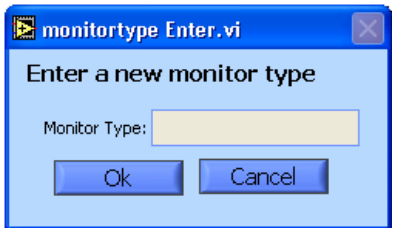


Figura A.2.10 Ventana para el ingreso motivos para realizar la medición.

Se Ingresa el nombre de la nueva línea de producción en el campo Link y se presiona Ok o Enter.

- Tipo de Mensajes

Los mensajes son los mismos que para el ingreso de líneas de producción.

Borrar opción de verificación de espesor

- Opción del menú Tools>Type Monitor>Delete

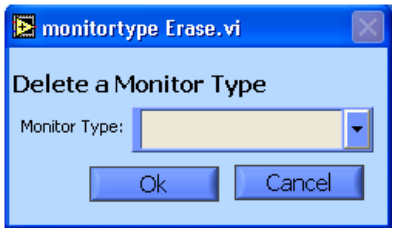


Figura A.2.11 Ventana para eliminar tipos de metos d verificación

En la cejilla del campo Monitor Tiype se selecciona la línea de producción a eliminar y se presiona Ok o Enter:

Calibración del sistema de control de posición.

- Opción del menú Tools>Calibration

Esta opción captura el voltaje del potenciómetro a los extremos de la carrera de la mesa corrediza y define la posición de medición, la posición de lectura de la marca del cupón y la posición de reposo. Esta calibración es importante ya que la lectura del potenciómetro puede variar por algún motivo como descalibración de la faja.

Consiste primero en una pantalla (Ver figura A.2.12.a) en donde se solicita empujar la mesa hasta el fondo para capturar el valor mínimo del voltaje en la terminal

variable del potenciómetro al presionar Enter. Seguidamente de presionar Enter se cambia el mensaje (ver figura A.2.12.b) para jalar la mesa corrediza hasta lograr el valor máximo del potenciómetro. Seguidamente la ventana varía para realizar las pruebas y definir las posiciones requeridas (figura A.2.12 c)

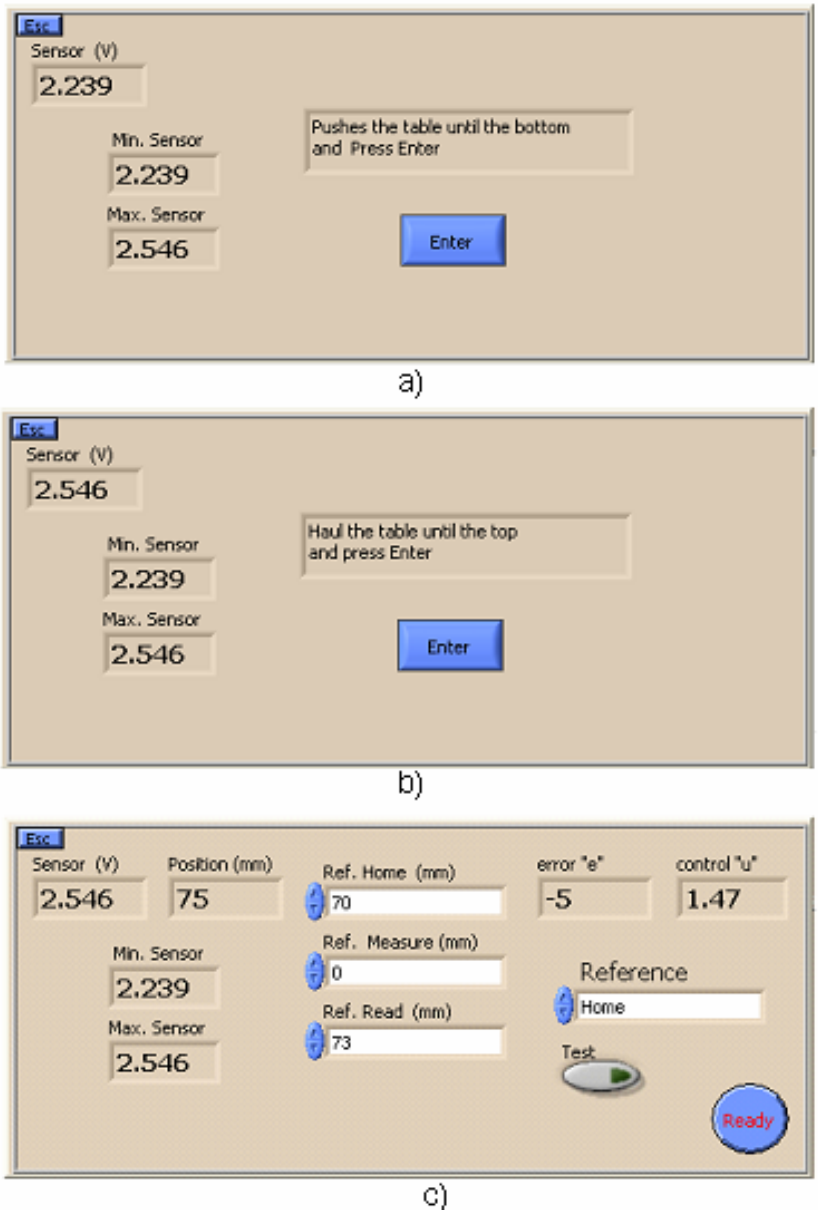


Figura A.2.12 Diferentes configuraciones de la ventana en cargada de la calibración.

Comunicación con el instrumento medidor

- Opción del menú Tools> Communicate with instrument

Esta opción es para seleccionar el puerto donde se encuentra conectado el dispositivo medidor y realizar la prueba de que exista comunicación.

La figura A.2.13 muestra las dos pantallas de la venta, en la primera se muestra una cejilla donde automáticamente aparecen los puertos habilitados de la computadora. Se selecciónale puerto correspondiente y se presiona Enter

Seguidamente el programa inicia la comunicación con el instrumento mostrando la lectura de dispositivo, si el valor es cero hay que asegurarse de que el dispositivo esté bien conectado y encendido.

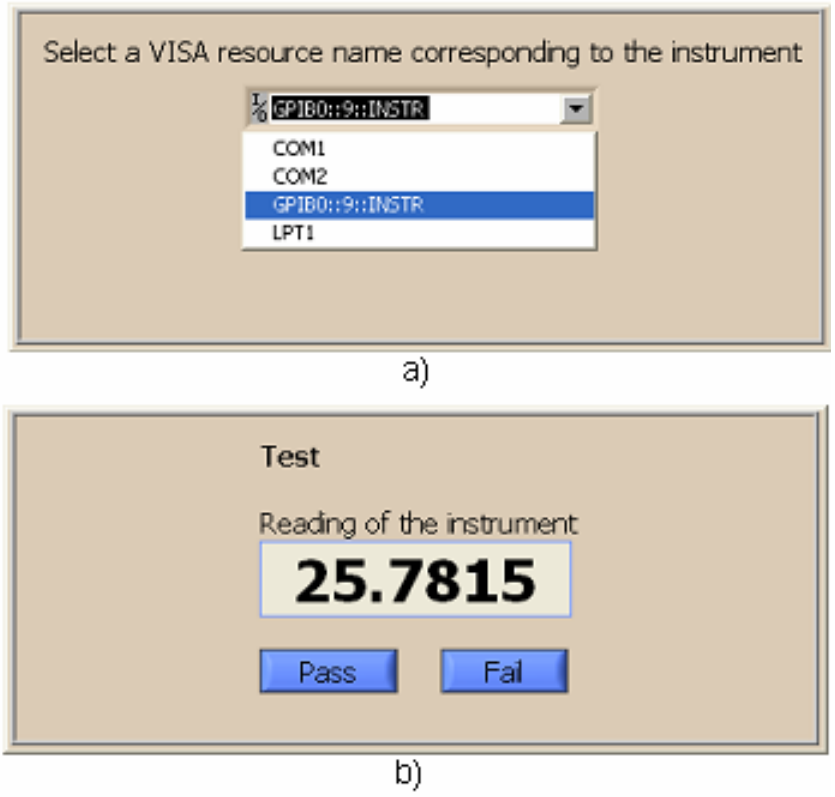


Figura A.2.13 Pantallas del proceso de verificación de la comunicación con el instrumento.

Realizar una verificación de espesor de flux

- Opción del menú Tools> File>New measurement

Al seleccionar una nueva medición aparece la pantalla de la figura A.2.14, la cual es para ingresar la información del proceso. La mayoría de la información se ingresa seleccionando los datos de las cejillas que se observan en la figura.

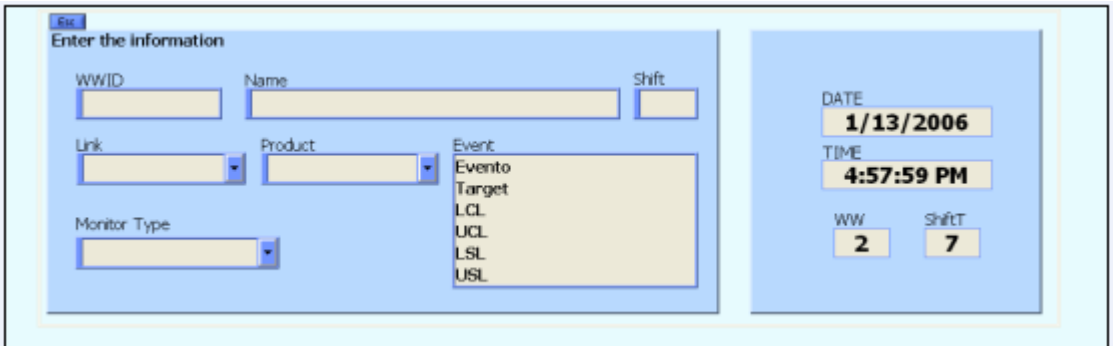


Figura A.2.14 Interfaz para el ingreso de la información del proceso.

Una vez que se han ingresado toda la información aparece un botón (ver figura A.2.15) el cual da acceso a la captura de datos.

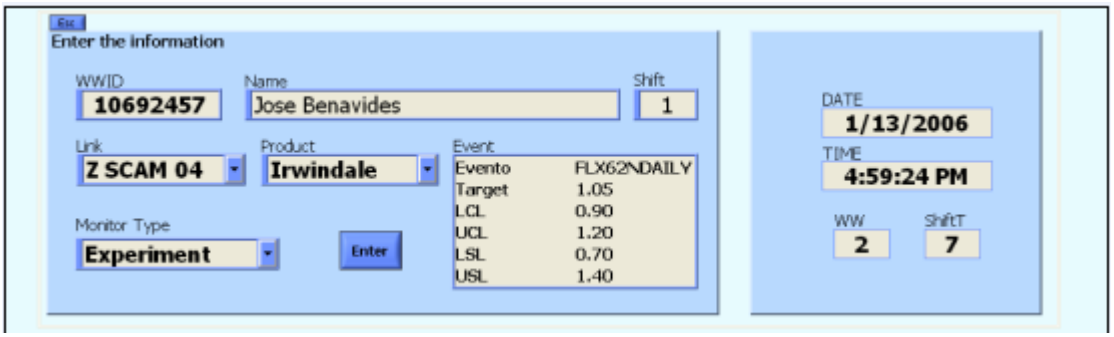


Figura A.2.15 Botón de acceso a la captura de datos.

En el momento que se presiona este botón, la mesa corrediza se desplaza a la posición de reposo y un mensaje aparece solicitando colocar el cupón en el boquete de la placa removible ver figura A.2.16. En el momento que se presiona Enter el motor lleva la mesa a la posición de lectura de la marca del cupón se verifica que la marca esté correcta y si es así, sigue avanzando hasta la posición de captura de la medición de espesor. Si se trata de la primera medición el sistema programa la

referencia al dispositivo medidor captura el dato, en las restantes mediciones solo captura el dato.

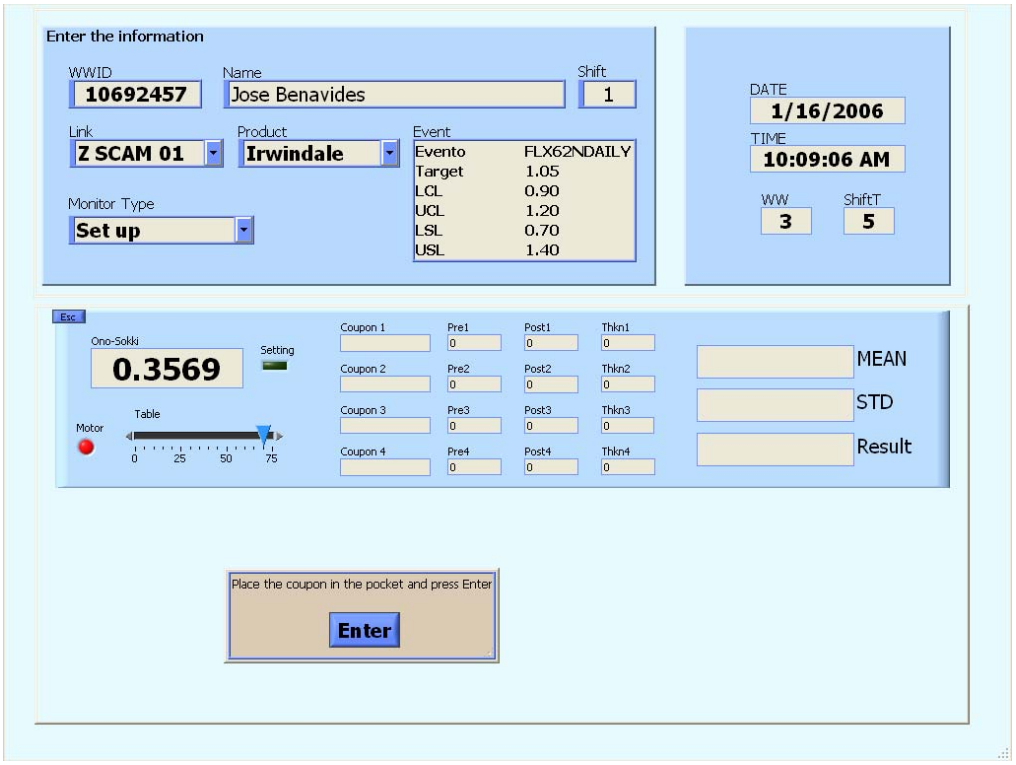


Figura A.2.16 Interfaz para captura de datos.

Cuando el sistema termina de capturar el dato lleva de nuevo la mesa a la posición de reposo, solicita por medio de un mensaje retirar el cupón (ver figura A.2.17) y vuelve a iniciar para realizar la segunda medición y así sucesivamente.

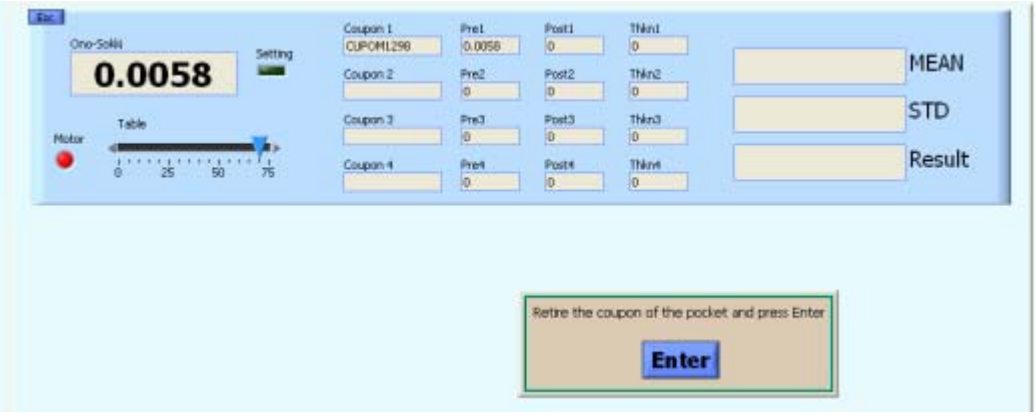


Figura A.2.17 Imagen después de captura de datos

Cuando se termina de medir los cuatro cupones sin flux, se bloque el programa y solo puede ser desbloqueado por medio de la contraseña del operario o por el administrador del sistema. La figura A.2.18 muestra el momento del bloqueo.

Figura A.2.18 Sistema bloqueado mientras se imprime el flux

Después de imprimir el flux y desbloquear el programa el proceso de medición es el mismo que sin flux.

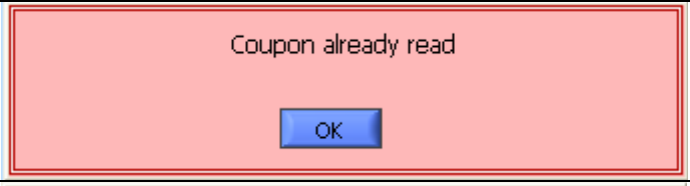
La marca del cupón permite detectar si los cupones corresponden a los previamente medidos y ayuda a relacionar las mediciones de cada cupón.

Después de medir los cupones con flux el sistema calcula el espesor, el promedio y la desviación estándar e indica si los valores esta dentro de los límites de control. Además gráfica el historial de los datos para la línea y el producto sobre medición. La Figura A.2.19 muestra la imagen final de la verificación de espesor de flux.

Figura A.2.19 Interfaz final del proceso de verificación de espesor de flux.

A continuación se muestran los errores generados sobre la detección de la marca del cupón.

Tabla A.2.7 Descripción de los Errores durante la lectura del a marca de los cupones

Error	Descripción
	Si no se coloca cupón o no se coloca en la posición adecuada y si la marca está dañada
	Cuando se vuelva a ingresar un cupón que ya fue leído en la misma verificación.
	Cuando durante la medición con flux se ingresa un cupón que no corresponde a las medidos previamente sin flux.

A.3 Información sobre la empresa/institución

A.3.1 Descripción de la empresa [11]

Corporaciones Intel se fundó en 1968 en el estado de California, EE.UU., para la construcción de productos semiconductores de memorias. En 1971 introdujo el primer microprocesador, y es hoy en día la mayor productora de procesadores a nivel mundial, y un fabricante líder de productos para computadoras, servidores, redes y comunicación.

Los microprocesadores son su principal producto, también llamados las unidades centrales de proceso (CPUs), se describen con frecuencia como el "cerebro" de una computadora porque controlan el proceso central de datos en los ordenadores personales (PC), servidores, y otros dispositivos.

Esta industria tiene 11 instalaciones de fabricación y seis instalaciones de ensamble y de prueba por todo el mundo y cuenta con aproximadamente 80 000 empleados en más de 45 países.

Intel produce el silicio para sus microprocesadores de alto rendimiento, chips y memoria flash en las instalaciones de fabricación. Después de que se construyen los productos basados en silicio, se envían a las instalaciones de montaje y de prueba de Intel donde cada wafer se corta en microprocesadores individuales, se coloca dentro de los paquetes externos, y se prueba para la funcionalidad.

Intel Costa Rica pone su énfasis en el montaje y la prueba del microprocesador. Inició operaciones en marzo de 1998, y en la actualidad cuenta con dos plantas de manufactura (CR1 y CR3) para ensamble y prueba de microprocesadores, y un centro de distribución (CR2) desde el que se envían productos manufacturados en Costa Rica directamente a clientes en todo el mundo. En la actualidad emplea aproximadamente 2200 personas.

Su campus de 52 hectáreas está ubicado en Belén, Heredia a sólo 10 Km de la capital San José y a solo 5 minutos del aeropuerto Internacional Juan Santamaría.

En Intel Costa Rica también se albergan importantes actividades de desarrollo de tecnología en las áreas de software, diseño de microprocesadores, ingeniería de productos, materiales y apoyo técnico a clientes finales de toda la región latinoamericana así como una amplia gama de servicios tipo 'back office' a clientes corporativos alrededor de todo el mundo.

A.3.2 Descripción del departamento en el que se realizará el proyecto.

El proyecto se desarrollará en el departamento de ensamble dirigido por Andy Lieu, directamente en el módulo de unión de chips (CAM), donde el administrador es José Cubero.

La función principal del módulo CAM es la de unir el chip del microprocesador con el sustrato, y de colocar componentes pasivos a los productos que lo requieren como los servidores.

El procedimiento consiste en aplicar suficiente flux sobre los sustratos en la parte donde debe ir colocado el dado de silicio, con el objetivo de limpiar la superficie y optimizar la unión. Imprimir pasta de soldadura en los espacios para componentes pasivos en el substrato. Colocar componentes pasivos en los sustratos en la alineación correcta. Colocar el dado sobre el substrato en la alineación correcta. Hacer el reflujo a los puntos de soldadura entre el dado y el substrato para hacer una conexión eléctrica entre ambos. Hacer un reflujo de la pasta de soldadura entre los componentes pasivos y sus pistas para hacer una conexión eléctrica entre ambas. Finalmente se quita el residuo de flux del paquete con agua desionizada.

Anexos

Anexo B.1 Fotografías del dispositivo medidor de espesor.

Figura B.1.1 Panel frontal del dispositivo medidor de espesor.

Figura B.1.2 Parte trasera del dispositivo medidor de espesor.

Figura B.1.3 Base con los sensores y mesa corrediza del dispositivo medidor de espesor.

Figura B.1.4 Cupón metálico sobre la mesa corrediza.

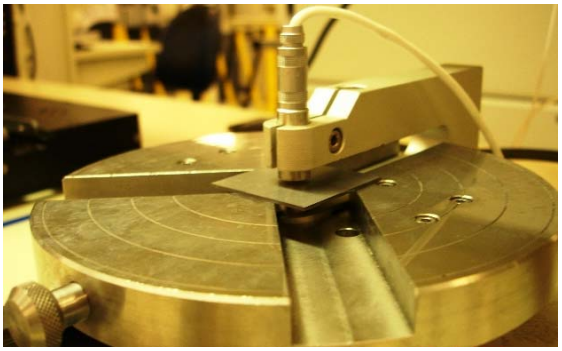


Figura B.1.5 Posición correcta del cupón para realizar la medición.

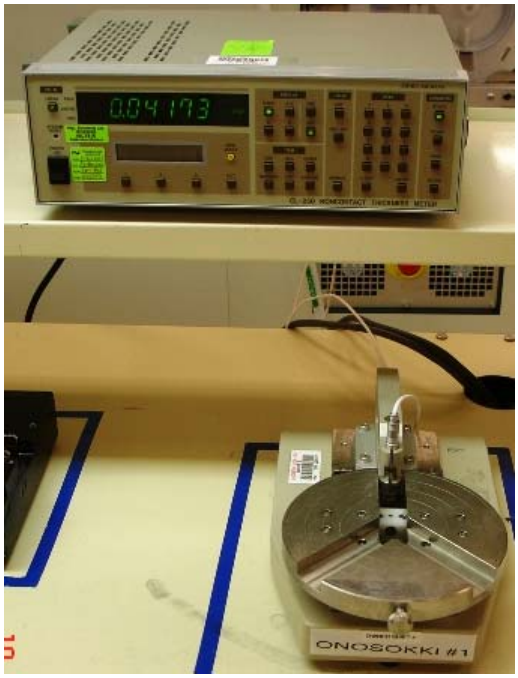


Figura B.1.6 Vista del dispositivo medidor y la mesa corrediza.

Anexo B.2 Comandos de Matlab

A partir de la función de transferencia como la que se muestra en la ecuación (B.2.1).

$$G(s) = \frac{as + b}{cs^2 + ds + e} \qquad \text{(B.2.1)}$$

Donde *a, b, c, d* y *e* son constantes.

Cálculo de raíces

```
>>roots([c,d,e])
```

Lugar de las raíces

```
>>num=[a,b];
>>den=[c,d,e];
>>rlocus(num,den)
```

Respuesta ante entrada escalón

```
>>num=[a,b];
>>den=[c,d,e];
>>step(num,den)
```

Respuesta ante escalón en lazo cerrado

```
>>num=[a,b];
>>den=[c,d,e];
>>[numc,denc]=cloop(num,den,-1);
>>step(numc,denc)
```

Anexo B.3 Hojas de datos

B.3.1 Convertidor GPIB-USB [4].

GPIB Controller for USB

NI GPIB-USB-B

- Completely IEEE 488.2 compatible
- Controls up to 14 GPIB instruments
- Compact size and light weight
- Plug and Play configuration
- USB 2.0 full-speed signaling – 12 Mb/s
- 880 kB/s maximum transfer rate
- No external power required
- Built-in 2 m USB cable
- No GPIB cable required to connect to instruments
- Compatible with USB 1.1

Operating Systems
- Windows 2000/XP/Me/98
- Linux

Recommended Software
- LabVIEW
- LabWindows/CVI
- Measurement Studio

Driver Software (included)
- NI-488.2

Overview

The compact National Instruments GPIB-USB-B transforms any computer with a USB port into a full-function, IEEE 488.2 controller that can control up to 14 programmable GPIB instruments. The small size and light weight of the NI GPIB-USB-B make it ideal for portable applications using a laptop computer or other applications in which the computer has no available internal I/O slots. The GPIB-USB-B works with Windows 2000/XP/Me/98 or Linux computers with a USB port.

The GPIB-USB-B is easy to install and use because there are no external DIP switches and you do not need to restart your computer for the system to recognize your IEEE 488.2 interface. The GPIB-USB-B is a plug-and-play interface that the OS automatically recognizes and configures as soon as you physically attach it to the USB port on your computer. With the GPIB-USB-B, you can get up and running quickly, so you can focus on developing your instrument control applications.

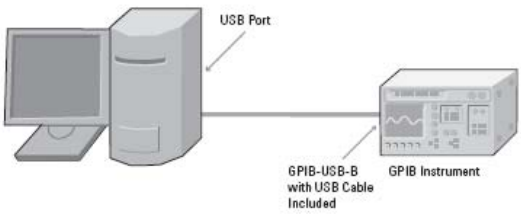


Figure 1. Easily connect your GPIB instruments to the USB port of your computer.

Using a TNT family Talker/Listener/Controller IEEE 488.2 ASIC, the GPIB-USB-B implements the full range of GPIB controller functions, including those required and recommended by IEEE 488.2. It also implements normal and extended talker and listener, serial and parallel polling, service requests, and pass/receive control functions. Drawing power directly from the USB port, the GPIB-USB-B requires no external power input.

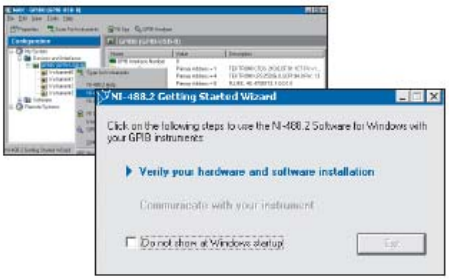
With NI-488.2, you get a robust driver with additional utilities and wizards that help you troubleshoot your applications and decrease your development time (see Figure 2). Furthermore, you maintain compatibility with existing systems. Applications previously written for other National Instruments GPIB controllers can run unmodified with the GPIB-USB-B.

Connecting the GPIB-USB-B to Your Instruments

The GPIB-USB-B does not require a GPIB cable for connecting to your instruments. You can attach it directly to the GPIB port on your instrument and then connect the USB cable to the USB port on your computer. If you have multiple instruments in a daisy chain or star configuration, attach any cables that connect to the other instruments first, and then piggyback the GPIB-USB-B as the last connector in the stack.

GPIB Controller for USB

A. Run the Getting Started Wizard



B. Communicate with your instrument

Figure 2. Take these easy steps to get up and running with your instrument communication.

Ordering Information

GPIB-USB-B and NI-488.2 for

Windows 2000/XP	778416-01
Windows Me/98	779192-01
Linux	779354-01

Includes built-in 2 m USB cable.

BUY NOW!

For complete product specifications, pricing, and accessory information, call (800) 813 3693 (U.S. only) or go to ni.com/gpib.

Specifications

USB Port

Full-speed USB signaling	12 Mb/s

IEEE 488 Compatibility

IEEE 488.1 and IEEE 488.2 compatible

Maximum IEEE 488 Bus Transfer Rates

Standard IEEE 488 handshake	880 kB/s

External Indicators

USB configured, USB active

Power Requirement

USB self-powered device

Maximum power consumption	200 mA

Physical

Dimensions	10.7 by 6.6 by 2.6 cm (4.2 by 2.6 by 1.0 in.)

I/O Connectors

GPIB	IEEE 488 standard 24 pin
USB	USB standard series A plug

Operating Environment

Temperature	0 to 55 °C
Relative humidity	10 to 90%, noncondensing

Storage Environment

Temperature	-20 to 70 °C
Relative humidity	5 to 95%, noncondensing

Compliance

Online at ni.com/compliance

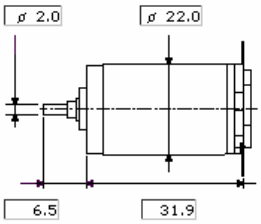
B.3.2 Motor de corriente continua [12].

maxon motor

A-max 22

CE approved

Ø 22 mm, Precious Metal Brushes CLL, 5 Watt



Dimensions in mm.
This schematic is not drawn to scale.

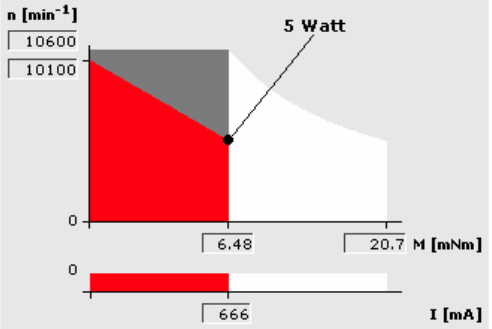
Order no.		110120
Motor data		
Power rating	W	5.0
Nominal voltage	Volt	9.0
No load speed	min^{-1}	8760
Stall torque	mNm	20.7
Speed/torque gradient	min^{-1} mNm^{-1}	426
No load current	mA	17
Starting current	mA	2130
Terminal resistance	Ohm	4.22
Max. permissible speed	min^{-1}	10600
Max. continuous current	mA	666
Max. continuous torque	mNm	6.48
Max. power output at nominal voltage	mW	4740
Max. efficiency	%	83.4
Torque constant	mNm A^{-1}	9.73
Speed constant	min^{-1} V^{-1}	981
Mechanical time constant	ms	19
Rotor inertia	gcm^2	4.16
Terminal inductance	mH	0.290
Thermal resistance housing-ambient	KW^{-1}	20
Thermal resistance rotor-housing	KW^{-1}	6.0
Thermal time constant winding	s	10

Specifications

Axial play	0.05-0.15 mm
Max. load of **sleeve bearings**	
axial (dynamic)	1.0 N
radial (5 mm from flange)	2.8 N
Press-fit force (static)	80 N
Max. load of **ball bearings**	
axial (dynamic)	3.3 N
radial (5 mm from flange)	13 N
Press-fit force (static)	45 N
Radial play **sleeve bearings**	0.012 mm
Radial play **ball bearings**	0.025 mm
Ambient temperature range	-30/+ 85 °C
Max. rotor temperature	+ 85 °C
Number of commutator segments	9
Weight of motor	54 g

- Values listed in the table are nominal.
- CLL = Capacitor Long Life.
- Option : ball bearings instead of sleeve bearings

Operating range



Recommended operating range
Continuous operation
Short term operation

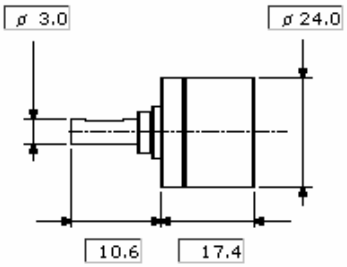
This graph is not drawn to scale.

B.3.3 Engranaje acoplado al motor [12].

maxon motor

Spur Gearhead GS 24

Ø24 mm, 0.1 Nm, sleeve bearing



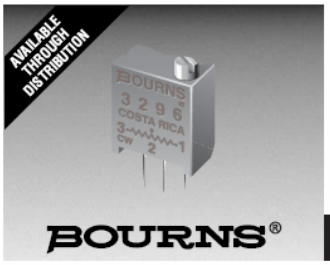
Dimensions in mm.
This schematic is not drawn to scale.

Order no.		110482
Gearhead data		
Reduction		32:1
Number of stages		4
Max. continuous torque at gear output	Nm	0.10
Intermittently permissible torque at gear output	Nm	0.15
Sense of rotation, drive to output		=
Max. efficiency	%	66
Weight	g	28
Average backlash, unloaded	°	2.5
Mass inertia	gcm^2	0.0080
Gearhead length	mm	17.4
Max. motor shaft diameter	mm	2.0

Technical data

Spur Gearhead	straight teeth
Output shaft	stainless steel, hardened
Bearing at output	sleeve bearing
Radial play , 8.0 mm from flange	max. 0.038 mm
Axial play	0.030-0.300 mm
Max. perm. radial load , 8.0 mm from flange	5.0 N
Max. perm. axial load	max. 8 N
Max. perm. force for press fit	max. 500 N
Recommended input speed	< 4,000 min^{-1}
Recommended temperature range	- 20 ... +100 °C
Option: extended temperature range -35...+100°C	

B.3.4 Potenciómetro lineal de rotación continua [7].



BOURNS®

Features

- Multiturn / Cermet / Industrial / Sealed
- 5 terminal styles
- Tape and reel packaging available
- Chevron seal design
- Listed on the QPL for style RJ24 per MIL-R-22097 and RJR24 per High-Rel Mil-R-39035
- Mounting hardware available (H-117P)

3296 - 3/8 " Square Trimming Potentiometer

Electrical Characteristics

Standard Resistance Range
.....10 ohms to 2 megohms
(see standard resistance table)
Resistance Tolerance .....±10 % std.
(tighter tolerance available)
Absolute Minimum Resistance
.....1 % or 2 ohms max.
(whichever is greater)
Contact Resistance Variation
.....1.0 % or 3 ohms max.
(whichever is greater)
Adjustability
Voltage.....±0.01 %
Resistance.....±0.05 %
Resolution.....Infinite
Insulation Resistance .....500 vdc.
1,000 megohms min.
Dielectric Strength
Sea Level .....900 vac
70,000 Feet.....350 vac
Effective Travel.....25 turns nom.

Environmental Characteristics

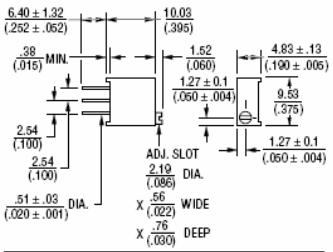
Power Rating (300 volts max.)
70 °C .....0.5 watt
125 °C .....0 watt
Temperature Range
.....-55 °C to +150 °C
Temperature Coefficient
.....±100 ppm/°C
Seal Test .....85 °C Fluorinert*
Humidity.....MIL-STD-202 Method 103
96 hours
(2 % ΔTR, 10 Megohms IR)
Vibration.....20 G (1 % ΔTR; 1 % ΔVR)
Shock.....100 G (1 % ΔTR; 1 % ΔVR)
Load Life
.....1,000 hours 0.5 watt @ 70 °C
(3 % ΔTR; 3 % or 3 ohms,
whichever is greater, CRV)
Rotational Life.....200 cycles
(4 % ΔTR; 3 % or 3 ohms,
whichever is greater, CRV)

Physical Characteristics

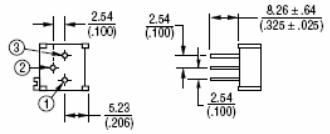
Torque .....3.0 oz-in. max.
Mechanical Stops.....Wiper idles
Terminals .....Solderable pins
Weight .....0.03 oz.
Marking .....Manufacturer's trademark, resistance code, wiring diagram, date code, manufacturer's model number and style
Wiper.....50 % ±10 %
Flammability .....U.L. 94V-0
Standard Packaging .....50 pcs. per tube
Adjustment Tool H-90

*"FLUORINERT" IS A REGISTERED TRADEMARK OF 3M CO.

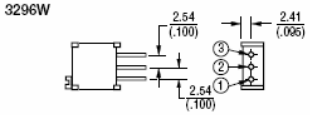
Common Dimensions



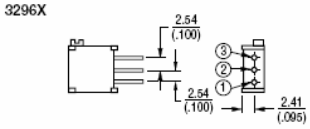
3296P



3296W



3296X



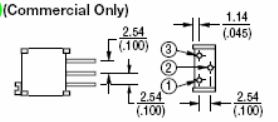
How To Order

3296 W - 1 - 103

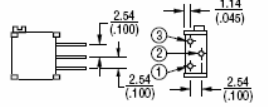
Model
Style
Standard or Modified Product Indicator
-1 = Standard Product
Resistance Code

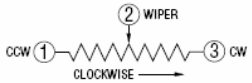
Consult factory for other available options.

3296Y (Commercial Only)



3296Z (Commercial Only)





TOLERANCES: ± 0.25 (.010) EXCEPT WHERE NOTED

DIMENSIONS ARE: MM / (INCHES)

Standard Resistance Table

Resistance (Ohms)	Resistance Code
10	100
20	200
50	500
100	101
200	201
500	501
1,000	102
2,000	202
5,000	502
10,000	103
20,000	203
25,000	253
50,000	503
100,000	104
200,000	204
250,000	254
500,000	504
1,000,000	105
2,000,000	205

Popular values listed in boldface. Special resistances available.

REV. 10/03

Specifications are subject to change without notice.
Customers should verify actual device performance in their specific applications.

B.3.5 Tarjeta de adquisición de datos [8].

Low-Cost Multifunction DAQ for USB

NI USB-6008, NI USB-6009

- Small, portable multifunction data acquisition devices
- 12 or 14-bit input resolution, at up to 48 kS/s
- Built-in, removable connectors for easier and more cost-effective connectivity
- 2 true DAC analog outputs for accurate output signals
- 12 digital I/O lines (TTL/LVTTL/CMOS)
- 32-bit event counter
- Student kits available

Operating Systems
- Windows 2000/XP
- Mac OS X
- Linux

Recommended Software
- LabVIEW
- LabWindows/CVI

Measurement Services Software (included)
- NI-DAQmx Base
- Ready-to-Run Data Logger

NEW

Product	Bus	Analog Inputs[1]	Input Resolution (bits)	Max Sampling Rate (kS/s)	Input Ranges (V)	Analog Outputs	Output Resolution (bits)	Output Rate (S/s)	Output Ranges (V)	Digital I/O Lines	32-bit Counter	Triggers
USB-6008	USB	8 SE/4 DI	10	10	±1 to ±20	2	12	150	0 to 5	12	1	Digital
USB-6009	USB	8 SE/4 DI	12	10	±1 to ±20	2	12	150	0 to 5	12	1	Digital

[1] See Input Configurations for more information.

Hardware Description

The National Instruments USB-6008 and USB-6009 multifunction data acquisition devices provide reliable data acquisition at a low price. With plug-and-play USB connectivity, these devices are simple enough for quick measurements, but versatile enough for more complex measurement applications.

Software Description

The NI USB-6008 and USB-6009 include a ready-to-run data logger application that acquires and logs up to eight channels of analog data. For more functionality, NI-DAQmx Base software is a multiplatform driver with a subset of the NI-DAQmx programming interface. Use it to develop customized DAQ applications with NI LabVIEW or C-based development environments.

Recommended Accessories

The USB-6008 and USB-6009 have built-in connectivity, so no additional accessories are required.

Common Applications

The USB-6008 and USB-6009 are ideal for a number of applications where economy, small size, and simplicity are essential, such as:
- Data logging – Log environmental or voltage data quickly and easily
- Academic lab use – The low price facilitates student ownership of DAQ hardware for completely interactive lab-based courses. Academic pricing available. Visit ni.com/academic for details.
- Embedded OEM applications

Information for Student Ownership

To supplement simulation, measurement, and automation theory courses with practical experiments, NI has developed the USB-6008 and USB-6009 student kits that include LabVIEW Student Edition and a ready-to-run data logger application. These kits are exclusively for students, giving them a powerful, low-cost hands-on learning tool. Visit ni.com/academic for more details.

Information for OEM Customers

For information on special configurations and pricing, please visit ni.com/oem.

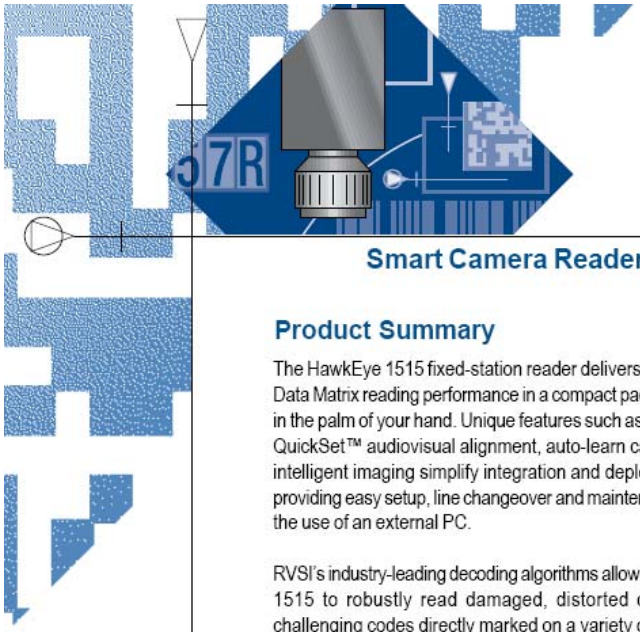
Ordering Information

NI USB-6008[1] 779051-01
NI USB-6009[1] 779026-01
NI USB-6008 Student-kit[1,2] 779320-22
NI USB-6009 Student-kit[1,2] 779321-22

[1] Includes NI-DAQmx Base Software, NI-Ready-to-Run Data Logger Software, and a USB cable.
[2] Includes LabVIEW Student Edition

NATIONAL INSTRUMENTS

B.3.6 Cámara lectora de código de matriz de punto [9].



HawkEye 1515

Smart Camera Reader for Directly Marked Data Matrix Codes

Product Summary

The HawkEye 1515 fixed-station reader delivers cutting-edge Data Matrix reading performance in a compact package that fits in the palm of your hand. Unique features such as the patented QuickSet™ audiovisual alignment, auto-learn capability, and intelligent imaging simplify integration and deployment while providing easy setup, line changeover and maintenance without the use of an external PC.

RVSI's industry-leading decoding algorithms allow the HawkEye 1515 to robustly read damaged, distorted or otherwise challenging codes directly marked on a variety of surfaces at rates of up to 30 parts per second. Built-in verification also enables users to monitor mark quality on a real-time basis to ensure readability. In addition to Data Matrix, the HawkEye 1515 also reads and auto-discriminates a variety of other 1-D or 2-D codes.

The HawkEye 1515 utilizes integrated LED lighting and optics to acquire high-quality images of Data Matrix codes applied on a variety of part surfaces via laser, dot-peen, inkjet, or other marking technologies. Its intelligent imaging selects optimum parameters for each new part, eliminating the need for user intervention that is often required to deal with part-to-part variations.

The QuicSet audiovisual alignment and unique auto-learn features allow users to easily and reliably align and train the unit in seconds, without the use of any external display or PC during initial setup or subsequent line changeovers. In addition, a powerful graphical interface permits users to remotely monitor and fine-tune performance, capture and review failed part images and other diagnostics, and remotely upgrade the reader's software.

The HawkEye 1515 comes standard with built-in Ethernet networking, serial communications, and enhanced digital I/O capabilities for triggering and easy integration with line equipment. The integrated networking enables remote monitoring and control from any location in the factory.

Features and Benefits

- Ultra-fast, robust reading of direct part mark Data Matrix symbols and bar codes
- QuicSet feature allows for alignment and part changeover without a PC
- Specialized, integrated lighting system
- Compact, flexible mounting configurations
- In-line verification for immediate, definitive symbol quality control
- Ethernet networking for fast data capture and transfer

Typical Traceability Applications

- Printed circuit board assembly
- Medical device manufacturing
- Automotive powertrain component production
- Aerospace component fabrication
- Pharmaceutical and consumer goods packaging

HawkEye 1500 Series Data Matrix Readers

Whether the application is a printed label or a challenging, directly marked part with little or no contrast, the HawkEye 1500 series readers provide cost-effective, robust reading solutions.

HawkEye 1515: Universal reader for the broadest range of Data Matrix reading applications

HawkEye 1525: Data Matrix reader with distortion-free, dark-field illumination, typically used for highly-reflective parts

HawkEye 1510: Data Matrix reader for applications requiring flexibility in the selection of lighting and optics

RVSI

HawkEye 1515

Specifications

Dimensions:	1.75" H x 2.25" W x 4.40" L (4.45 cm H x 5.72 cm W x 11.18 cm L)
Weight:	0.9 lbs (0.4 kg)
Power:	24 v at 350 mA typical
Optical Resolution:	640 x 480 Pixels
Min Contrast:	20% at 630 nm
Lighting:	Integrated bright-field LED with strobe operation
Decode Capability:	2-D: Data Matrix, PDF417 1-D: Code 39, Codabar, Code 93, I2of5, UPC/EAN, UPC-E, UPC Supplementals, Postnet, Pharmacode, Code 128
Verification:	Per AIM specifications
Communications:	Ethernet; RS232, Baud rates from 1200 bps to 115.2 Kbps
I/O:	1 opto-isolated input trigger 3 opto-isolated outputs 4 TTL level I/O Optional TTL level strobe output
Speed:	Up to 30 parts per second
Operating Temp:	32° F to 104° F (0° C to 40° C)
Storage Temp:	-4° F to 149° F (-20° C to 65° C)
Humidity:	Up to 95%, non-condensing
EMC:	EN61326:1998 Class A
Elec/Mech Safety:	EN61010-1:2002
Laser Safety:	EN60825-1:1993 Amendment 2 2001-01

Performance Characteristics

	Field of View:	Working Distance*:	Minimum Element Size:
HawkEye 1515MD	1.3" H x 1.0" V at 4.0" 3.30 cm H x 2.54 cm V at 10.16 cm 1.55" H x 1.19" V at 5.0" 3.94 cm H x 3.02 cm V at 12.70 cm 1.80" H x 1.36" V at 6.0" 4.57 cm H x 3.45 cm V at 15.24 cm	4.0" to 6.0" 10.16 cm to 15.24 cm	1-D: 0.005" (0.12 mm) 2-D: 0.010" (0.25 mm)
HawkEye 1515HD	0.87" H x 0.67" V at 2.5" 2.21 cm H x 1.70 cm V at 6.35 cm 1.0" H x 0.75" V at 3.0" 2.54 cm H x 1.90 cm V at 7.62 cm 1.11" H x 0.85" V at 3.5" 2.82 cm H x 2.16 cm V at 8.89 cm	2.5" to 3.5" 6.35 cm to 8.89 cm	1-D: 0.003" (0.07 mm) 2-D: 0.006" (0.15 mm)
HawkEye 1515SHD	0.50" H x 0.38" V at 3.0" 1.27 cm H x 0.97 cm V at 7.62 cm 0.55" H x 0.42" V at 3.5" 1.40 cm H x 1.14 cm V at 8.89 cm 0.60" H x 0.46" V at 4.0" 1.55 cm H x 1.07 cm V at 10.16 cm	3.0" to 4.0" 7.62 cm to 10.16 cm	1-D: 0.0015" (0.04 mm) 2-D: 0.003" (0.07 mm)
HawkEye 1515UHD	0.24" H x 0.18" V at 2.13" 0.61 cm H x 0.46 cm V at 5.41 cm 0.25" H x 0.19" V at 2.25" 0.64 cm H x 0.48 cm V at 5.71 cm 0.26" H x 0.20" V at 2.38" 0.66 cm H x 0.51 cm V at 6.05 cm	2.125" to 2.375" 5.50 cm to 6.03 cm	1-D: 0.0007" (0.02 mm) 2-D: 0.0013" (0.03 mm)
HawkEye 1515LHD	1.0" H x 0.75" V at 5.0" +/- 0.5" 2.54 cm H x 1.90 cm V at 12.7 cm +/- 1.27 cm		

*Working distance measured from last physical element to part.

CE

RVSI
486 Amherst Street
Nashua, NH 03063
Tel. 603.598-8400
Fax 603.577.5965
www.rvsi.com

RVSI Asia
No. 1 Shenton Way
#16-06/07
Singapore 068803
Tel. + 65 6336 5122
Fax + 65 6336 2366

RVSI Europe
New Barnes Mill
Cottonmill Lane
St. Albans
Hertfordshire
AL1 2HA
England
Tel. + 44 1 727 734690
Fax + 44 1 727 865935

Copyright © 2004 Robotic Vision Systems, Inc. All rights reserved. HawkEye is a trademark of Robotic Vision Systems, Inc. All other trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners. Specifications subject to change without notice. 03/04 5K MK-40211

RVSI

B.3.7 Transistor de potencia PNP (A940) [13].

Elite

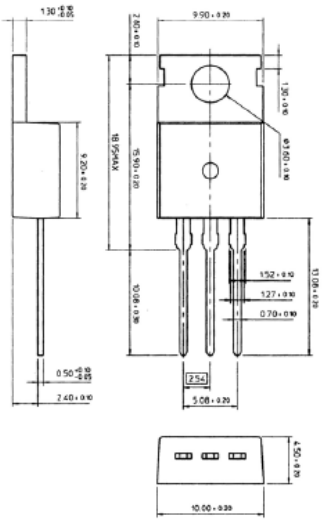
A940

PNP Epitaxial Silicon Transistor

VERTICAL DEFLECTION OUTPUT POWER AMPLIFIER

- Complement to C2073
- Collector-Emitter Voltage: V_{CEO}=-150V
- Collector Dissipation: P_C(max)=1.5W

TO-220



1. Base 2. Collector 3. Emitter

Absolute Maximum Ratings (T_A=25°C)

Characteristic	Symbol	Rating	Unit
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	-150	V
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	-150	V
Emitter-Base Voltage	V_{EBO}	-5	V
Collector Current	I_C	-1.5	A
Collector Dissipation	P_C	25	W
Junction Temperature	T_J	150	°C
Storage Temperature	T_{STG}	-55~+150	°C

Electrical Characteristics (T_A=25°C)

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Collector Cut-off Current	I_{CBO}	V_{CB}=-120V, I_E=0			-10	μA
Emitter Cut-off Current	I_{EBO}	V_{EB}=-5V, I_C=0			-10	μA
DC Current Gain	h_{FE}	V_{CE}=-10V, I_C=-500mA	40	75	140	
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(sat)}$	I_C=-500mA, I_B=-50mA			-1.5	V
Base-emitter ON Voltage	$V_{BE(on)}$	I_C=-500mA, V_{CE}=-10V	-0.65	-0.75	-0.85	V
Output Capacitance	C_{OB}	V_{CB}=-10V, I_E=0, f=1MHz		55		pF
Current Gain Bandwidth Product	f_T	V_{CE}=-10V, I_C=500mA		4		MHz

B.3.8 Transistor de potencia NPN (D1138) [14].

2SD1138

Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)

Item	Symbol	Rating	Unit
Collector to base voltage	V_{CBO}	200	V
Collector to emitter voltage	V_{CEO}	150	V
Emitter to base voltage	V_{EBO}	6	V
Collector current	I_C	2	A
Collector peak current	$I_{C\ (peak)}$	5	A
Collector power dissipation	P_C	1.8	W
	P_C*[1]	30	W
Junction temperature	Tj	150	°C
Storage temperature	Tstg	–45 to +150	°C

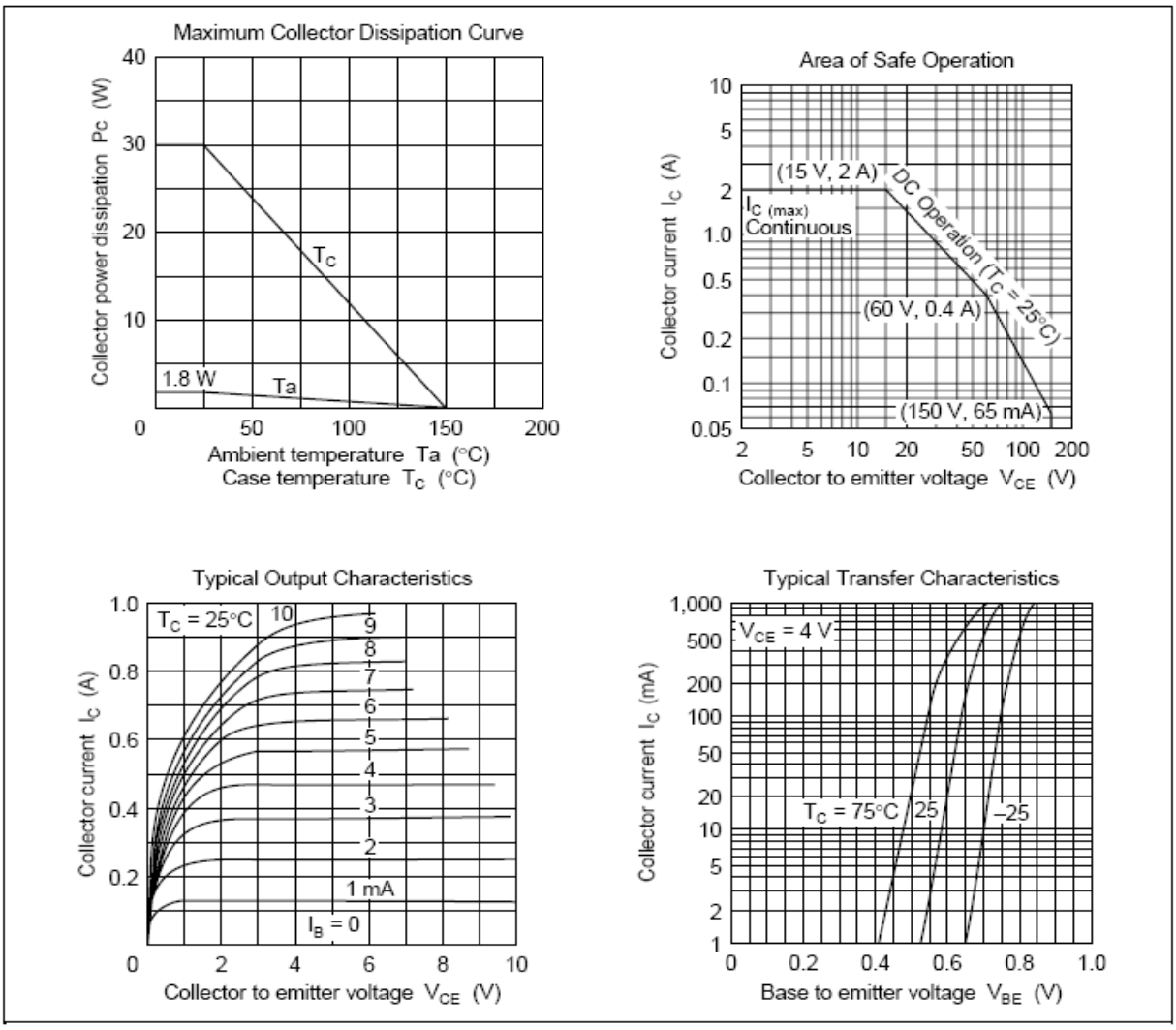
Note: 1. Value at T_C = 25°C.

Electrical Characteristics (Ta = 25°C)

Item	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	Test conditions
Collector to emitter breakdown voltage	$V_{(BR)CEO}$	150	—	—	V	I_C = 50 mA, R_{BE} = ∞
Emitter to base breakdown voltage	$V_{(BR)EBO}$	6	—	—	V	I_E = 5 mA, I_C = 0
Collector cutoff current	I_{CBO}	—	—	1	µA	V_{CB} = 120 V, I_E = 0
DC current transfer ratio	h_{FE1}*[1]	60	—	320		V_{CE} = 4 V, I_C = 50 mA
	h_{FE2}	60	—	—		V_{CE} = 10 V, I_C = 500 mA*[2]
Collector to emitter saturation voltage	$V_{CE\ (sat)}$	—	—	3.0	V	I_C = 500 mA, I_B = 50 mA*[2]
Base to emitter voltage	V_{BE}	—	—	1.0	V	V_{CB} = 4 V, I_C = 50 mA
Collector output capacitance	Cob	—	20	—	pF	V_{CB} = 100 V, I_E = 0, f = 1 MHz

Note: 1. The 2SD1138 is grouped by h_{FE1} as follows.
2. Pulse test.

B	C	D
60 to 120	100 to 200	160 to 320


Maximum Collector Dissipation Curve
Collector power dissipation Pc (W)
40
30
20
10
0
50
100
150
200
Tc
1.8 W
Ta
Ambient temperature Ta (°C)
Case temperature Tc (°C)
Area of Safe Operation
Collector current Ic (A)
10
5
2
1.0
0.5
0.2
0.1
0.05
(15 V, 2 A)
DC Operation (Tc = 25°C)
Ic (max)
Continuous
(60 V, 0.4 A)
(150 V, 65 mA)
2
5
10
20
50
100
200
Collector to emitter voltage VCE (V)
Typical Output Characteristics
Collector current Ic (A)
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
Tc = 25°C
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1 mA
IB = 0
0
2
4
6
8
10
Collector to emitter voltage VCE (V)
Typical Transfer Characteristics
Collector current Ic (mA)
1,000
500
200
100
50
20
10
5
2
1
VCE = 4 V
Tc = 75°C
25
–25
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
Base to emitter voltage VBE (V)
DC Current Transfer Ratio
vs. Collector Current
DC current transfer ratio hFE
500
200
100
50
20
10
5
VCE = 4 V
Tc = 75°C
25
–25
10
20
50
100
200
500
1,000
2,000
Collector current Ic (mA)
Collector to Emitter Saturation Voltage
vs. Collector Current
Collector to emitter saturation voltage VCE (sat) (V)
0.5
0.2
0.1
0.05
0.02
0.01
0.005
Ic = 10 IB
Tc = 75°C
–25
25
10
20
50
100
200
500
1,000
2,000
Collector current Ic (mA)