# POSICIONADOR AUTOMÁTICO DE UN PORTAMUESTRA

**EDGAR ANDRES MARIN VEGA**
**HELLEN ELIZABEHT VEGA NAVARRO**

**UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO**
**FACULTAD DE INGENIERIA**
**PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA**
**ARMENIA -QUINDIO**
**2005**

# POSICIONADOR AUTOMÁTICO DE UN PORTAMUESTRA

**EDGAR ANDRES MARIN VEGA**
**HELLEN ELIZABEHT VEGA NAVARRO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el titulo en ingeniería electrónica**

**DIRECTOR**
**JHON ALEXANDER VILLADA VILLALOBOS, Ingeniero Electrónico**

**ASESOR**
**ALEXANDER LOPEZ PARRADO, Ingeniero Electrónico**

**UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO**
**FACULTAD DE INGENIERIA**
**PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA**
**ARMENIA -QUINDIO**
**2005**

**Nota de Aceptación:**

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

**Firma del Jurado**

_____

**Firma del Jurado**

_____

**Firma del Jurado**

**Armenia __ __ __**

# *DEDICATORIA*

***Hellen Elizabeht Vega Navarro:***

*A Dios ante todo, por ser la fuente de inspiración y a él le doy todo el crédito, puesto que sin la ayuda de él nada de esto hubiera sido posible.*

*A mis padres quienes han sido los pilares para alcanzar cada uno de mis metas. Gracias por su apoyo, confianza, amor y ayuda incondicional. "Los amo mucho, papitos".*

*A toda mi familia en especial a mi hermano quienes quiero con toda mi alma, por acompañarme en esta etapa tan especial en mi vida.*

*A Yuli Giraldo por permitirme alcanzar mis sueños, y por su ayuda incondicional brindada en uno de los momentos más difíciles en mi vida.*

*A Edgar por acompañarme, tolerarme y creer en mí.*

*A mis grandes amigos y compañeros de trabajo Angela Muñoz y Oscar Triviño, por sus ánimos, consejos y compañía en todo el ciclo universitario.*

***Edgar Andrés Marín Vega:***

*A todas aquellas personas que me han apoyado durante estos seis años de esfuerzos y que han sido testigos de los frutos obtenidos a lo largo de este tiempo, especialmente mis padres y demás familia.*

*A mis amigos, esos que me han acompañado durante este tiempo, en las buenas y en las malas.*

*A Hellen, por su esfuerzo y porque durante el desarrollo de esta tesis me ha ayudado a conocerme a mi mismo.*

# AGRADECIMIENTOS

A nuestro director de tesis Alexander Villada Villalobos, Ingeniero Electrónico, por su valioso aporte y disposición al análisis y confrontación de ideas.

Al profesor Alexander López Parrado, por su valiosa colaboración y aportes en la ejecución del proyecto.

Al Instituto Interdisciplinario de las Ciencias y a Colciencias, por impulsar y financiar nuestro proyecto.

A Carlos Calle, Ingeniero Electrónico, por su gran interés y colaboración en hacer efectiva la adquisición de los materiales necesarios para la elaboración del proyecto.

A todas aquellas personas que aportaron su granito de arena, para que el desarrollo de este proyecto, fuera una realidad.

# RESUMEN

Se diseñó e implementó un dispositivo capaz de posicionar muestras de materiales semiconductores de 1 $cm^2$ de superficie, dentro de un plano X y Y y el cual tiene movimientos con una precisión mayor a los 10 μm, obteniendo así un gran número de muestras por unidad de superficie.

El sistema está constituido principalmente por un software de posicionamiento desarrollado bajo el entorno de programación LabView y un dispositivo de control externo, cuyo componente principal es un microcontrolador Motorola™ de la familia HC08.

El dispositivo dispone de 3 modos de operación: manual, automático y barrido automático, dependiendo del desplazamiento que desee el usuario. Cada uno de estos modos de operación, al igual que otras funciones adicionales, están disponibles en un panel de control de fácil acceso al usuario, lo que convierte a este dispositivo en una herramienta útil a la hora de posicionar muestras con gran precisión a muy bajo costo y con la posibilidad de adaptarlo a otras aplicaciones.



# ABSTRACT

We had been designed and implemented a device able to position semiconductors materials of 1 $cm^2$ of surface, inside a plane X & Y. The device has movements with a bigger precision more than 10 mm, obtaining in this way a great number of samples for surface unit.

The system is constructed mainly by a positioning software developed under LabView tool programmer and an external device whose main component is a microcontroller Motorola™ of the family HC908.

The device has 3 operation modes: manual, automatic and automatic sweep, depending of the displacement that the user wants. Each one of these operation ways, as same as others additional functions, are available in a panel of control of easy access to user, what transforms to this device into an useful tool to positioning samples with great precision at very low cost and with the possibility of adapting to others applications.

**TABLA DE CONTENIDO**


1. MARCO TEÓRICO ..... 1
1.1. PROPIEDADES MAGNETO-ÓPTICAS DE PELÍCULAS DELGADAS ..... 1
1.1.1. Instalación del Sistema de Caracterización Magneto Óptica (CMO) ..... 2
1.2. POSICIONADORES AUTOMÁTICOS EN EL MERCADO ..... 3
1.3. COMPONENTES DEL SISTEMA IMPLEMENTADO ..... 4
1.3.1. Entorno LABVIEW ..... 5
1.3.1.1. Programación Gráfica con LabView ..... 5
1.3.2. El Protocolo de Comunicación ..... 6
1.3.2.1. Características Eléctricas ..... 7
1.3.3. El Actuador ..... 7
1.3.3.1. Microcontrolador ..... 8
1.3.3.2. Los Motores ..... 8
1.3.3.2.1. Tipos de Motores Paso a Paso ..... 8
1.3.3.2.2. Funcionamiento de los Motores Unipolares ..... 9
1.3.3.2.3. Parámetros de los Motores Paso a Paso ..... 10
1.3.3.2.4. Ventajas y Desventajas de los Motores Paso a Paso ..... 11
1.3.3.2.5. Secuencias para Manejar Motores Paso a Paso Unipolares ..... 12
1.3.4. La Estación de Posicionamiento ..... 13
1.3.5. Sensores Ópticos ..... 14

2. HARDWARE ..... 15
2.1. PANEL DE CONTROL ..... 15
2.2. ETAPA DE CONTROL ..... 16
2.2.1. El Microcontrolador ..... 17
2.2.1.1. Descripción General ..... 17
2.2.1.2. La Memoria Flash del GP32 ..... 17
2.2.2. Circuito UPS (Uninterruptible Power Supply) ..... 18
2.2.3. El Conversor de Niveles RS-232-TTL ..... 19
2.3. ETAPA DE POTENCIA ..... 20
2.3.1. Búfer de Tres Estados ..... 21
2.3.2. Transistor Darlington ..... 21
2.3.3. Diodos de Marcha Libre ..... 22
2.4. MOTORES PASO A PASO ..... 23
2.5. CARGA MECÁNICA ..... 25
2.6. ACOPLE MECÁNICO MOTORES PASO A PASO - ESTACIÓN ..... 27
2.7. SENSORES ÓPTICOS ..... 28

3. SOFTWARE ..... 31
3.1. PROGRAMA EN COMPUTADOR (LABVIEW) ..... 31
3.1.1. Funcionamiento del programa ..... 34

3.1.1.1. Tablas de comandos de control ..... 36
3.1.1.2. Tabla de comandos de secuencia de motores ..... 36
3.1.2. Diagrama de Flujo ..... 37
3.2. PROGRAMA EN ENSAMBLADOR ..... 42
3.2.1. Diagrama de Flujo ..... 44
3.2.2. Modificación de la Memoria Flash del GP32 ..... 50
3.2.2.1. Algoritmo de Grabación ..... 51
3.2.2.2. Algoritmo de Borrado ..... 52
3.2.3. Configuración del Módulo Comunicación Serial (SCI) ..... 53
3.2.4. Interrupción Generada por el Timer ..... 55
3.2.5. Interrupción Generada por IRQ ..... 56

4. RESULTADOS ..... 57
4.1. FUNCIONES IMPLEMETADAS EN EL SISTEMA ..... 57
4.2. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA ..... 58
4.3. COSTOS ..... 59

5. CONCLUSIONES ..... 61

6. TRABAJOS FUTUROS ..... 63

7. ANEXOS ..... 67

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama descriptivo del sistema CMO. 3
Figura 2. Estación de posicionamiento NT57-758 4
Figura 3. Componentes principales del proyecto. 4
Figura 4. Error generado por problemas en la base de tiempos. 6
Figura 5. Sincronización y muestreo del carácter. 7
Figura 6. a) Motores unipolar, b) Motor bipolar. 9
Figura 7. Representación física de la secuencia de paso doble. 12
Figura 8. Diagrama de flujo del sistema de posicionamiento. 15
Figura 9. Sistema de posicionamiento. 16
Figura 10. Diagrama del circuito UPS. 18
Figura 11. a) Pines del MAX232, b) Conversor de niveles RS232. 20
Figura 12. Símbolo del búfer triestado. 21
Figura 13. a) Encapsulado TIP122, b) Circuito equivalente del TIP122. 22
Figura 14. Ubicación del diodo de marcha libre en la etapa de potencia. 23
Figura 15. Motor paso a paso Eastern. Código: 350-600-006. 24
Figura 16. a) Posicionador MT-XY, b) Estructura interna del posicionador. 25
Figura 17. Dimensiones de la estación de posicionamiento 26
Figura 18. Acople del posicionador 27
Figura 19. Sensor de proximidad Omron Z4M-W40. 29
Figura 20. Variación del offset para el voltaje de salida. 29
Figura 21. Panel frontal del programa principal. 32
Figura 22. Diagrama de flujo principal de LabView. 37
Figura 23. Diagrama de flujo principal de LabView. 38
Figura 24. Diagrama de flujo principal de LabView. 39
Figura 25. Diagrama de flujo principal de LabView. 40
Figura 26. Diagrama de flujo del barrido automático. 41
Figura 27. Diagrama de flujo principal del microcontrolador. 44
Figura 28. Diagrama de flujo principal del microcontrolador. 45
Figura 29. Diagrama de flujo de subrutina Procesar Dato. 46
Figura 30. Diagrama de flujo subrutina INC X. 47
Figura 31. Diagrama de flujo subrutina DEC X. 48
Figura 32. Diagrama de flujo subrutina Leer Sensor X. 49
Figura 33. Diagrama de flujo del algoritmo de grabación en la flash. 51
Figura 34. Diagrama de flujo del algoritmo de borrado de la memoria flash. 52
Figura 35. Configuración de bits del registro SCBR. 53
Figura 36. Diagrama de la rutina de generada por la interrupción del Timer. 55
Figura 37. Diagrama de la rutina de generada por el pin IRQ. 56

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Secuencia de paso doble. ..... 12
Tabla 2. Secuencia del tipo medio paso. ..... 13
Tabla 3. Secuencia del tipo paso simple. ..... 13
Tabla 4. Tabla de verdad del búfer triestado. ..... 21
Tabla 5. Resolución Vs Tiempo de respuesta del sensor. ..... 29
Tabla 6. Tabla de comandos de control. ..... 36
Tabla 7. Tabla de comandos de secuencias de motores. ..... 36
Tabla 8. Selección del preescalador. ..... 54
Tabla 9. Velocidad en baudios del SCI. ..... 54

# INTRODUCCIÓN

Desde un principio, la electrónica ha permitido a la humanidad desarrollar aplicaciones que la naturaleza no le había brindado; una de estas aplicaciones es la automatización, con la cual, procesos complejos que requieren de gran precisión y agilidad son realizados por instrumentos que superan al hombre en algunas funciones específicas. En la actualidad existen numerosos procesos los cuales requieren de sistemas con aplicaciones automatizadas. En nuestro caso se requiere de un sistema que posicione películas delgadas de materiales semiconductores en un plano XY. Este trabajo surge como parte del proyecto llamado *"Las Propiedades Magneto-Ópticas De Películas Delgadas De Mn0.6Zn0.4Fe204/Fe*" [1], del cual se hace referencia en el primer capítulo. La aplicación de las películas delgadas en el desarrollo de dispositivos e instrumentos en las comunicaciones, la informática y la nanotecnología hacen de estas estructuras un campo de gran interés en la investigación y en la tecnología. El estudio de las propiedades magneto-ópticas de materiales semiconductores resulta de gran utilidad a la hora de desarrollar nuevos dispositivos.

El estudio de propiedades magneto-ópticas ha sido ampliamente implementado realizando mediciones en un punto específico del material. Una variante muy utilizada es la de rotar el semiconductor de modo que permita estudiar las propiedades magnéticas en varias direcciones.

El sistema de posicionamiento que desarrollaremos en este trabajo permite realizar un mapeo de la superficie discriminando la respuesta magnética a lo largo de ella, lo que conlleva a avances significativos en el estudio de éstas propiedades y en la técnica de caracterización magneto óptica por efecto Kerr (MOKE).

Nuestro objetivo principal es entonces, desarrollar e implementar el sistema de posicionamiento automático del material semiconductor a través de toda su superficie y generar las coordenadas respectivas del punto donde se esté analizando el material. De este modo, se obtiene un mapa de las propiedades magnéticas del material[1]. Por lo tanto se requiere implementar un posicionador automático de un portamuestra en dos ejes (X, Y), cuyas muestras tendrán una superficie aproximadamente de $1cm^2$. Para este dispositivo se requiere de una precisión del orden de los 10 μm aproximadamente, y será controlado a través de motores paso a paso manejados a través de un software implementado bajo el entorno de LabView *(Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench)*.

[1] El mapeo se realiza mediante un movimiento en las ordenadas XY el cual debe tener una alta precisión

Este trabajo se ha estructurado en 6 capítulos. En el primer capitulo se hace una revisión de la teoría involucrada en el desarrollo del proyecto. En el segundo, se hace una descripción de las etapas que comprenden el sistema de posicionamiento y el hardware involucrado en el sistema. El tercero, está dedicado al análisis del software que interviene en el sistema de posicionamiento. El cuarto capitulo está dedicado a los resultados obtenidos en el desarrollo de este proyecto. En el quinto se mostrarán cada una de las conclusiones obtenidas y en el último capitulo se darán a conocer las proyecciones de este proyecto.

# CAPÍTULO 1

# MARCO TEÓRICO

Este proyecto consiste en el diseño e implementación de un posicionador automático de un porta muestras en dos ejes (X, Y), cuyas muestras tendrán una superficie aproximadamente de $1cm^2$. Para este dispositivo se requiere de una precisión del orden de los 10 μm aproximadamente[2], y es controlado a través de motores paso a paso manejados por medio de un sistema de control constituido principalmente por un computador y un microcontrolador. En este capítulo se hará una breve reseña sobre la técnica para la cual se implementa este dispositivo, una breve introducción al entorno de programación LabView y un análisis a la teoría involucrada en el desarrollo del proyecto.

## 1.1. PROPIEDADES MAGNETO-ÓPTICAS DE PELÍCULAS DELGADAS

El desarrollo tecnológico de los sistemas de deposición ha permitido incrementar la posibilidad de depositar gran cantidad de materiales en forma de películas delgadas.

En años más recientes, la producción y caracterización de multicapas y superredes, abrió una nueva puerta a la investigación de materiales y desarrollo de dispositivos. Entre los materiales preparados en multicapas, aquellos con propiedades magnéticas son de gran utilidad por su amplia proyección a la industria de almacenamiento de información y las comunicaciones.

El sistema de medidas magneto-ópticas por efecto Kerr (MOKE) es uno de los sistemas de reciente implementación para la evaluación de propiedades magnéticas y ha sido empleado en universidades como la Universidad de Indiana, The University van Ámsterdam, la Universidad de Costa Rica, y la Universidad Católica de Chile en las cuales se estudia de diversos compuestos, entre ellos estructuras de Fe y Co.

Pese a los múltiples métodos existentes para caracterizaciones magnéticas de materiales, sólo muy recientemente se están diseñando e implementando sistemas que permitan una caracterización de materiales magnéticos en películas delgadas, pues los sistemas clásicos no permiten identificar orientaciones en el ordenamiento magnético, principal característica de las películas delgadas y las multicapas [1]. Estos sistemas tampoco permiten un estudio sobre toda la superficie del material, principal diferencia con la técnica que se implementará en la Universidad del Quindío. Para

[2] La precisión esta determinada por el diámetro del haz del láser que incide sobre la muestra.

lograr esto se requiere de un dispositivo que permita posicionar automáticamente las muestras.

### 1.1.1. Instalación del Sistema de Caracterización Magneto Óptica (CMO)

Las técnicas de caracterización magnéticas con que cuenta la red de ciencia y tecnología en el país son la Resonancia Magnética Electrónica, Resonancia Magnética Nuclear, Susceptibilidad Magnética, Magnetorresistencia, Espectrorometría y Mössbauer. Estas técnicas dan información de la respuesta magnética del material en "bloque" sin discriminar la profundidad o estructura de las películas delgadas (monocapas o multicapas); una limitante adicional para el estudio de películas delgadas son las dimensiones de las cavidades de estas técnicas de alta resolución que no son prácticas cuando el material a caracterizar está en forma de película delgada, razones por las cuales un sistema de caracterización magneto-óptica (CMO) llega a ser un instrumento complementario de gran utilidad.

En el sistema CMO la evaluación de la muestra se realiza a través de un láser que incide sobre la película, cuya respuesta dependerá de la frecuencia del láser y del campo magnético al cual es sometida la muestra (ver Figura 1). Por lo tanto la caracterización magnética de la muestra puede ser realizada localmente a lo largo de la película. Otra fortaleza de este sistema es la posibilidad de estudiar la variación en las propiedades magnéticas de ciertos materiales cuando estos han sido crecidos en estructuras multicapas.

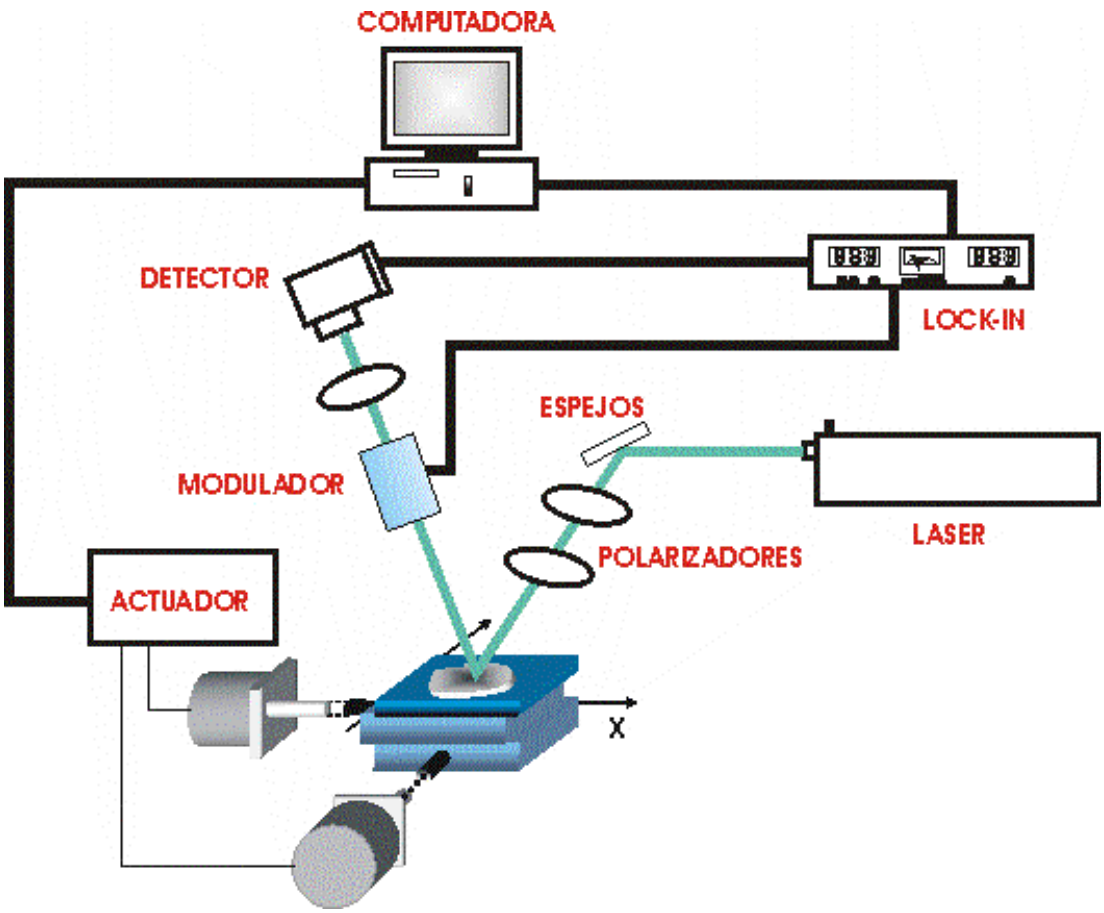



*Figura 1. Diagrama descriptivo del sistema CMO.*

## 1.2. POSICIONADORES AUTOMÁTICOS EN EL MERCADO

Las marcas más reconocidas en el mercado, dedicadas a la fabricación de éste tipo de dispositivos son Newport y Edmund Optics.

En el mercado, el dispositivo de posicionamiento que más se acomoda a las necesidades del sistema CMO es de la marca Edmund Optics, de referencia NT57-758 y descrita como una combinación de estación y actuador de 13mm de desplazamiento de un solo eje, cuyas unidades son métricas (ver Figura 2). Este posicionador tiene un precio de US$ 935 y como se requiere un posicionador por cada eje, el valor total es de US$ 1870 sin contar con gastos de envió desde los Estados Unidos [2].

*Figura 2. Estación de posicionamiento NT57-758*

Dispositivos similares, pero sin incluir muchas de las funciones implementadas en este proyecto, se pueden adquirir a costos muy elevados (alrededor de los 3.000 Dólares), lo que significa que el diseño y la implementación de este dispositivo resulta un gran beneficio principalmente en el campo científico y económico.

## 1.3. COMPONENTES DEL SISTEMA IMPLEMENTADO

El sistema implementado está constituido por los bloques mostrados en la Figura 3, los cuales se explican a continuación.

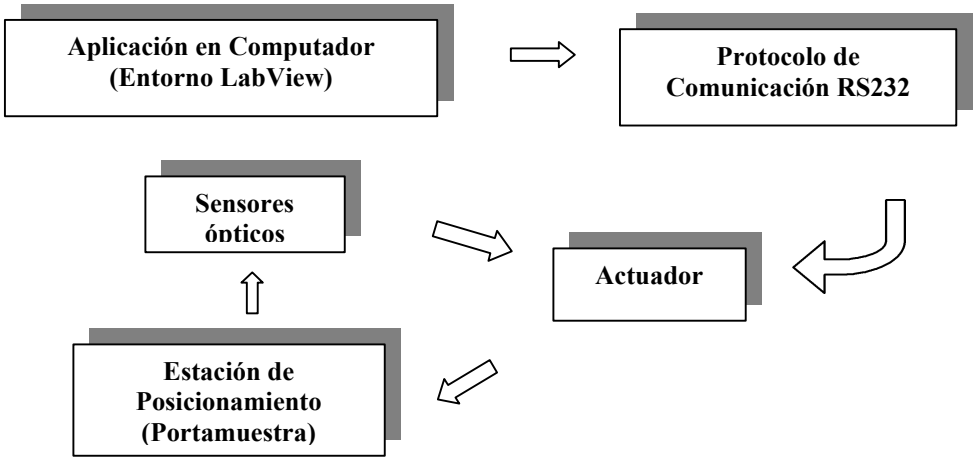



*Figura 3. Componentes principales del proyecto.*

### 1.3.1. Entorno LABVIEW

LABVIEW es un lenguaje de programación gráfico utilizado en el diseño de sistemas de adquisición de datos, instrumentación y control. La utilización de este entorno de programación se debe principalmente a que en el laboratorio donde se implementará la técnica de caracterización tiene la licencia de éste, y el programa de adquisición de datos está bajo este lenguaje de programación. Además LabView[3], permite diseñar interfaces de usuario mediante una consola interactiva basada en software y tiene la ventaja de que permite una fácil integración con hardware, específicamente con tarjetas de medición, adquisición y procesamiento de datos [3], [4].

LabView tiene su mayor aplicación en sistemas de medición, como monitoreo de procesos y aplicaciones de control.

#### 1.3.1.1. Programación Gráfica con LabView

El entorno de LabView trabaja con instrumentos virtuales (VI), los cuales se pueden crear a partir de especificaciones funcionales que se diseñe. Un VI puede utilizarse en cualquier otra aplicación como una sub-función dentro de un programa general.

La programación gráfica se basa en la realización de operaciones mediante la asignación de iconos que representen los datos numéricos e iconos que representan los procedimientos que deben realizar los (VI's), con estos iconos y mediante una conexión simple como lo es una línea recta se enlazan para determinar una operación y/o una función. Al diseñar el programa de forma gráfica, se hace visible una programación orientada al flujo de datos, donde se tiene una interpretación de los datos también de forma gráfica. También es necesario tener en cuenta que cuando se realiza una conexión a un VI esta conexión se identifica por un tipo de dato específico, que debe coincidir con el tipo de dato de la entrada del VI permitiendo una concordancia en el flujo de datos.

La programación G (gráfica) de LabView consta de un panel frontal y un panel de código como se mencionó antes. En el panel frontal es donde se diseña la interfaz de usuario y se ubican los controles e indicadores. En el panel de código se encuentran las funciones. Cada control que se utiliza en la interfaz tiene una representación en el panel de código, igualmente los indicadores necesarios para entregar la información procesada al usuario tienen un icono que los identifica en el panel de código o de programación. Los controles pueden ser boleanos, numéricos, strings, un arreglo matricial de éstos o una combinación de los anteriores [3], [4].

---

[3] A través de LabView se puede diseñar especificando su sistema funcional, su diagrama de bloques o una notación de diseño de ingeniería.

### 1.3.2. El Protocolo de Comunicación

La comunicación entre el computador y el microcontrolador se realiza de manera serial mediante el protocolo RS-232, que es la interfaz de comunicación serie más utilizado. La transmisión puede ser síncrona o asíncrona siendo la transmisión asíncrona más usada por su sencillez y por ello ha sido la implementada en el proyecto [5].

La transmisión asíncrona utiliza:

- 5, 6, 7 o 8 bits de datos
- 0 o 1 bit de paridad (la paridad puede ser par o impar)
- 1, 1.5 o 2 bits de STOP.

Cuando el computador cumple la función de emisor, este envía al microcontrolador (receptor) paquetes de 8 bits a una velocidad de 9600 bits/segundo, lo que implica que cada bit estará en la línea de transmisión durante 104µS. El microcontrolador requiere un reloj que le permita medir con precisión ese intervalo de tiempo, para saber cuándo ésta en la línea el segundo bit, el tercer bit, etcétera. Si el reloj utilizado por el receptor no mide el tiempo con precisión y la secuencia de bits es lo suficientemente larga, entonces los datos recibidos corresponderán a una secuencia de bits incorrecta (ver Figura 4). Lo mismo sucede en el caso contrario cuando el microcontrolador cumpla la función de emisor y el computador la de receptor.

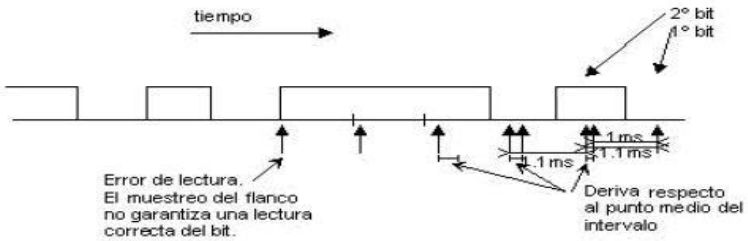



*Figura 4. Error generado por problemas en la base de tiempos.*

Cuando el emisor no transmite, en el periodo entre caracteres, la línea se mantiene a "1" lógico. Cuando decide transmitir un carácter, primero transmite un "0" que se denomina bit de START (inicio) y sirve para que el receptor se sincronice (empieza a contar tiempos desde ese momento). El instante de sincronismo es el flanco de bajada de la señal (ver Figura 5). Tras el bit de START se transmiten los bits de datos y después es obligatorio al menos un bit de STOP a "1" lógico. La secuencia se repite tantas veces como caracteres se transmitan. Este mecanismo de sincronización con el bit de START impide que la deriva de muestreo por diferencias entre los relojes

continúe en el siguiente carácter. Se asume que la deriva de muestreo no debe ser tan grande que provoque un error de muestreo en los bits de cada carácter.

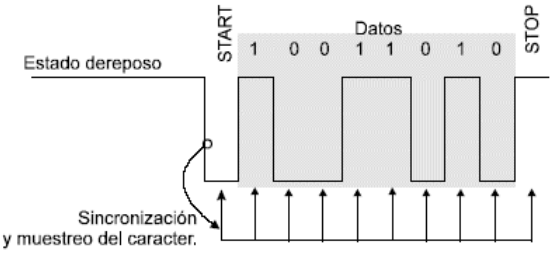



*Figura 5. Sincronización y muestreo del carácter.*

Un factor importante es la velocidad a la que se establece la comunicación. Se mide en baudios, que es la frecuencia de los impulsos eléctricos que viajan por la línea. Las velocidades más habituales son: 115.200, 57600, 38.400, 28.800, 14.400, 9.600, 7.200, 4.800, 2.400 y 1.200 baudios. La velocidad escogida es de 9600 baudios, debido a que la mayoría de los dispositivos que disponen de comunicación serial están configurados para trabajar con esta velocidad.

#### 1.3.2.1. Características Eléctricas

La subnorma eléctrica del protocolo RS232 establece que cada circuito tiene una referencia a tierra que es común para todos los circuitos.

La señal es bipolar con lógica invertida, utilizando los siguientes valores:

- 1 lógico =-3 a - 15 voltios
- 0 lógico = + 3 a + 15 voltios

La ausencia de señal (0 voltios) queda diferenciado del 0 y 1 lógicos. La norma RS232 es cortocircuitable, esto quiere decir, que los drivers de salida disponen de un mecanismo de auto-protección contra sobrecalentamientos. La tensión máxima de operación es +/- 15 voltios y la carga máxima es de 3 KΩ a 7 KΩ, con una corriente máxima de 500mA.

### 1.3.3. El Actuador

Es la parte encargada de hacer mover la estación de posicionamiento y está constituido principalmente por un Microcontrolador y dos motores Paso a Paso, los cuales se explican a continuación.

#### 1.3.3.1. Microcontrolador

Es el dispositivo más importante en nuestro sistema ya que reconoce el protocolo de comunicación entre el computador y el hardware, al realizar el control de errores en la transmisión de datos y guardar la posición del sistema en las coordenadas X y Y en la memoria flash, de tal manera que ésta nunca se pierda, sin importar que el dispositivo esté apagado.

#### 1.3.3.2. Los Motores

Son los encargados de convertir la energía eléctrica en mecánica. Existen tres alternativas en cuanto a motores se refiere: motores paso a paso, servomotores y motores DC*;* siendo los motores paso a paso los elegidos para el desarrollo de nuestro proyecto. Se descarta el uso de motores DC debido a que éstos requieren de un codificador para detectar la posición del sistema incrementando así su complejidad.

El motor paso a paso está concebido de tal manera que gira un determinado ángulo proporcional a la "codificación" de tensiones aplicadas a sus entradas. La posibilidad de controlar en todo momento esta codificación permite realizar desplazamientos angulares lo suficientemente precisos, dependiendo el ángulo de paso[4] del motor**.** De este modo, se logrará obtener una buena resolución en el mapeo de la muestra [6], [7].

Los servomotores se posicionan dependiendo del ancho de pulso que les es suministrado. La desventaja que tienen los servomotores ante los motores paso a paso es que son más costosos y complejos de usar.

La ventaja que tienen los servomotores es que son más veloces, pero aún así, la velocidad que ofrecen los motores paso a paso es suficiente para que el sistema funcione adecuadamente.

##### 1.3.3.2.1. Tipos de Motores Paso a Paso

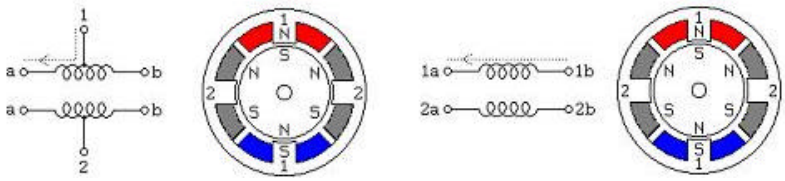
En cuanto a la forma de conexión y excitación de las bobinas del estator, los motores paso a paso se dividen en 2 tipos: unipolares y bipolares (ver Figura 6). Los motores unipolares[5] se llaman así porque la corriente que circula por los diferentes bobinados siempre circula en el mismo sentido. En los motores bipolares para que el motor

---

[4] El ángulo de paso puede ser tan pequeño como 1,80° hasta unos 15°

[5]Los motores unipolares por lo general poseen 5 o 6 cables, con una derivación en el centro de cada bobina.

funcione, la corriente que circula por los bobinados cambia de sentido en función de la tensión que se aplica; por lo que un mismo bobinado puede tener en uno de sus extremos distinta polaridad (bipolar) [8].




a) b)

*Figura 6. a) Motores unipolar, b) Motor bipolar.*

### 1.3.3.2.2. Funcionamiento de los Motores Unipolares

Internamente un motor de este tipo esta compuesto por dos bobinas con punto medio. Estas bobinas se ubican en lo que se denomina *estator***,** es decir la carcaza exterior del motor. Además del estator, este tipo de motor está compuesto por una parte móvil estriada denominada *rotor***.** Cuando se aplica tensión a cualquiera de las cuatro bobinas existentes ésta genera un campo magnético. Ante esta situación, una estría del rotor se alinea con este campo, desplazándose así un determinado número de grados. A este desplazamiento se lo denomina *paso***.** Si en esta situación se desenergiza la antes mencionada bobina y se alimenta la siguiente el rotor girará otro paso en la dirección dada. Es necesario que esta tensión sea capaz de entregar la corriente necesaria para que las bobinas del motor se exciten.

En los motores unipolares el punto medio de ambos bobinados es alimentado eléctricamente por uno de los polos y el otro polo de alimentación se aplica a los diferentes terminales de los bobinados siguiendo un determinado ritmo que hace que el motor funcione en determinada dirección y velocidad.

### 1.3.3.2.3. Parámetros de los Motores Paso a Paso

Las Principales características y parámetros que se definen sobre un motor paso a paso [8] son:

**Par dinámico de trabajo *(Working Torque)*:**

Es el momento máximo que el motor es capaz de desarrollar sin dejar de responder a algún impulso de excitación del estator.

**Par de mantenimiento *(Holding Torque)*:**

Es un par requerido para desviar, en régimen de excitación, un paso el rotor cuando la posición es estable[6]; actúa como freno para mantener el rotor en una posición estable dada

**Par de detención *(Detention Torque)*:**

Es una par de freno que siendo propio de los motores de imán permanente, es debida a la acción del rotor cuando los devanados del estator están desactivados.

**Angulo de paso *(Step angle)*:**

Se define como el avance angular que se produce en el motor por cada impulso de excitación y se mide en grados.

**Número de pasos por vuelta:**

Es la cantidad de pasos que ha de efectuar el rotor para realizar una revolución completa; evidentemente es $NP = \frac{360}{a}$ donde ***NP*** es el número de pasos y **á** el ángulo de paso.

**Frecuencia de paso máximo *(Maximum pull-in/out)*:**

Máximo número de pasos por segundo que puede recibir el motor funcionando adecuadamente.

---

[6] El par de mantenimiento es mayor que el par dinámico puesto que es mayor la fuerza necesaria para que un imán abandone una posición estable, que el momento que se obtiene al ser éste atraído por otra bobina desde esa misma posición.

**Momento de inercia del rotor:**

Momento de inercia asociado que se expresa en gramos por centímetro cuadrado.

### 1.3.3.2.4. Ventajas y Desventajas de los Motores Paso a Paso

**Ventajas:**

Los motores paso a paso presentan grandes ventajas con respecto a los servomotores debido a que se pueden manejar digitalmente sin realimentación, su velocidad se puede controlar fácilmente, tiene una larga vida, son pequeños, robustos y poseen un elevado torque en bajas revoluciones, lo que permite un bajo consumo con o sin carga [9].

Además de las ya mencionadas, los motores paso a paso tienen otras ventajas como:

- Un diseño efectivo y un bajo costo.
- Alta confiabilidad
- Está disponible con un amplio rango de ángulos de paso sin controladores ni circuiterías especiales.
- La inercia del motor es baja.
- su mantenimiento es mínimo, debido a que no tienen escobillas
- La corriente de arranque es baja.
- Ofrecen un amplio rango de control de velocidad y reversibilidad.
- Los motores paso a paso múltiples que se excitan a partir de la misma fuente mantienen una perfecta sincronización.

**Desventajas:**

A los motores paso a paso no se les puede hacer girar a gran velocidad[7], (300 a 600 RPM máximo), puesto que se reduce el torque, pero como ya se mencionó, la velocidad requerida por nuestro sistema es baja. Si la frecuencia del paso se hace igual a la frecuencia propia de oscilación del motor, esté se pondrá en oscilación no amortiguada, con lo cual el eje se moverá enérgicamente en vaivén.

---

[7] Si se aumenta mucho la velocidad, la duración de los pulsos que reciben las bobinas disminuye y por tanto, no da tiempo a que se carguen totalmente, entregando poco torque en relación con el alto consumo de corriente que tienen.

Si se mantienen energizadas 1 o 2 bobinas constantemente el motor paso a paso disipa gran cantidad de energía en la parte resistiva de los arrollamientos del estator y se tendrá un alto consumo de corriente, debido a que la resistencia de las bobinas es muy baja para corriente continua.

### 1.3.3.2.5. Secuencias para Manejar Motores Paso a Paso Unipolares

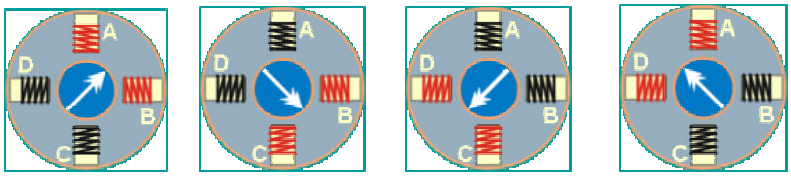
Existen tres secuencias posibles para este tipo de motores, las cuales se detallan a continuación. Todas las secuencias comienzan por el paso 1 una vez alcanzado el paso final (4 u 8). Para revertir el sentido de giro, simplemente se deben ejecutar las secuencias en modo inverso [9], [10].

**Secuencia del Tipo Paso doble:** Esta es la secuencia utilizada en el desarrollo de este proyecto. Con esta secuencia el motor avanza un paso por vez y debido a que siempre hay al menos dos bobinas activadas, se obtiene más torque de paso y de retención que con las demás secuencias.

Con el paso doble se activan las bobinas de dos en dos con lo que se genera un campo magnético más potente que atraerá con más fuerza y retendrá el rotor del motor en el sitio (ver Figura 7).

| Nº Paso | Bobina A | Bobina B | Bobina C | Bobina D |
|---|---|---|---|---|
| **1** | 1 | 1 | 0 | 0 |
| **2** | 0 | 1 | 1 | 0 |
| **3** | 0 | 0 | 1 | 1 |
| **4** | 1 | 0 | 0 | 1 |

*Tabla 1. Secuencia de paso doble.*




**Paso 1** **Paso 2** **Paso 3** **Paso 4**

*Figura 7. Representación física de la secuencia de paso doble.*

**Secuencia del tipo medio paso:** En esta secuencia se activan las bobinas de tal forma de brindar un movimiento igual a la mitad del paso real. Para ello se activan primero 2 bobinas y luego solo 1 y así sucesivamente. Como vemos en la tabla la secuencia completa consta de 8 movimientos en lugar de 4.

| Nº Paso | Bobina 4 | Bobina 3 | Bobina 2 | Bobina 1 |
|---|---|---|---|---|
| **1** | 1 | 0 | 0 | 0 |
| **2** | 1 | 1 | 0 | 0 |
| **3** | 0 | 1 | 0 | 0 |
| **4** | 0 | 1 | 1 | 0 |
| **5** | 0 | 0 | 1 | 0 |
| **6** | 0 | 0 | 1 | 1 |
| **7** | 0 | 0 | 0 | 1 |
| **8** | 1 | 0 | 0 | 1 |

*Tabla 2. Secuencia del tipo medio paso.*

**Secuencia del tipo paso simple:** En esta secuencia se activa solo una bobina a la vez. En algunos motores esto brinda un funcionamiento más suave. La contrapartida es que al estar solo una bobina activada, el torque de paso y retención es menor.

| Nº Paso | Bobina 4 | Bobina 3 | Bobina 2 | Bobina 1 |
|---|---|---|---|---|
| **1** | 1 | 0 | 0 | 0 |
| **2** | 0 | 1 | 0 | 0 |
| **3** | 0 | 0 | 1 | 0 |
| **4** | 0 | 0 | 0 | 1 |

*Tabla 3. Secuencia del tipo paso simple.*

### 1.3.4. La Estación de Posicionamiento

Este es el dispositivo encargado de convertir el movimiento de giro del eje del motor en un desplazamiento lineal, que se refleja en la base plana donde se coloca la muestra del material semiconductor.

Está constituido por dos ejes centrales (uno para cada coordenada) y un conjunto de engranajes diseñados para que las velocidades de giro y los momentos de torsión sean los deseados, de acuerdo con la relación de transmisión que determina la precisión de los movimientos de la base, en proporción al ángulo de giro realizado por el eje central.

Este dispositivo está representado como la carga mecánica en el hardware de nuestro sistema de posicionamiento.

### 1.3.5. Sensores Ópticos

Son los responsables de detectar la posición real del portamuestra y su movimiento. De esta manera se logra sincronizar el sistema de control (LabView y actuador), con el posicionador.

Estos sensores están formados por un elemento irradiante, un particular tipo de luz (generalmente infrarroja, roja o bien verde) y por un elemento fotosensible al tipo de luz irradiada. La presencia, o bien la ausencia de la luz del elemento sensible se aprovecha para producir un cambio de la condición de salida del sensor. Aprovechando las particularidades de transmisión y de propagación de la luz pueden realizarse varios tipos de sensores.

En nuestro caso utilizamos dos sensores de proximidad (uno para cada coordenada de movimiento), en los cuales la fuente luminosa y el elemento fotosensible están incorporados en la misma unidad. La luz emitida llega al elemento sensible por reflexión en un objeto que se encuentra en el campo de irradiación. La presencia o la ausencia de la luz en el fotoconductor determinan un cambio de condición en la salida que permite señalar la presencia, o la ausencia, de un objeto en el área de trabajo.

La distancia de detección, para los sensores de proximidad ópticos, cambia según el tipo de material que debe detectarse. Los parámetros que influyen el alcance máximo del sensor son, principalmente, el color y la brillantez o rugosidad de la superficie que debe detectarse.

# CAPÍTULO 2

# HARDWARE

En este capítulo se hará una descripción sobre las etapas que comprenden el sistema de posicionamiento, explicando bloque por bloque desde el punto de vista del hardware cada uno de sus componentes.

El proyecto se ha estructurado en seis bloques fundamentales, como se muestra en la Figura 8.

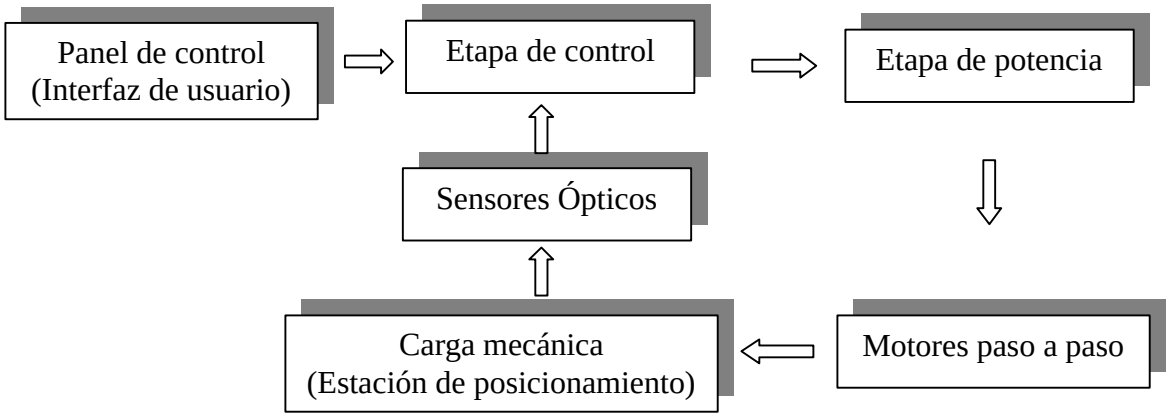



*Figura 8. Diagrama de flujo del sistema de posicionamiento.*

## 2.1. PANEL DE CONTROL

Es el encargado de generar las señales de mando, que son generadas por el usuario y definen el tipo de movimiento que se le desee dar a la muestra. El sistema de control se basa en un software desarrollado bajo el entorno de programación LabView[8], el cual genera el panel de control y el microcontrolador, que lleva implementado su respectivo programa escrito en lenguaje ensamblador. El software de posicionamiento trabaja de forma paralela con el programa que se utiliza para la caracterización ya que éste también está desarrollado bajo el mismo entorno de programación. Este software

[8] El programa que se maneja en el Laboratorio de Opto-electrónica está desarrollado bajo el entorno de programación de LabView debido a que permite diseñar interfaces de usuario mediante una consola interactiva.

además de posicionar, debe generar las coordenadas XY sobre las cuales se está haciendo incidir el láser sobre la muestra, para que luego sea almacenada en una tabla junto con los datos del experimento.

El posicionador es capaz de hacer efectivo el mapeo en toda la muestra (ver Figura 9). Este dispositivo tiene movimientos con una precisión de 10 μm logrando así una muy buena resolución en el mapeo obteniendo un gran número de medidas por unidad de superficie esto dependiendo de que tan delgado sea el diámetro del haz del láser incidente.

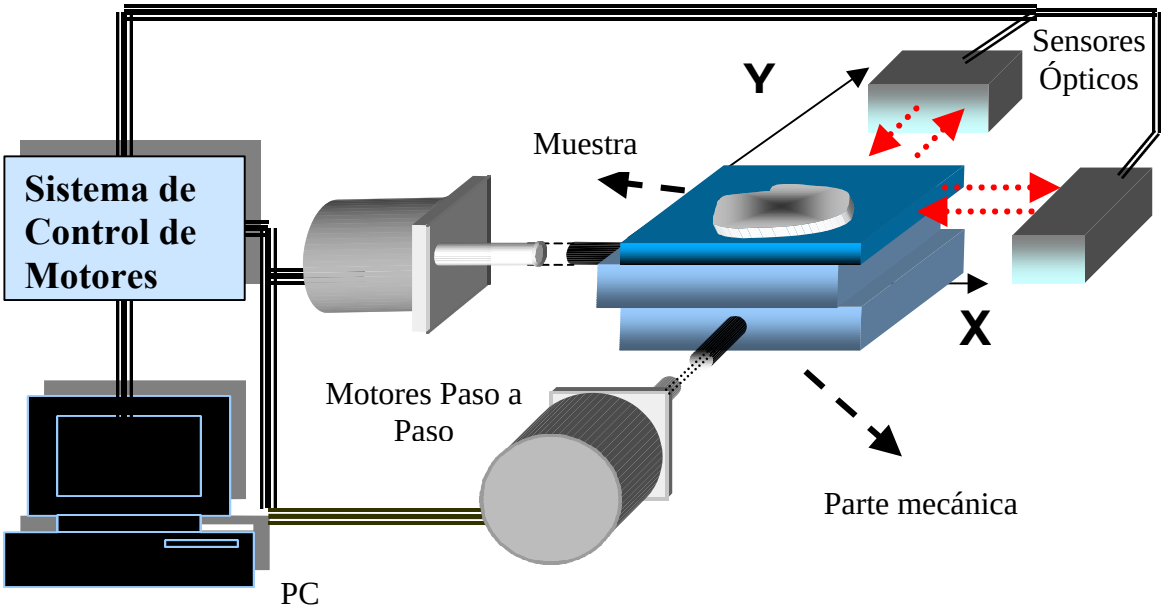



*Figura 9. Sistema de posicionamiento.*

## 2.2. ETAPA DE CONTROL

El sistema de control está constituido por los siguientes ítems:

- Computador con su respectivo software implementado en LabView
- Microcontrolador
- Conversor de señales RS-232 a TTL para la comunicación entre el computador y el microcontrolador.

### 2.2.1. El Microcontrolador

El microcontrolador usado en nuestro proyecto de referencia MC68HC908GP32 (GP32) es un poderoso microcontrolador de Motorola™, basado en la tecnología Flash, el cual fue escogido debido a que conocemos su funcionamiento y lenguaje de programación [11]. A diferencia de otros microcontroladores como el MC68HC908JK3 de la misma familia, el GP32 dispone de un módulo de comunicación serial, mayor capacidad en memoria RAM y más puertos de entrada-salida, lo cual facilita mucho el trabajo.

#### 2.2.1.1. Descripción General

El microcontrolador MC68HC908GP32 de Motorola™ es uno de los microcontroladores de la familia HC08 con mayores prestaciones, de propósito general [12], [13].

Entre las características más generales que describen a este microcontrolador están:

- 32 Kbytes de flash de usuario.
- 307 bytes de ROM monitor.
- 512 bytes de RAM de usuario.
- 2 Timers multifunción de 16 bits, 2 canales (TIM1 y TIM2).
- Conversor análogo digital de 8 canales y 8 bits por canal.
- Comunicación serial asincrónica (SCI).
- 33 líneas generales bidireccionales de I/O de 10mA de capacidad.
- 5 pines 15mA (ptc0/4).
- Resistencias de pull-up puertos a, c, d.
- 8 bits KBI para manejo de teclado por interrupciones.
- Osciladores duales: cristal 32khz (pll) o cristal externo.
- Generación de reloj por pll interno (cristal 32k).
- Oscilador cristal externo hasta 32mhz.
- CPU08 con 16 modos de direccionamiento.
- Memoria de Programa del tipo FLASH.

#### 2.2.1.2. La Memoria Flash del GP32

La Flash es un tipo de memoria que está implementada en el Microcontrolador MC68HC908GP32, que permite el almacenamiento de datos no volátiles y es allí donde reside el código del programa implementado en él. El procesador tiene dos modos de trabajo básicos: monitor y usuario. La Flash ofrece la posibilidad de programación en circuito en estos dos modos y a su vez incluye un sistema de carga

interna que elimina la necesidad de un alto voltaje para programarla (necesario para modo monitor). Además ofrece como mínimo 10.000 ciclos de programación / borrado a temperatura ambiente y un máximo de 100.000 ciclos. Nuestro objetivo es utilizar esta memoria para almacenar las coordenadas y secuencias de los motores sin que estas se pierdan cuando se apague el dispositivo [13].

### 2.2.2. Circuito UPS (Uninterruptible Power Supply)

Cuando se apaga el dispositivo, se hace necesario implementar un circuito que mantenga el voltaje de alimentación al microcontrolador por un instante de tiempo, de tal manera que este alcance a guardar las coordenadas del sistema y secuencia de los motores a través de una rutina de interrupción por IRQ, antes de que éste se desenergize. Para esto se implementa el circuito mostrado en la Figura 10.

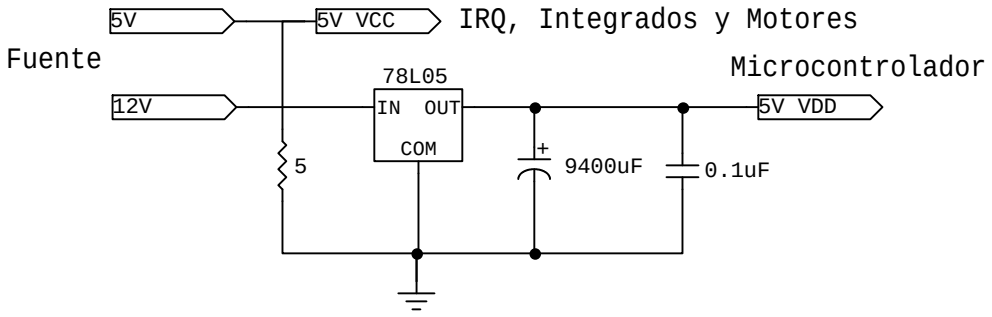



*Figura 10. Diagrama del circuito UPS.*

El capacitor de 9400µF mantiene el voltaje de 5V de alimentación al microcontrolador por un instante cuando el voltaje de entrada 12V cae a cero. El regulador 78L05 además de fijar la tensión de 5V al microcontrolador, impide que la corriente almacenada por el condensador se devuelva cuando el voltaje de entrada al regulador es 0V, evitando que se descargue. El condensador de 0.1µF elimina posibles ruidos generados por el regulador.

Según la hoja de datos, los pines de alimentación del microcontrolador (VDD y VSS) tienen una capacidad máxima de corriente de 150mA. En base a esto y suponiendo un voltaje mínimo de alimentación de 4.7V permitido por el microcontrolador para operar en óptimas condiciones, se calcula el tiempo de descarga del condensador.

Se tiene que:

$$V_c = V_0 e^{-t/t}$$

$$t = RC$$

Donde $V_c$ es el voltaje mínimo de alimentación y $V_0$ es el voltaje inicial de carga del condensador que es de 5V. Despejando el tiempo de descarga $t$, se tiene:

$$t = \frac{c}{i}(V_0 Ln \frac{V_c}{V_0})$$

Entonces

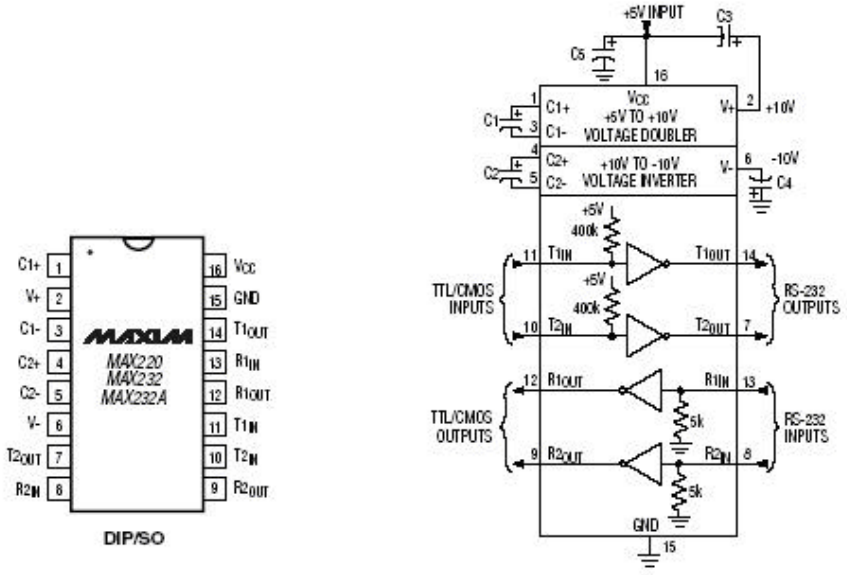
$$t = 19.4 mseg$$

Este tiempo es más que suficiente, ya que más adelante veremos que el tiempo mínimo que debe durar el circuito UPS es de 419µS.

La fuente de alimentación dispone de los voltajes de salida 12V y 5V, siendo este último, el utilizado para alimentar el resto de dispositivos y donde se toma el voltaje de referencia para el pin IRQ. En la salida de 5V de la fuente, diferente del voltaje de alimentación al microcontrolador y de donde se toma el voltaje de referencia para la IRQ, se colocó una resistencia de 5 en paralelo para que al desenergizar el sistema de posicionamiento, el voltaje de referencia para la IRQ caiga a 0V lo mas rápido posible, generando así la rutina de interrupción mas rápidamente para darle mayor tiempo al microcontrolador de guardar las coordenadas del sistema y secuencia de los motores.

### 2.2.3. El Conversor de Niveles RS-232-TTL

El circuito integrado MAX232 lleva internamente 2 conversores de nivel de TTL a RS232 y otros 2 de RS232 a TTL con lo que se pueden manejar 4 señales del puerto serie del PC. Por lo general las mas usadas son TX, RX, RTS, CTS. Para que el max232 funcione correctamente se deben poner unos condensadores externos (ver Figura 11). Solo se han cableado las líneas TX y RX que son las usadas en nuestra aplicación [14].




*a)* *b)*

*Figura 11. a) Pines del MAX232, b) Conversor de niveles RS232.*

## 2.3. ETAPA DE POTENCIA

El puerto serial está conectado directamente al microcontrolador, el cual guarda las coordenadas del sistema de posicionamiento y lleva la secuencia del movimiento de los motores, es decir, recordar cuales fueron las últimas bobinas que se energizaron. Este microcontrolador no tiene capacidad para entregar la suficiente corriente para excitar un led y mucho menos un motor paso a paso, por lo que es necesario implementar un circuito de potencia con transistores tipo Darlington cuya impedancia de entrada es alta, al igual que la impedancia de salida del microcontrolador. Esto nos proporciona una alta ganancia de corriente, permitiendo energizar los motores de forma adecuada [15].

Eléctricamente, el microcontrolador, entrega señales TTL y como tal, teóricamente, se le puede conectar cualquier dispositivo que cumpla con los niveles de voltaje específicos de la lógica TTL. Estos niveles son:

- Estado bajo 0 V a 0.4 V.
- Estado alto 2.4 V a 5 V.

Para disminuir lo más posible el riesgo de daños utilizamos un buffer tres estados, en nuestro caso un circuito integrado 74LS244 como etapa separadora entre el

microcontrolador y los transistores y al mismo tiempo mejorar la capacidad de manejo de corriente.

### 2.3.1. Búfer de Tres Estados

El búfer de tres estados[9] hace la función de etapa separadora de voltaje, esto reducirá el riesgo de daños al microcontrolador. Este dispositivo consta de una entrada, una salida y un pin de control (entrada de habilitación), para poner la salida en alta impedancia [16].

*Figura 12. Símbolo del búfer triestado.*

| EN | A | OUT |
|---|---|---|
| L | L | HI-Z |
| L | H | HI-Z |
| H | L | L |
| H | H | H |

*Tabla 4. Tabla de verdad del búfer triestado.*

Cuando la entrada de habilitación se activa, el dispositivo se comporta como un amplificador o inversor ordinario. Cuando se niega la entrada de habilitación, la salida del dispositivo va a un estado de alta impedancia.

El chip utilizado es un 74LS244, el cual es un búfer de 8 bits y se utiliza para multiplexar los datos en la entrada, utilizando palabras de control.

Este circuito integrado no sólo protege al microcontrolador de los picos de tensión, sino que también aumenta la capacidad de corriente [17].

### 2.3.2. Transistor Darlington

Esta configuración se compone de dos transistores en cascada, que operan como un transistor, el cual posee características que lo hacen más útil que un solo transistor. La principal característica es que el transistor compuesto actúa como una sola unidad, con una ganancia de corriente, que es el producto de las ganancias de corriente de los

[9] El dispositivo de tres estados más básico es un buffer de tres estados, a menudo llamado *alimentador de tres estados*

transistores individuales. Sus características de impedancia son alta impedancia de entrada, baja impedancia de salida y alta ganancia de corriente. El transistor utilizado es el TIP122 mostrado a continuación [18].

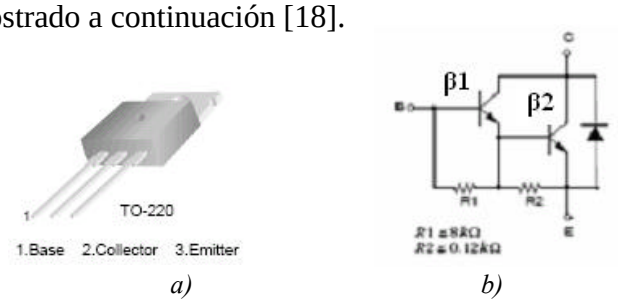



*Figura 13. a) Encapsulado TIP122, b) Circuito equivalente del TIP122.*

El primer transistor que recoge en su base la corriente de referencia debe tener un umbral de conducción muy bajo y proporcionar una buena ganancia de corriente. Sin embargo, el transistor de salida ha de ser capaz de entregar corrientes importantes sobre la carga que alimenta la fuente. Ello da lugar a que el primer transistor sea de señal y el último de potencia.

La conexión darlington proporcionará una ganancia de corriente de $\beta_D=\beta_1\ \beta_2$. Por esto podemos utilizar una resistencia grande en la base que limita aún más la corriente. Esta resistencia se eligió de 10K.

### 2.3.3. Diodos de Marcha Libre

Es necesario colocar un diodo en paralelo con cada embobinado del motor, permitiendo la descarga de la energía magnética almacenada en la bobina en el momento de ser interrumpida la corriente por la carga al desactivar la base del transistor, de lo contrario la energía almacenada en el inductor se transformara en un alto voltaje inverso a través del interruptor y del diodo. Esta energía se disipará en forma de chispas en el interruptor, y es probable que el diodo led o el transistor se dañe en este proceso. A este diodo mostrado en la Figura 14 como D1 se le denomina *diodo de marcha libre* [19].

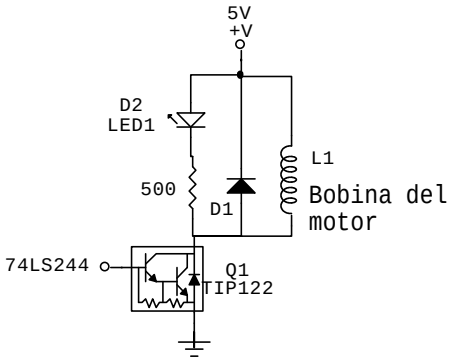



*Figura 14. Ubicación del diodo de marcha libre en la etapa de potencia.*

El uso del diodo de marcha libre también llamado diodo de libre circulación o diodo volante, ofrece las siguientes ventajas:

- Mejora el valor medio de la corriente y el torque del motor.
- Permite que la energía acumulada no sea devuelta a la línea.
- Sirve para proteger los dispositivos de conmutación (transistores).
- Permite la recuperación de la energía almacenada en el inductor.

## 2.4. MOTORES PASO A PASO

Los Motores[10] utilizados en este proyecto son motores unipolares puesto que son los más comunes, además los motores bipolares presentan mayor dificultad en controlar la alimentación debido a que se debe cambiar la polaridad y el ritmo de los bobinados para conseguir la secuencia necesaria para permitir que el motor funcione correctamente.

El torque del motor debe ser igual o superior al requerido para mover la carga mecánica (estación de posicionamiento) que se utilizará en nuestro proyecto. Este torque está dado por la ecuación:

$$T = r \times F$$

Donde $T$ es el torque, $r$ el radio de la perilla del portamuestra y $F$ es la fuerza tangencial aplicada a la perilla que se calcula mediante la siguiente ecuación.

[10] Lo más importante de un motor es saber el tipo de motor que es, la potencia, el número de pasos, el par de fuerza y la tensión de alimentación.

$$F = mg$$

Siendo $m$[11] la masa suspendida en la perilla del posicionador, y $g$ la gravedad.

Se midieron los siguientes datos:

r = 0.45 cm

m = 230 grs

g = 9.8 m/s

Aplicando las dos ecuaciones anteriores y con las mediciones realizadas, se obtuvo que el torque mínimo requerido para mover el posicionador, es de 0.010143 N/m que equivalen a 1.44 Oz/In

El motor escogido para nuestro proyecto es un Motor Eastern Cod: 350-600-006 (ver Figura 15), por ser el de más alta precisión que se consigue en el mercado nacional, sus características de torque sobrepasan las requeridas y su precio es relativamente bajo.

*Figura 15. Motor paso a paso Eastern. Código: 350-600-006.*

Características del motor utilizado:

- Motor de paso 35 Oz/In Eastern Cod: 350-600-006.
- Síncrono unipolar de 4 fases.
- Diámetro 57mm.
- Largo Motor: 50mm.
- Largo Total: 71mm.

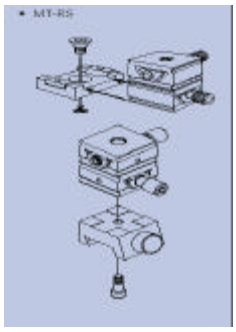
[11] La masa ***m*** debe ser del mínimo valor requerido para hacer girar la perilla del posicionador.

- Largo Eje: 21mm.
- Diámetro eje: 1/4".
- Marca: Eastern Air Devices.
- Modelo: LA23ECK-73.
- Torque: 35 Oz-In de Mantenimiento.
- Pasos: 200 por vuelta 1,8 grados por paso.
- Alimentación: 5VDC.
- Consumo: 1A Por Fase.
- Temperatura Máxima: 65 Grados.

## 2.5. CARGA MECÁNICA

Para el sistema de posicionamiento se hizo uso una plataforma XY de referencia MT-XY marca Newport, incluida dentro del presupuesto total de ejecución del proyecto [20].

*a)*



*b)*

*Figura 16. a) Posicionador MT-XY, b) Estructura interna del posicionador.*

La base cuadrada del posicionador es de 1 pulgada de lado y tiene un recorrido máximo de *9.1 mm* en cada eje (ver Figura 17). Esta dispone de un orificio en la parte central que sirve para acoplar postes y otros accesorios que sirven principalmente para acondicionar otros componentes ópticos como espejos, lentes entre otros.

**Otras Especificaciones:**

- Sensibilidad 1 µm.
- Capacidad de carga 9.6 lb.

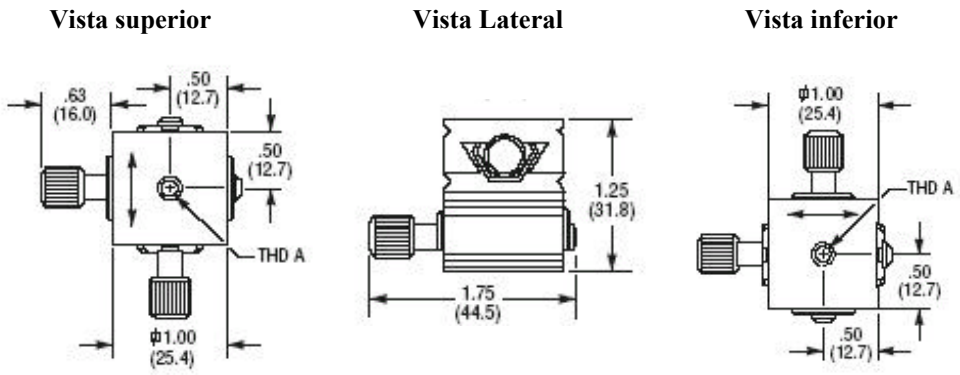



*Figura 17. Dimensiones de la estación de posicionamiento*

Se realizó un cálculo experimental del desplazamiento generado en la superficie de la estación de posicionamiento equivalente a un giro de $360^0$ de una de las perillas del posicionador, lo que dio como resultado 284 µm $\pm 1$ de desplazamiento. Dado que el motor paso a paso tiene 200 pasos por vuelta, se obtiene que el desplazamiento mínimo posible en el portamuestra producido por 1 paso de los motores paso a paso es:

$$Desplazamiento / Paso = \frac{284mm}{200} = 1.4mm$$

La cantidad de giros que se necesitan para desplazar el posicionador de un extremo a otro es 32, por lo que se obtiene:

$$Pasos\ de\ recorrido\ total = 200\ pasos \times 32\ vueltas = 6400\ pasos$$

Dado que la superficie del portamuestra está representada por un plano en coordenadas cartesianas y que cada unidad de coordenada equivale a una longitud física en la superficie del posicionador, se procede a realizar los siguientes cálculos.

La cantidad de pasos equivalentes a una unidad de coordenada, es igual a la cantidad de pasos de recorrido total dividido entre la resolución del sistema[12]. Esto es:

$$Pasos / Coordenada = \frac{6400\,pasos}{250} \equiv 25\,pasos$$

[12] La resolución del sistema es determinada por el gráfico que simula la superficie del portamuestra, en la aplicación creada en LabView, en nuestro caso es de 250 píxeles.

Se debe recalcular el número de pasos de recorrido total debido a la depreciación de cifras significativas en el cálculo anterior, de tal manera que el número de pasos/giro sea un número entero de pasos.

$$\textit{Pasos de recorrido total} = 25\ \textit{pasos} \times 250 = 6250\ \textit{pasos}$$

La distancia recorrida por el portamuestra equivalente a una unidad de coordenada es:

$$\textit{Desplazamiento / Coordenada} = 25 \textit{pasos} \times 1.4 mm = 35 mm$$

El desplazamiento de extremo a extremo que se obtiene del portamuestra es:

$$\textit{Desplazamiento máximo} = 35 mm \times 250 = 8.8 mm$$

## 2.6. ACOPLE MECÁNICO MOTORES PASO A PASO - ESTACIÓN

Este es el conjunto de elementos encargados de transmitir el torque ejercido por el eje de los motores a las perillas del posicionador que controlan el desplazamiento de la superficie del portamuestra. La característica principal de este sistema, es que no debe ser muy rígido, para que las vibraciones generadas por los motores no sean transmitidas a la muestra. Esto se logró mediante un acople elástico directo entre el eje del motor y la perilla del posicionador que permite amortiguar el movimiento.

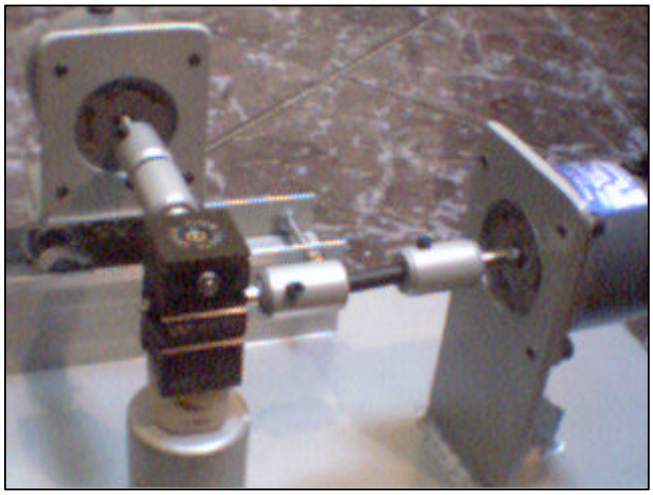


*Figura 18. Acople del posicionador*

Un factor muy importante que afecta el comportamiento del sistema, el cual se encuentra presente en todo sistema de transmisión mecánica, es el denominado *"zona muerta*", que es el movimiento en el que el giro del eje del motor no produce ningún

desplazamiento en la superficie del portamuestra. Esto ocurre principalmente cuando se cambia el sentido de giro, debido a que en los engranajes, la anchura del espacio entre dientes nunca es exactamente igual al espesor del diente que encaja. Para solucionar este problema, se implementaron dos soluciones. La primera de ellas, es determinar el número de pasos de cada motor, que no producen ningún movimiento en el portamuestra cuando se cambia el sentido del giro (que equivale a la zona muerta) y mediante software, corregir este problema. La segunda es por medio de los sensores de posición, los cuales, le permiten al microcontrolador determinar si realmente la superficie del portamuestra se desplaza ante el torque ejercido por el eje de los motores; esta alternativa está habilitada cuando se activan los sensores de posición.

## 2.7. SENSORES ÓPTICOS

Para el diseño del sistema se utilizaron sensores ópticos marca Omron cuya referencia es Z4M-W40 (Figura 19) los cuales no fueron implementados. Sin embargo el sistema es funcional aún sin los sensores, ya que al inicializarse el sistema por primera vez se calibra manualmente el posicionador en el punto inicial (0,0). La ventaja que tiene el uso de los sensores, es que mejoran la confiabilidad y precisión del sistema.

Características generales:

- 1.5 µm de resolución máxima.
- Salida análoga de -4 a +4 VDC.
- Establecimiento automático de sensibilidad.
- Indicadores de lejanía y cercanía en el amplificador.
- Indicador de estabilidad del sensor.
- 3 modos de resolución seleccionables (A mayor resolución, mayor tiempo de respuesta).
- Distancia de sensibilidad: 40 ±10 mm.

Para obtener un funcionamiento óptimo se recomienda que la superficie de sensado sea papel negro o material cerámico blanco y de estos dos se prefiere el uso del último. El sensor cuenta con un selector de color: blanco, negro o automático en caso de que la superficie no corresponda a alguno de los colores mencionados. En la hoja de datos se pueden apreciar las gráficas de error Vs color de superficie sensada [21].

| Resolución | Tiempo de respuesta |
|---|---|
| 1.5 µm | 60 ms |
| 10 µm | 2 ms |
| 40 µm | 0.15 ms |

*Tabla 5. Resolución Vs Tiempo de respuesta del sensor.*

*Figura 19. Sensor de proximidad Omron Z4M-W40.*

Se escogió este sensor debido a que ofrece la sensibilidad necesaria para el sistema (10µm) y su salida es análoga. El rango del voltaje de salida puede ser variado como se muestra en la Figura 20.

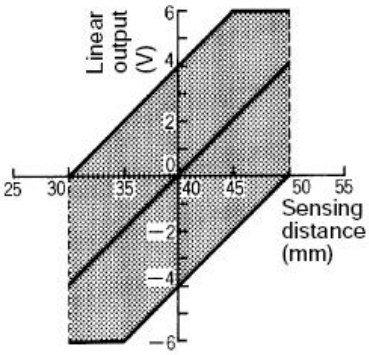



*Figura 20. Variación del offset para el voltaje de salida.*

El voltaje de salida debe ser ajustado para un rango[13] de 0.019 a 4.92 voltios[14], que corresponden a una conversión de 01H y FBH del ADC, respectivamente. El hecho de que el ADC tenga una resolución de 8 bits, limita la precisión de la lectura de los sensores sin producir efectos negativos en el comportamiento del sistema.

[13] El rango de voltajes se ajusta a través de los controles de offset y de pendiente ubicados en el amplificador del sensor.

[14] El punto mínimo de distancia equivale a 0.019 voltios y el máximo a 4.92V.

# CAPÍTULO 3

# SOFTWARE

Para la realización del proyecto fue necesario implementar dos programas, el primero de ellos se realizó en LabView y se ejecuta desde el computador destinado al análisis de datos de la técnica de caracterización Moke. Este programa es el encargado de la lógica de las secuencias y los modos de operación definidos para el sistema de posicionamiento. Este software tiene una interfaz gráfica de fácil manejo para el usuario, la cual dispone de controles necesarios para darle órdenes al sistema y así realizar la operación deseada. El segundo programa, realizado bajo el lenguaje ensamblador para microcontroladores Motorola (familia HC908), tiene como función principal, analizar los datos provenientes de la aplicación en LabView , almacenar y actualizar las variables involucradas en el posicionamiento del sistema (como coordenadas, secuencia de motores, etc.) y transmitir la lógica de las secuencias a los motores, entre otras.

## 3.1. PROGRAMA EN COMPUTADOR (LABVIEW)

Es el programa de interacción con el usuario, el cual lleva la lógica del modo de operación del sistema. Cuenta con un panel frontal en el que se aprecian los tres modos de operación del sistema: manual, automático y barrido automático (ver Figura 21). Para cada uno se asigna un panel de control donde se pueden ingresar las coordenadas e iniciar o detener el posicionamiento. Además cuenta con un control adicional que varía un retardo en el ciclo para graduar la velocidad del sistema y un indicador gráfico que muestra los movimientos que realiza el posicionador indicando el punto de incidencia del haz del láser en la muestra.

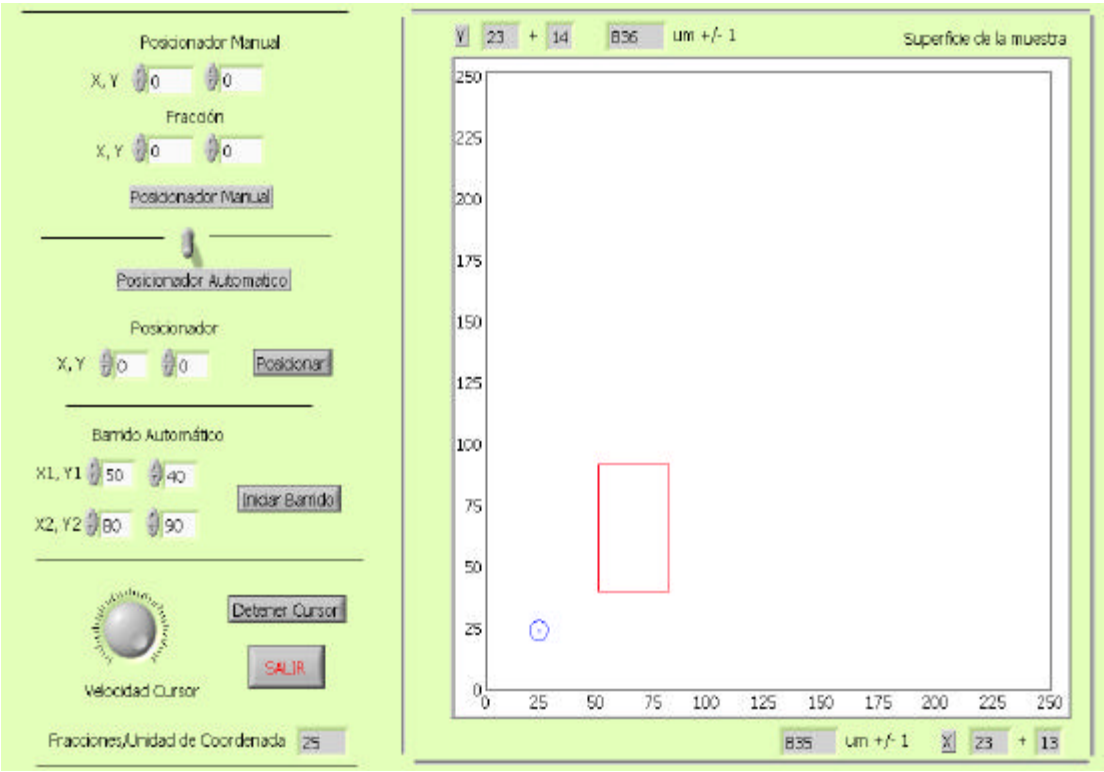



*Figura 21. Panel frontal del programa principal.*

A continuación se hará una descripción de cada uno de los controles, modos de operación e indicadores que dispone el panel frontal.

**Posicionador manual:** Aquí el usuario puede ingresar las coordenadas con el teclado o variarlas paso a paso con el Mouse, dando clic a cada una de las flechas (incrementando o decrementando), ubicadas en la parte izquierda de la casilla correspondiente a la coordenada. También se pueden utilizar las flechas arriba o abajo del teclado realizando la misma función del Mouse; de esta manera se puede desplazar el porta-muestras paso por paso. Cada vez que halla un cambio en una de las coordenadas de ingreso, el sistema ubica inmediatamente el posicionador al punto señalado.

***"Fracción de coordenada"*** es un control con características propias del posicionador manual, mediante el cual se logran los movimientos más precisos en el portamuestra, equivalentes a una fracción de coordenada, ya que una unidad de coordenada equivale a varias fracciones de coordenada[15]. La cantidad de fracciones en que se divide una

[15] La variable *Fracción de Coordenada* es equivalente al desplazamiento originado en el portamuestra, producido por la ejecución de un paso en un motor paso a paso.

unidad de coordenada, está representada por la constante *Fracciones / unidad de coordenada,* la cual dispone de un indicador en el panel frontal que se explicará mas adelante.

**Posicionador Automático:** Tiene dos modos de operación. El primero, llamado *"posicionador"* es similar al posicionador manual con la diferencia de que éste realiza el posicionamiento hacia las coordenadas ingresadas solo hasta que se de clic con el Mouse en el botón *"posicionar"*. El segundo, llamado *"barrido automático"*, como su nombre lo indica, realiza un barrido automático sobre el área indicada por las coordenadas ingresadas en los cuatro campos; los dos primeros representan el punto de la esquina inferior izquierda del área de barrido, y los otros dos campos equivalen a las coordenadas de la esquina superior derecha del área.

**Velocidad del cursor:** Permite controlar la velocidad de los desplazamientos del posicionador.

**Superficie de la Muestra:** Permite observar la forma en que se desplaza la muestra y el área seleccionada en caso de que se esté realizando un barrido automático. El punto indica en que parte de la muestra incide el láser en ese momento. Además cuenta con dos indicadores que muestran las coordenadas y fracciones de coordenada actuales del sistema.

**Detener Cursor:** Detiene el posicionador en cualquier instante de tiempo.

**Salir:** Finaliza el programa de posicionamiento.

**Fracciones / Unidad de coordenada:** Es el valor equivalente a la cantidad de pasos que se deben realizar para desplazar el portamuestra una unidad de coordenada. Este valor depende de la relación que hay entre un movimiento angular del eje del motor y el desplazamiento lineal, generado en la superficie del portamuestra. En pocas palabras, la constante "Fracciones / Unidad de coordenada", depende del posicionador y el acople mecánico utilizados. Este valor se calcula así:

$$Fracciones / Unidad\ de\ coordenada = \frac{(Pasos / mm) \times Recorrido\ total\ (mm)}{Resolución}$$

*Pasos/mm*, es la cantidad de pasos del motor necesarios para desplazar el portamuestra 1mm los cuales, según los cálculos es de 703 *pasos*

*Recorrido total*, es el desplazamiento total, es decir, de extremo a extremo del portamuestra en cada uno de sus ejes X, Y, que en nuestro sistema es de 8.8 mm.

*Resolución:* Es el número de posiciones posibles en cada eje X, Y determinadas por el gráfico Superficie de la muestra del panel frontal, y que en nuestro caso es 250.

Por lo tanto, y dado que el número de fracciones debe ser un valor entero, se obtiene como resultado que el número de Fracciones / Unidad de coordenada es 25. Es decir, se requieren 25 pasos de los motores paso a paso para desplazar el portamuestra en una coordenada. Estas 3 variables *(Pasos/mm, Recorrido total y Resolución)*, son inicializadas en el código fuente de los programas bajo LabView y el microcontrolador y deben ser estrictamente iguales en los dos, de lo contrario se tendrán comportamientos indeseados en el sistema. Todo esto facilita la adaptación del sistema a cualquier estación de posicionamiento que cumpla con características similares a las del posicionador utilizado en nuestro proyecto.

### 3.1.1. Funcionamiento del programa

Al inicio, el programa solicita las coordenadas y estado de los motores al microcontrolador por el puerto serial mediante una serie de comandos de control, y luego entra en un ciclo infinito donde funcionan los modos de operación; Cada vez que el sistema finaliza un ciclo de posicionamiento o barrido, éste vuelve a solicitar los datos al microcontrolador.

El posicionador manual dispone de dos controles numéricos para ingresar las coordenadas (representadas en el diagrama de flujo como X1 y Y1) y ubica constantemente el sistema en la posición indicada respondiendo inmediatamente cuando se presenta un cambio en el valor de los controles de las coordenadas.

El posicionador automático también dispone de dos controles numéricos para ingresar las coordenadas (representadas en el diagrama de flujo como X2, Y2), pero éste solo inicia el posicionamiento al pulsar el botón *"Posicionar".*

El barrido automático cuenta con 4 controles numéricos correspondientes a las coordenadas que delimitan el área donde se desea realizar el barrido (representadas en el diagrama de flujo como X3, Y3, X4, Y4). Una vez ingresadas las coordenadas se pulsa el botón *"Iniciar Barrido"* y el sistema se ubica en la posición X3, Y3, denominada posición inicial de barrido y luego comienza a barrer la superficie de izquierda a derecha y derecha a izquierda; cada vez que se alcanza un límite en la izquierda o la derecha del área de barrido se pasa a la siguiente fila incrementando la variable Y e invirtiendo el sentido de movimiento que se estaba realizando en X. Las coordenadas X4 y Y4 deben ser mayores que las coordenadas X3 y Y3, de lo contrario el programa iguala las coordenadas X4, Y4 con las coordenadas X3, Y3. En el visualizador gráfico del panel *("Superficie de la muestra")* se puede apreciar el área del barrido y el desplazamiento del posicionador.

Se implementó una lógica especial para contrarrestar la zona muerta que afectaría principalmente al barrido automático debido a que este invierte constantemente el sentido de giro del motor del eje en X. Esta lógica se basa en una variable, representada en el diagrama de flujo como *Juego X* y *Juego Y* para cada eje, cuyo valor máximo esta determinado por el numero de pasos de zona muerta para cada eje; la idea es que cuando se este ejecutando un giro a la derecha, esta variable debe tener un valor igual a su valor máximo y cuando se esta moviendo el motor a la izquierda esta variable debe valer 0. Cuando se cambia el sentido de giro se incrementa o decrementa esta variable, según sea el caso y hasta que esta no llegue al limite respectivo no varia la coordenada del sistema correspondiente; esto implica que mientras esta variable no este en uno de los dos limites los pasos que realiza el motor no son contabilizados por el sistema de posicionamiento. Esta lógica esta igualmente implementada en el microcontrolador

Se debe tener en cuenta que los motores paso a paso deben dar varios pasos para desplazar el portamuestra en una unidad de coordenada, debido al acople mecánico. Estos pasos son representados por las variables *PasoX* y *PasoY* en el diagrama de flujo, y la cantidad de pasos equivalentes al desplazamiento en una unidad de coordenada se representa con la variable *Relación*.

La resolución del gráfico que muestra el área de posicionamiento es de 250 x 250 píxeles[16], siendo estos los valores máximos de cualquier coordenada X, Y y "0", los valores mínimos. El programa automáticamente limita las coordenadas a este rango, en caso de que sea ingresada una coordenada por fuera de éste.

El panel frontal dispone de una perilla de control y de dos botones más en la parte inferior del panel frontal. La perilla **"***Velocidad del cursor"* permite variar un retardo en el ciclo principal para controlar la velocidad de desplazamiento del posicionador.

[16] La resolución en el panel frontal es equivalente al área del porta-muestra.

#### 3.1.1.1. Tablas de comandos de control

Los comandos utilizados en la comunicación entre LabView y el microcontrolador se muestran en la siguiente tabla.

| Comando | Descripción | Formato de envío | Valor de retorno | Formato de retorno |
|---|---|---|---|---|
| **'z'** | Verifica si hay comunicación con el microcontrolador. | Cadena ASCII | 'si' | Cadena ASCII |
| **'D'** | Ordena al microcontrolador enviar coordenadas y estado de los motores. | 1 | [Paso X, Paso Y, X graf, Y graf, Salida al Motor X, Salida al Motor Y] | Secuencia de 6 Bytes de números enteros. |

*Tabla 6. Tabla de comandos de control.*

#### 3.1.1.2. Tabla de comandos de secuencia de motores

Un byte enviado desde la aplicación en LabView correspondiente a una secuencia de los motores está dividido en dos partes: parte alta y parte baja. En la parte alta se envía la secuencia correspondiente del motor del eje X y en la parte baja se envía la secuencia del motor del eje Y. Esta secuencia de cuatro bits, se describe en la siguiente tabla.

| Secuencia | Ultima secuencia enviada | Acción solicitada por la aplicación en LabView |
|---|---|---|
| 0011 | 1001 | Incrementar la coordenada correspondiente |
| 0011 | 0110 | Decrementar la coordenada correspondiente |
| 0110 | 0011 | Incrementar la coordenada correspondiente |
| 0110 | 1100 | Decrementar la coordenada correspondiente |
| 1100 | 0110 | Incrementar la coordenada correspondiente |
| 1100 | 1001 | Decrementar la coordenada correspondiente |
| 1001 | 1100 | Incrementar la coordenada correspondiente |
| 1001 | 0011 | Decrementar la coordenada correspondiente |

*Tabla 7. Tabla de comandos de secuencias de motores.*

### 3.1.2. Diagrama de Flujo

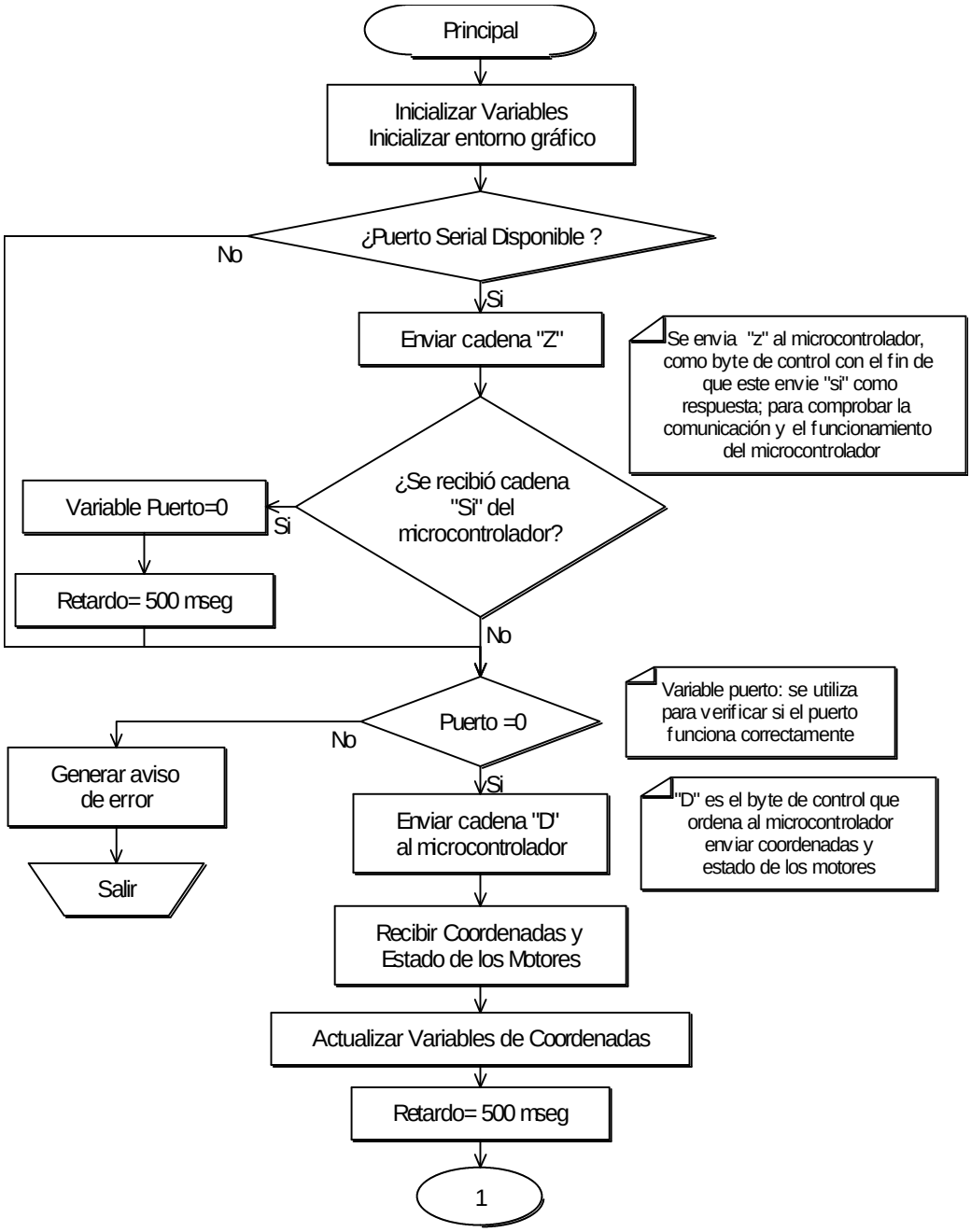



*Figura 22. Diagrama de flujo principal de LabView.*

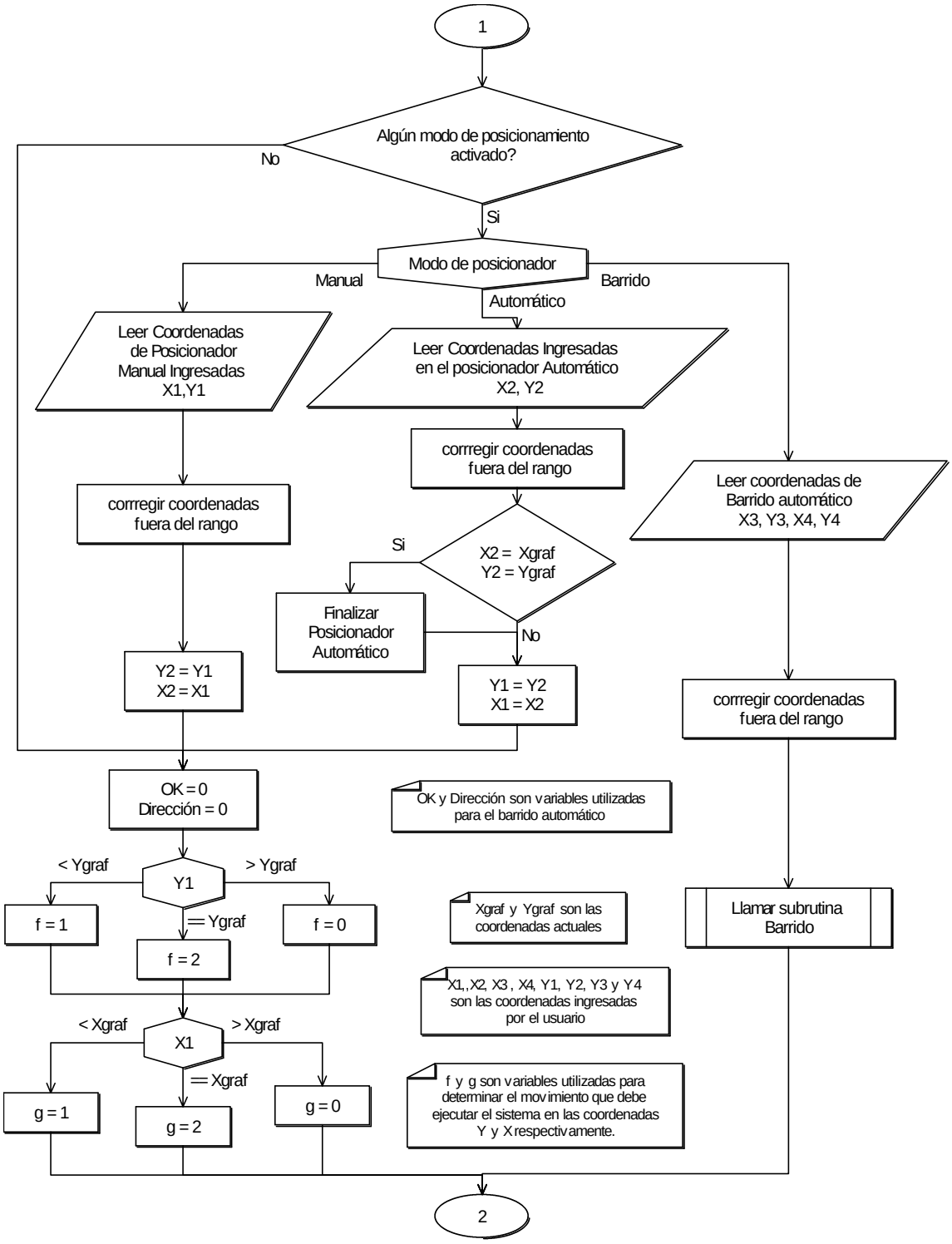



*Figura 23. Diagrama de flujo principal de LabView.*

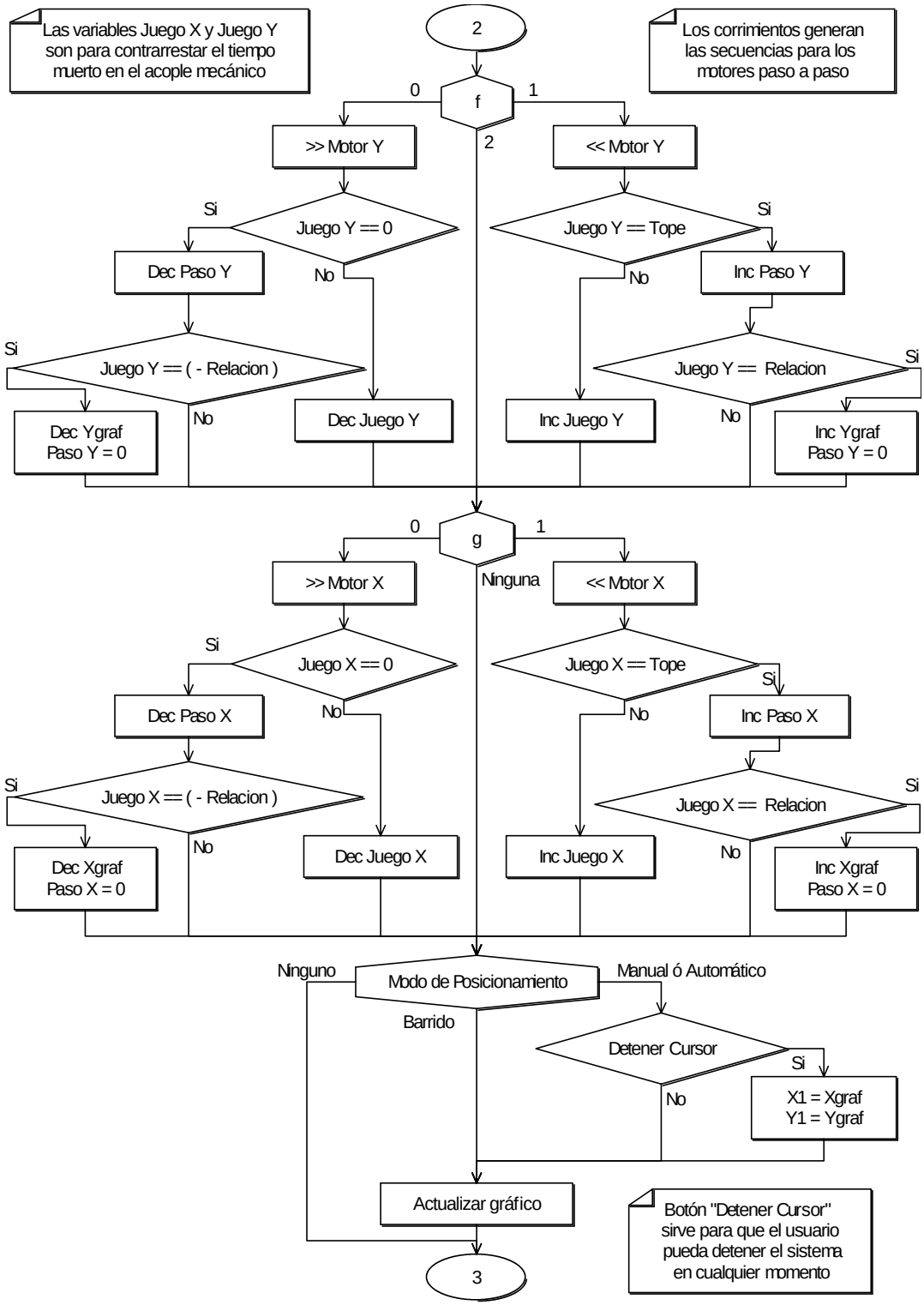



*Figura 24. Diagrama de flujo principal de LabView.*

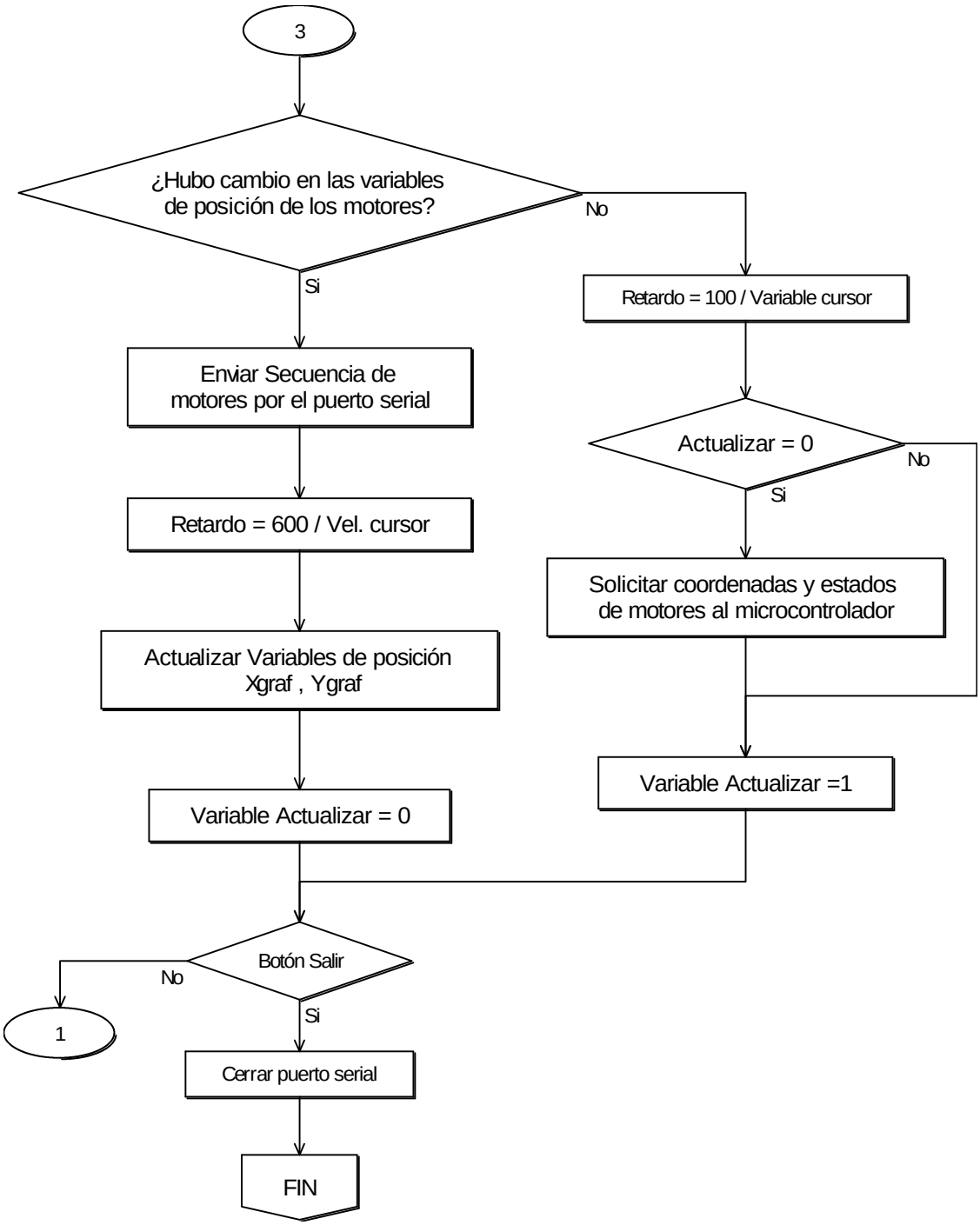



*Figura 25. Diagrama de flujo principal de LabView.*

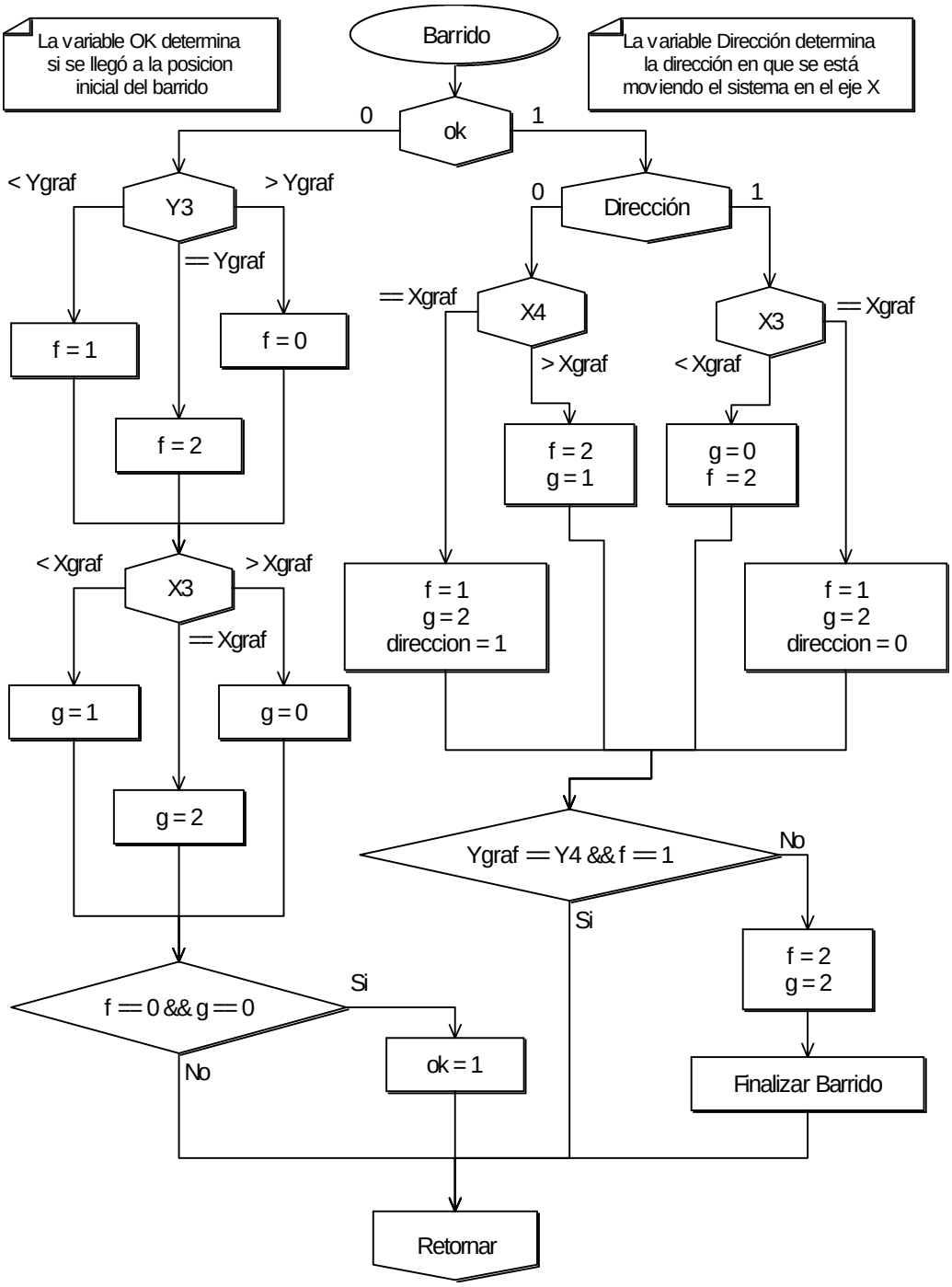



*Figura 26. Diagrama de flujo del barrido automático.*

## 3.2. PROGRAMA EN ENSAMBLADOR

La función principal de este programa es analizar los datos provenientes de la aplicación en LabView, actualizar las variables involucradas en el posicionamiento del sistema (como coordenadas, secuencia de motores, etc.) y almacenarlos en una memoria tipo Flash[17]; Estos datos deben estar disponibles en todo momento, aún si el dispositivo se desenergiza.

Cuando se procesan los datos provenientes del computador por transmisión serial, se identifican los datos recibidos, si son de control o secuencia de movimiento de motores y en caso tal, el microcontrolador determina el paso a seguir de la secuencia de los motores y envía el dato correspondiente a través del puerto B.

Si el dispositivo es apagado se genera una interrupción por el pin IRQ, debido a que esta entrada cae a 0V, entonces el programa graba las coordenadas y secuencia de los motores en la memoria flash y se queda en un ciclo infinito hasta que el microcontrolador sea reiniciado. La entrada a este ciclo infinito evita que la rutina de grabación sea llamada consecutivamente, ya que esto deteriora físicamente la memoria Flash.

Se ha implementado el uso de los conversores Análogo-Digital (ADC) con los canales ADC0 y ADC1, de tal manera que allí pueda ser conectado algún sensor de proximidad o transductor, que otorgue un voltaje de 0-5 V dependiendo de la posición física en que se encuentre el portamuestra. Esto tiene dos propósitos: El primero es que el microcontrolador impida que el posicionador sobrepase los límites o finales de carrera que se le han establecido al sistema y el segundo es para verificar que efectivamente halla algún desplazamiento en el portamuestra en el momento que se le dé la orden al sistema de que realice algún posicionamiento; esto es para contrarrestar la zona muerta del acople mecánico. Se estableció en el programa que cuando la conversión del ADC entrega el valor 01H (equivalentes a 0.019V), quiere decir que la coordenada respectiva está en el tope mínimo (coordenada eje = 0) y cuando el ADC entrega el valor FBH (equivalente a 4.92V), el posicionador está en el punto máximo (coordenada eje = 250). Cuando se está en un punto mínimo o máximo en alguna de las dos coordenadas se enciende un led indicador de este estado[18] y se bloquean los movimientos que hagan que el portamuestra sobrepasen los límites. Si se sobrepasa alguno de estos topes, se indica este estado con un parpadeo en el led

[17] La memoria Flash es un tipo de memoria no volátil que sirve para almacenar datos aún cuando el dispositivo no dispone de ninguna fuente de alimentación. Es útil para guardar los datos del sistema y éstos no se borren cuando se apague el dispositivo.

[18] Se dispusieron 4 led´s indicadores; dos para cada coordenada que indican si el posicionador se encuentra en un punto mínimo o máximo, detectado por los sensores. Estos led´s solo se encienden si se encuentra activado el uso de los sensores.

correspondiente al tope. Para activar o desactivar el uso de los sensores en el sistema, se dispone de un switche conectado al uno de los pines de salida del microcontrolador.

La interrupción del Timer es utilizada con el fin de contabilizar el tiempo que se ha mantenido el mismo dato de posición a los motores, para evitar que las bobinas de los motores permanezcan energizadas por mucho tiempo (no mas de 3 segundos con un mismo dato de posición), ya que esto causa sobrecalentamiento en los motores. Cuando se genera una interrupción por Timer, se incrementa una variable llamada RETARDO la cual se reinicia cada vez que llega un dato nuevo. El Timer también es el encargado de generar el parpadeo en los led´s cuando el sistema ha sobrepasado algún límite.

El programa cuenta con una función especial, que contrarresta la zona muerta generada por el acople mecánico y la estación de posicionamiento, cuando se cambia el sentido de giro del eje de los motores. Esta función dispone de dos constantes predefinidas al momento de programar el microcontrolador y que representan el número de pasos equivalentes a la zona muerta en cada eje. Esta función tiene la misma lógica implementada en el programa bajo LabView para contrarrestar la zona muerta.

Se pudo reducir significativamente la disipación total de los motores paso a paso detenidos, utilizando un control de la intensidad que atraviesa los arrollamientos del estator, de tal manera que este sea programable mediante una función implementada en el microcontrolador, evitando que las bobinas permanezcan energizadas por largos periodos de tiempo (mas de 3 segundos aprox.).

### 3.2.1. Diagrama de Flujo

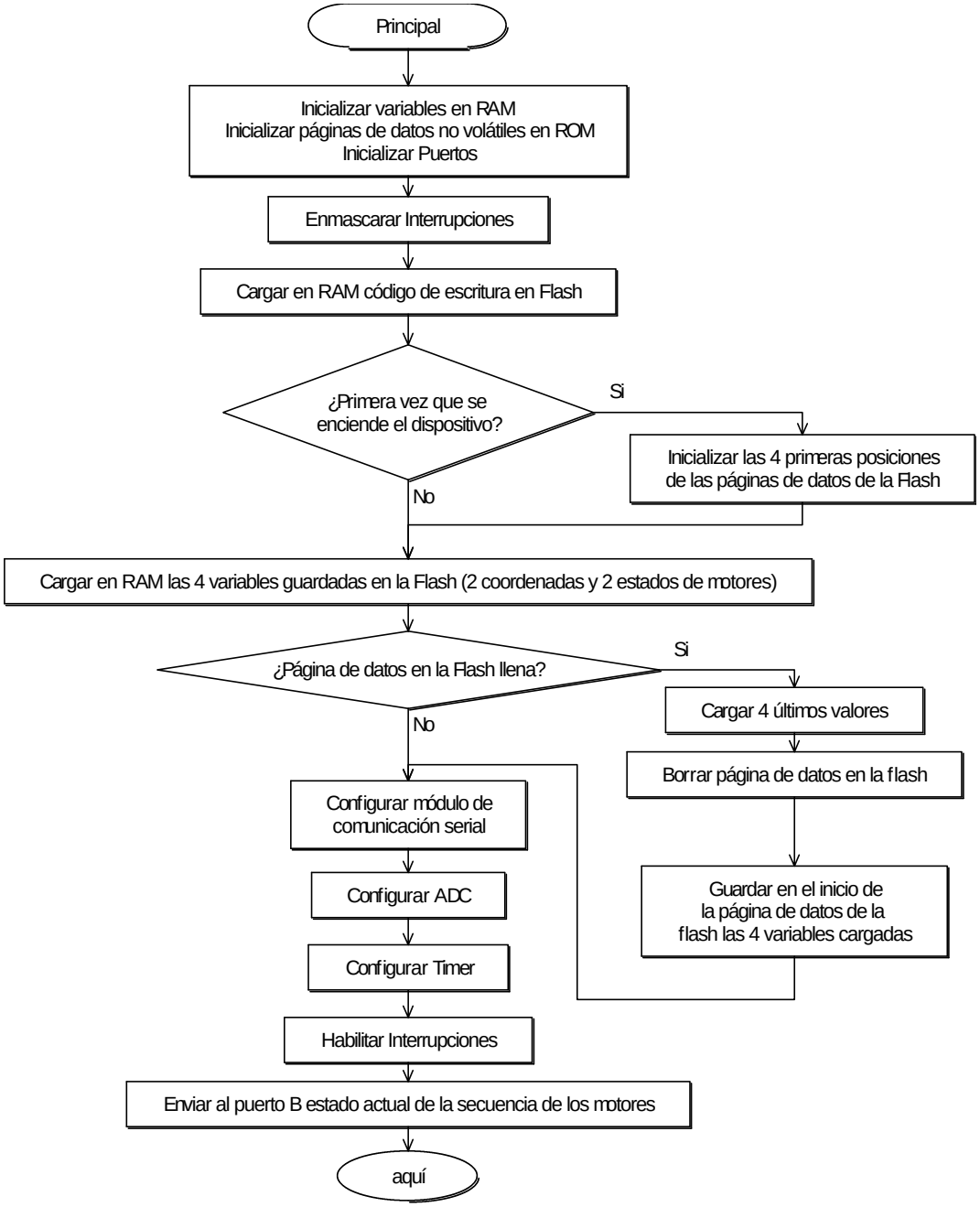



*Figura 27. Diagrama de flujo principal del microcontrolador.*

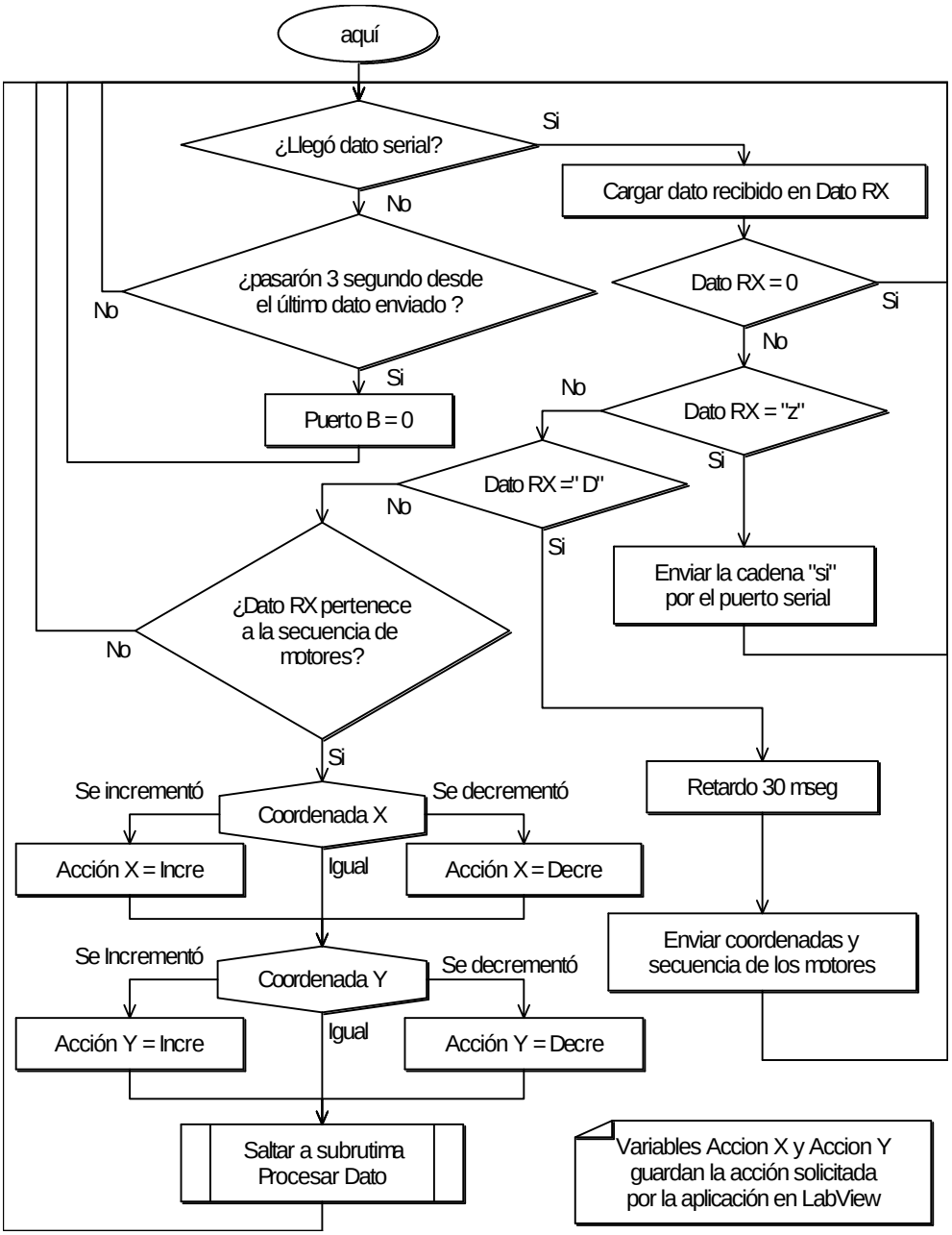



*Figura 28. Diagrama de flujo principal del microcontrolador.*

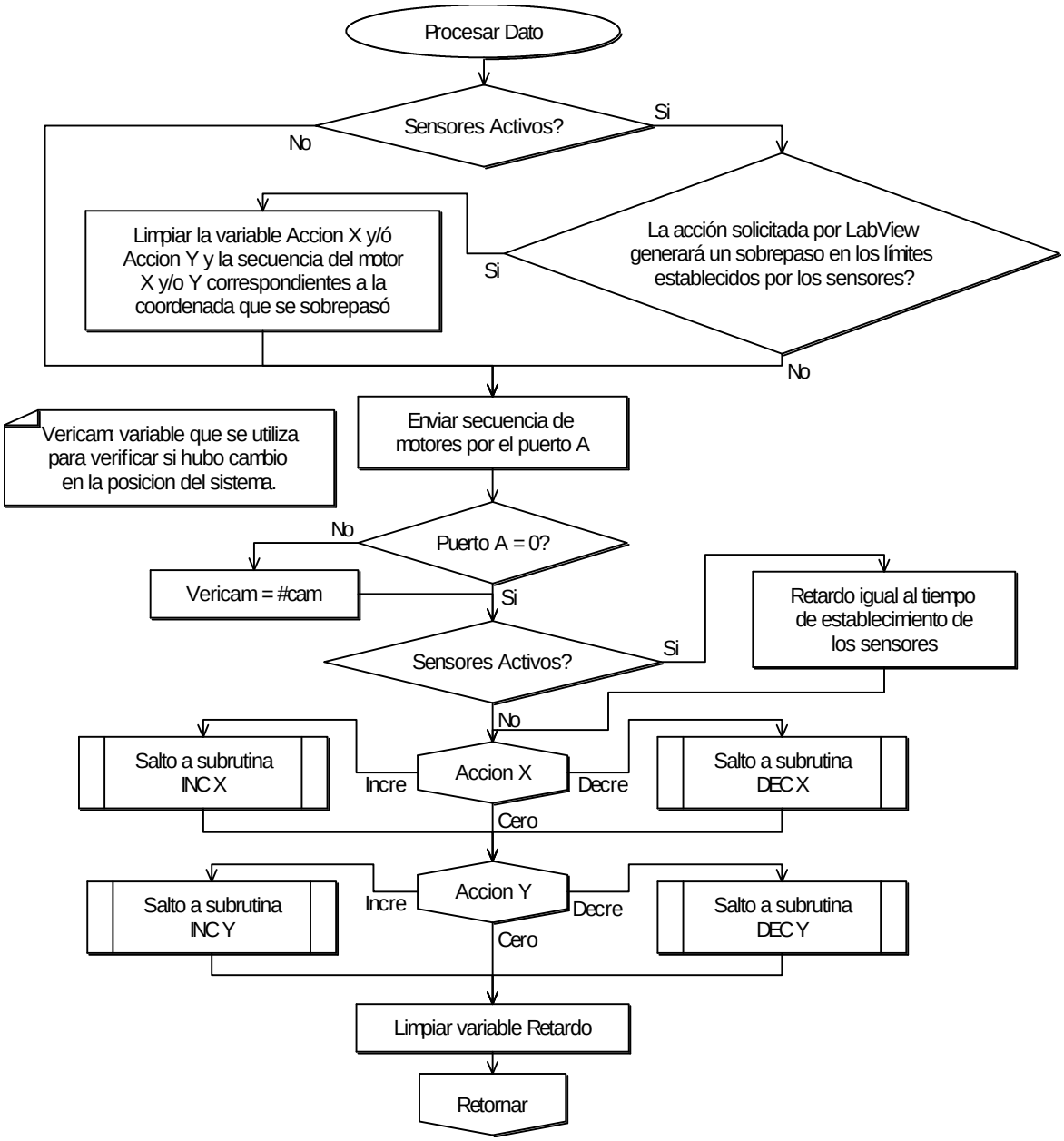



*Figura 29. Diagrama de flujo de subrutina Procesar Dato.*

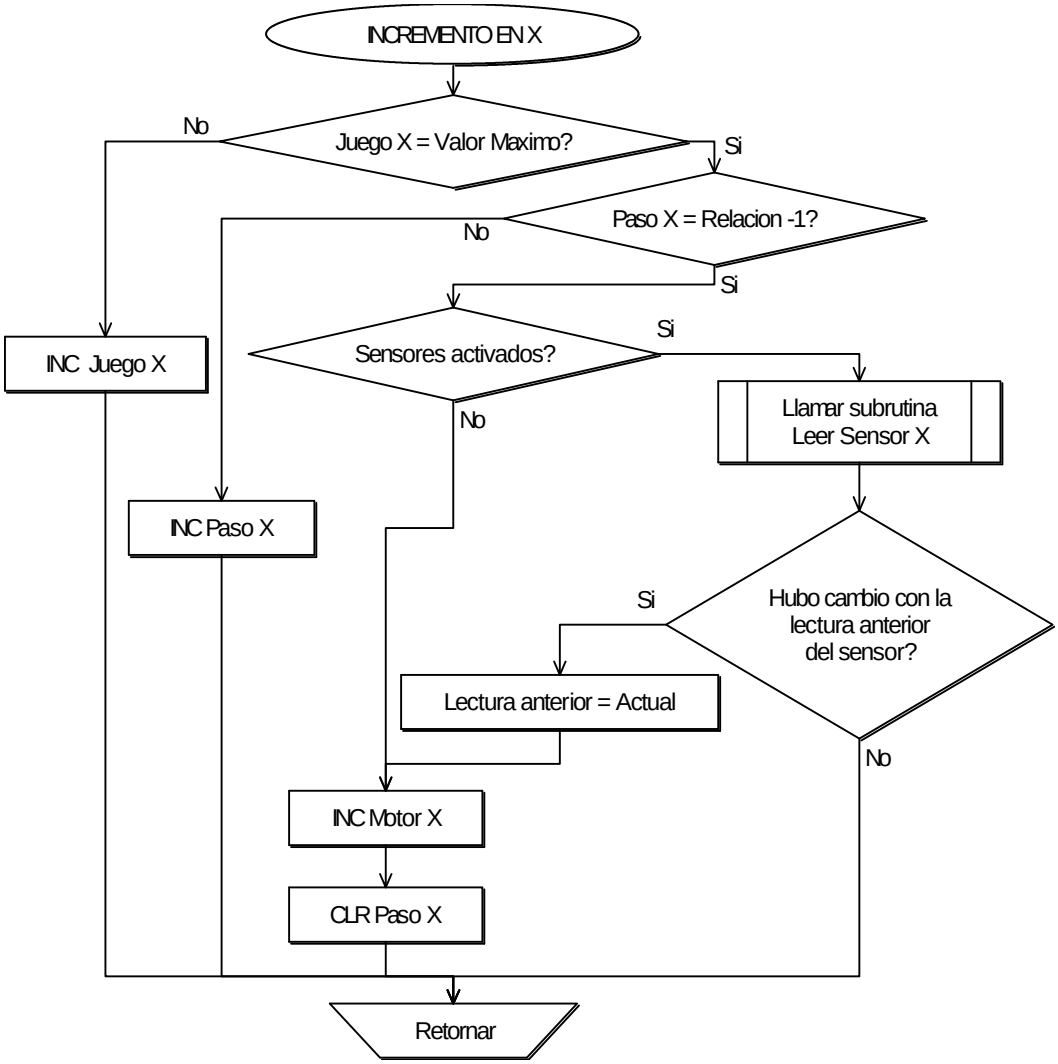



*Figura 30. Diagrama de flujo subrutina INC X.*

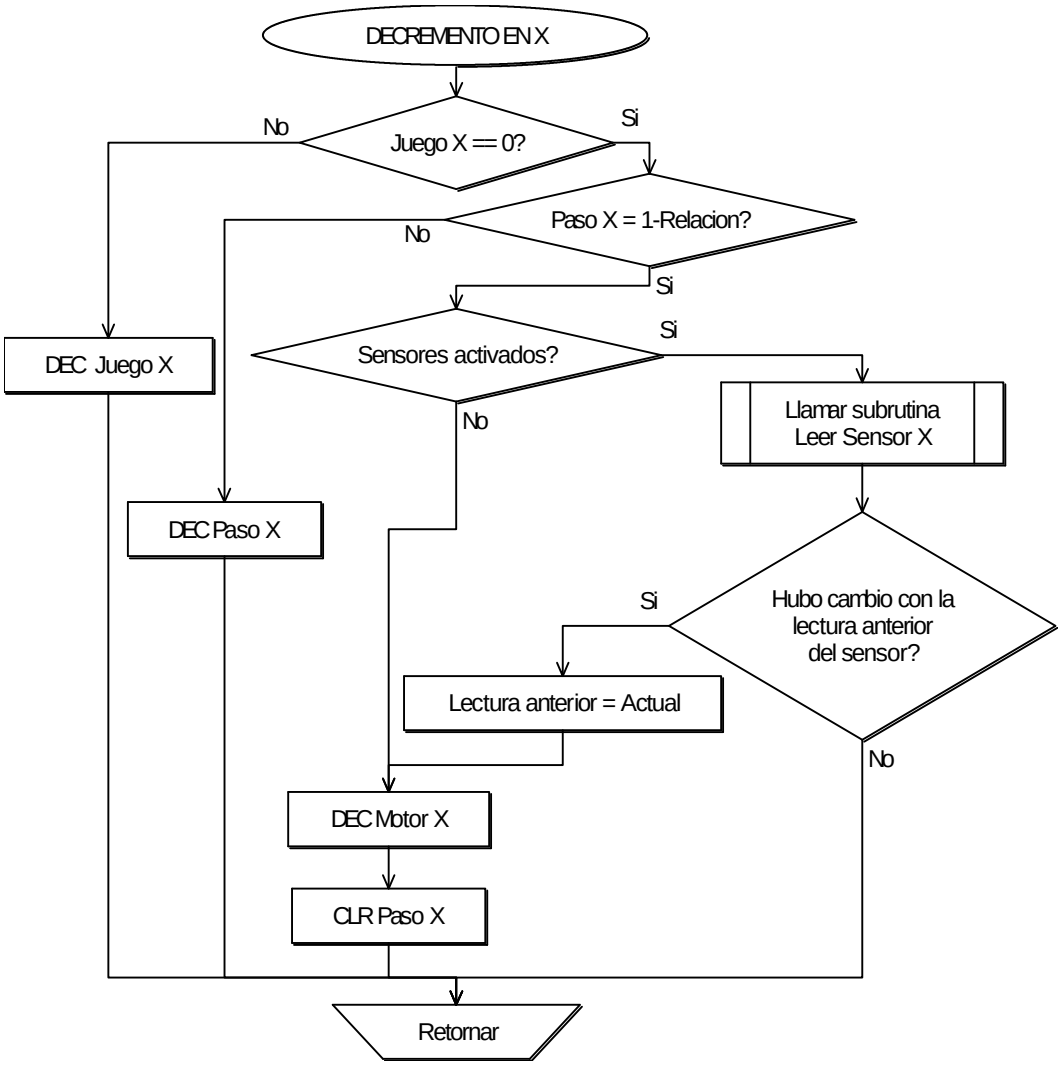



*Figura 31. Diagrama de flujo subrutina DEC X.*

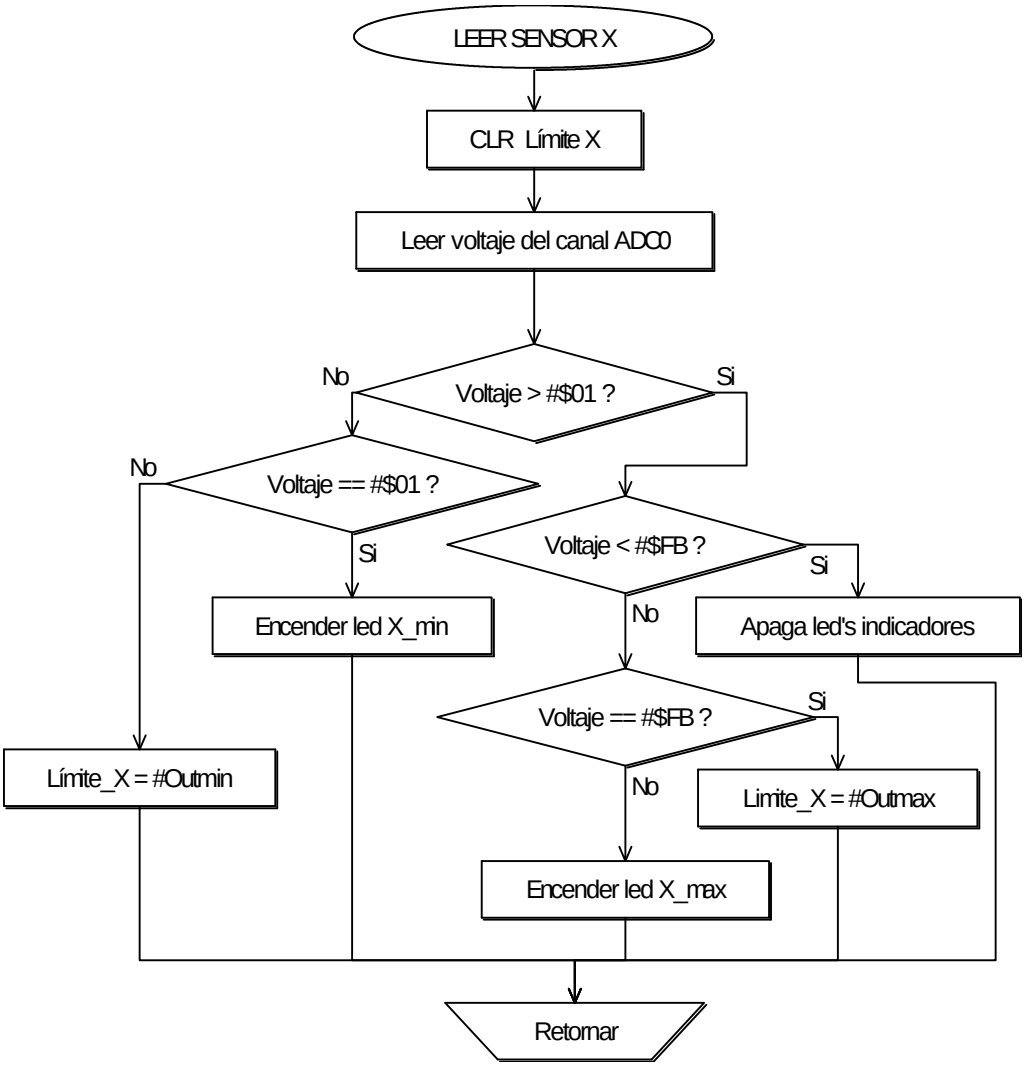



*Figura 32. Diagrama de flujo subrutina Leer Sensor X.*

Las subrutinas Inc Y, Dec Y y Leer Sensor Y, tienen la misma lógica que las subrutinas Inc X, Dec X y Leer Sensor X, respectivamente.

### 3.2.2. Modificación de la Memoria Flash del GP32

La memoria flash está organizada en páginas de 128 bytes, permitiéndose la grabación mínima de 1 byte, el borrado mínimo de 1 página y el borrado completo en una sola operación. Se graban 4 bytes por operación pertenecientes a las coordenadas X, Y y secuencia de los motores.

Cuando un byte de la memoria está borrado se lee como $FF y sólo se pueden grabar bits en 0; para pasar un solo bit de 0 a 1, deben borrarse los 128 bytes de la página.

Mientras se modifica la FLASH esta no puede ser utilizada. Esto obliga a ejecutar el código de grabación desde RAM con las interrupciones enmascaradas. El algoritmo implementado graba 8 bytes en 420 µs microsegundos y borra una página (128 bytes) en 1054 µs, calculados a partir de la frecuencia del bus interno[19] que es de 2.5 Mhz. [15]. Este tiempo de grabación, es lo mínimo que debe soportar el circuito UPS alimentando al microcontrolador cuando se apaga el dispositivo; anteriormente se estableció que el tiempo de duración del circuito UPS es de 19.4mS, lo que garantiza el buen funcionamiento del sistema de grabación en la Flash.

[19] La frecuencia del bus interno es ¼ de la frecuencia del reloj externo, que en nuestro caso es de 10Mhz.

### 3.2.2.1. Algoritmo de Grabación

Para modificar un byte deben seguirse los siguientes pasos:

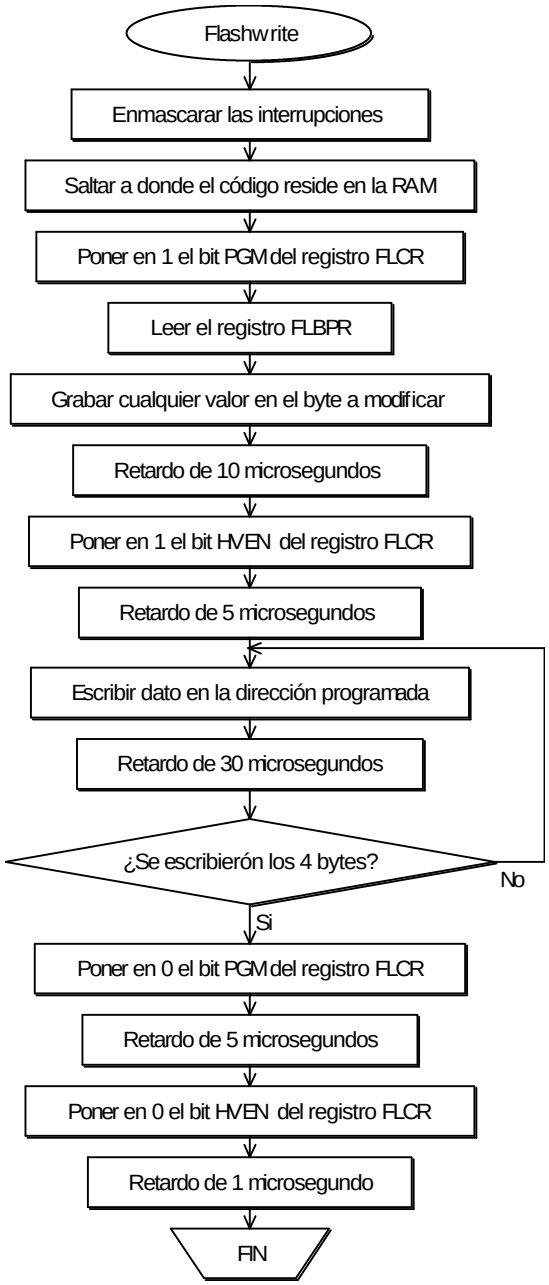



*Figura 33. Diagrama de flujo del algoritmo de grabación en la flash.*

### 3.2.2.2. Algoritmo de Borrado

Para borrar una página se realizaron siguientes pasos:

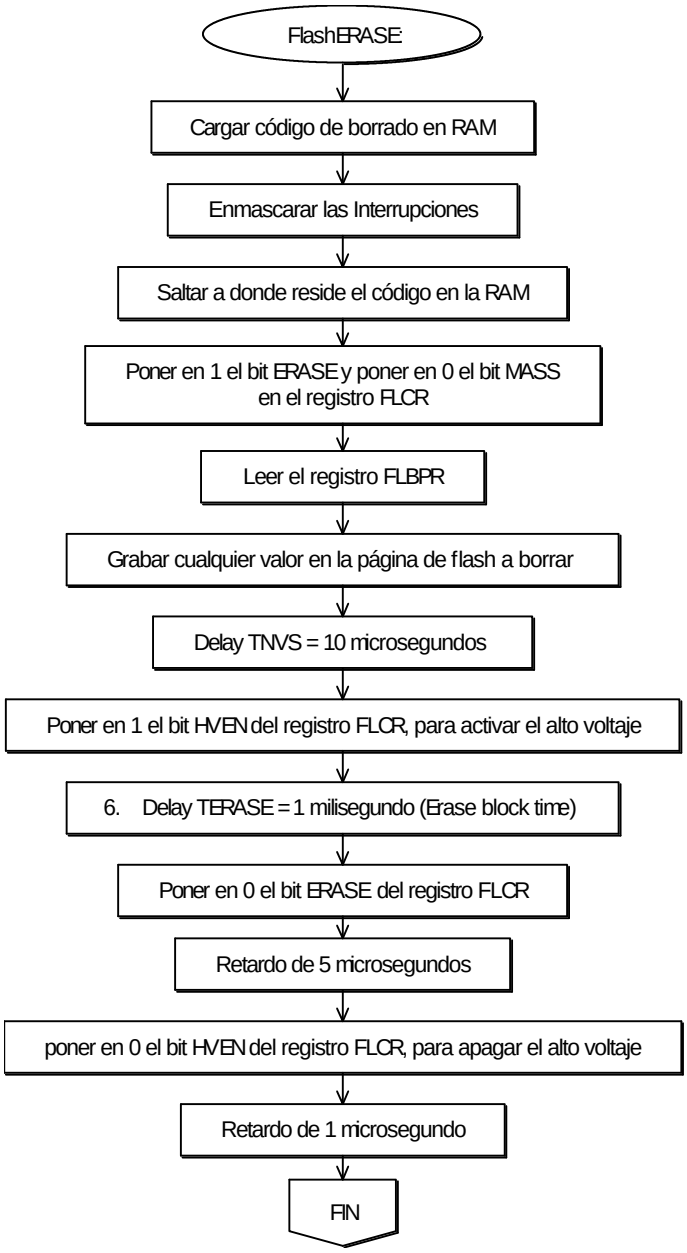



*Figura 34. Diagrama de flujo del algoritmo de borrado de la memoria flash.*

Los registros de configuración FLCR y FLBPR de la memoria Flash se describen con detalle en la hoja de datos del fabricante del microcontrolador Motorola HC908GP32 [13].

Las rutinas implementadas realizan estos dos algoritmos manteniendo al mínimo la cantidad de RAM necesaria. Para ello realizan la mayor cantidad posible de inicializaciones antes de grabar o borrar. Estas subrutinas deben ser llamadas con las interrupciones enmascaradas. Los retardos necesarios para estas rutinas se calculan teniendo en cuenta la frecuencia del bus interno que corresponde a la velocidad de cada ciclo ejecutado por cada una de las instrucciones (ver anexo 2).

### 3.2.3. Configuración del Módulo Comunicación Serial (SCI)

El módulo de transmisión serial asíncrono (SCI) permite enviar y recibir datos seriales. La recepción se realiza mediante una interrupción generada cada vez que llega un dato por el pin Rx de recepción serial. La transmisión se realiza por medio de una sencilla subrutina de transmisión a través del pin Tx.

Para configurar el módulo de comunicación serial se dispone de los registros SCBR, SCC1, SCC2. El SCC1 se configuró en modo loopback[20] desactivado, datos de 8 bits sin paridad y SCI activado. El SCC2 habilita o deshabilita el transmisor o el receptor, dependiendo si se desea enviar o recibir datos.

Con el registro SCBR se establece la velocidad en baudios con la cual se va a trabajar en el microcontrolador [14].

| SCBR | Bit 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | Bit 0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Leer: Escribir: | | | SCP1 | SCP0 | Reser-vado | SCR2 | SCR1 | SCR0 |
| Reset: | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

*Figura 35. Configuración de bits del registro SCBR.*

$$\text{Baud Rate} = \frac{\text{Fuente de Reloj}}{\text{Prescaler} \times \text{Divisor} \times 64}$$

[20] El modo Loopback se usa principalmente para pruebas y diagnósticos .En este modo el pin Rx esta desconectado del SCI y la salida del transmisor se conecta a la entrada del receptor.

Las incógnitas *prescaler y divisor* se encuentran de tal manera que el resultado se aproxime lo mas posible a 9600; estos valores se configuran en el registro SCBR como se muestra en la tabla 7.

| SCP1-SCP0 | PRESCALER |
|---|---|
| 00 | 1 |
| 01 | 3 |
| 10 | 4 |
| 11 | 13 |

*Tabla 8. Selección del preescalador.*

| SCR2 a SCR0 | DIVISOR DE BAUD RATE |
|---|---|
| 000 | 1 |
| 001 | 2 |
| 010 | 4 |
| 011 | 8 |
| 100 | 16 |
| 101 | 32 |
| 110 | 64 |
| 111 | 128 |

*Tabla 9. Velocidad en baudios del SCI.*

Se obtiene que:

$$Baud\ Rate = \frac{10Mhz}{4 \times 4 \times 64} = 9765{,}62\,Bps$$

Como se puede observar se tiene un error de transmisión del 1.73 %, con respecto al valor de transmisión de referencia que es de 9600 baudios, donde el máximo valor permitido según la hoja de datos del Microcontrolador es del 3.90 %.

### 3.2.4. Interrupción Generada por el Timer

El Timer está configurado para generar interrupciones por desborde continuamente, a una frecuencia de 5.2 Hz. Se utiliza para medir el tiempo que permanecen energizadas las bobinas de los motores y para generar el parpadeo de los led's indicadores de sobrepaso de límite.

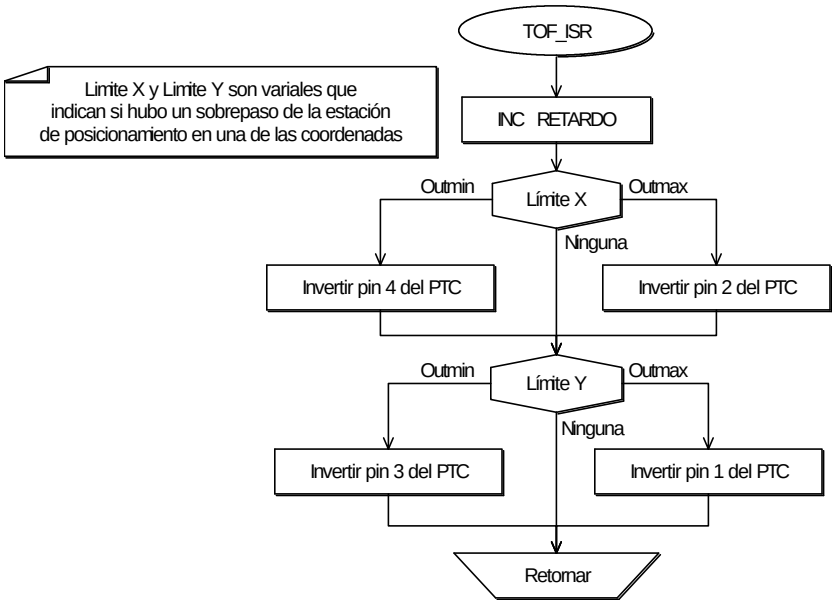



*Figura 36. Diagrama de la rutina de generada por la interrupción del Timer.*

### 3.2.5. Interrupción Generada por IRQ

Esta rutina es realizada cuando el voltaje en el pin IRQ cae a cero.

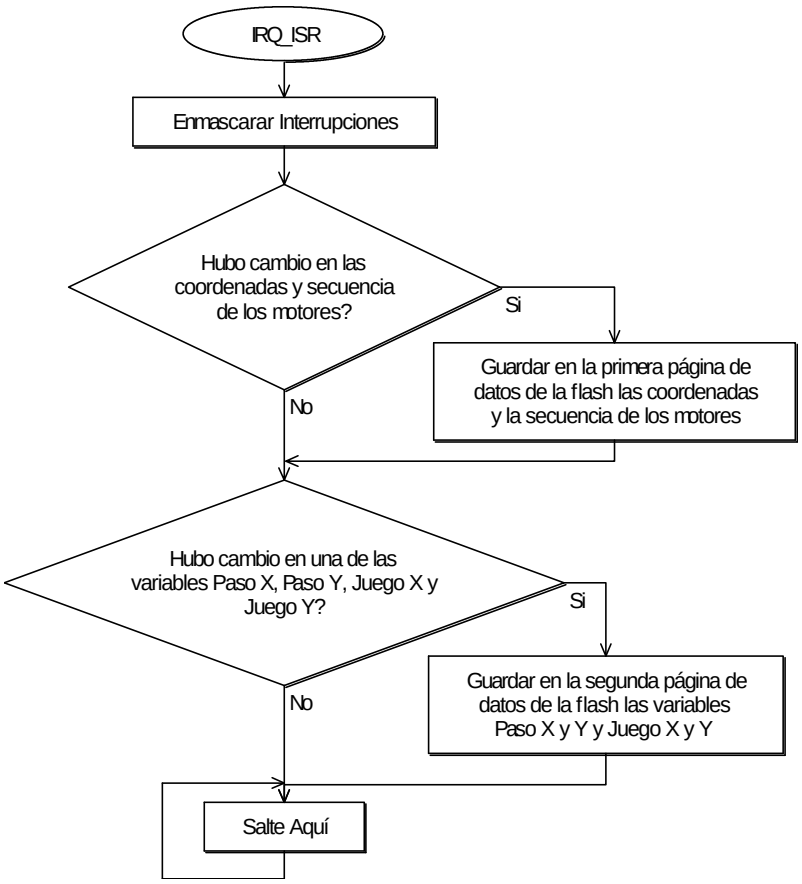



*Figura 37. Diagrama de la rutina de generada por el pin IRQ.*

# CAPITULO 4

# RESULTADOS

## 4.1. FUNCIONES IMPLEMETADAS EN EL SISTEMA

- Desplazar muestras de materiales semiconductores en un plano de dos ejes X y Y con una precisión mayor a los 10 μm, con un rango de 8.8 mm.

- Permitir que el usuario interactúe con el sistema de posicionamiento mediante un entorno gráfico en computador bajo el entorno LabView.

- Posicionar la muestra en una de las coordenadas deseadas por el usuario, dentro del rango.

- Almacenar la secuencia de los motores y las coordenadas del sistema en una memoria no volátil para que estos estén disponibles cuando el computador los requiera.

- El sistema es capaz de realizar barridos sobre la superficie de la muestra en áreas determinadas por el usuario.

- Visualizar el lugar en donde el haz del láser está incidiendo sobre la superficie de la muestra y la sombra que deja éste sobre el material en el modo de barrido automático en el área seleccionada.

- Control de la zona muerta generada por el sistema mecánico, mediante lógica programada.

- Sistema compatible con sensores de posición que evitan que el posicionador se salga de los límites establecidos y que además, le comunica al usuario por medio de led's si se llega o sobrepasa uno de estos límites.

## 4.2. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA

- El software es compatible con los sistemas operativos Windows 98, Me y XP.
- Interacción con el usuario mediante un panel de control generado bajo el entorno grafico LabView.
- Voltaje de operación para la interfaz puerto serial y motores de 5V.
- Bajo costo.

## 4.3. COSTOS

| Descripción | Valor |
|---|---|
| Estación de posicionamiento de alta precisión en los ejes XY Marca NEWPORT Ref. M-MT-XY | 1.000.000 |
| 2 Motores paso a paso de precisión 0.09º / Paso Ref. 30BYJ02AH Marca GBM | 340.000 |
| Fuente de 5 y 12 voltios para motores e integrados | 250.000 |
| Circuito impreso | 50.000 |
| Interfaz puerto serial y motores (semiconductores, chasis, etc.) | 200.000 |
| Engranajes, polea, tornillos, plataforma | 100.000 |
| | --- |
| **Total** | **$ 1.940.000** |

# CAPITULO 5

# CONCLUSIONES

Se ha diseñado e implementado un sistema de posicionamiento que introduce una mejora significativa a la técnica de caracterización de semiconductores por efecto Kerr magneto óptico (Moke), ya que con este sistema es posible evaluar la respuesta magnética no solo de un punto sino de toda la superficie.

Se obtuvo una precisión de más de 10µ para muestras planas de aproximadamente 1 $cm^2$ de superficie, lo que garantiza una mejor incidencia del láser en el material y mayor cubrimiento de éste.

El sistema implementado cuenta con una interfaz gráfica de muy fácil manejo para el usuario la cual requiere de conocimientos básicos en sistemas, debido a que los controles donde se ingresan las variables y botones son muy similares a los que se ven normalmente en cualquier programa bajo Windows.

La posición del sistema es almacenada antes de que el dispositivo sea apagado, para retomarla cuando se encienda nuevamente. Esto se logra por medio de un microcontrolador, el cual lleva a cabo distintas funciones como procesar los datos provenientes de la aplicación el LabView, detectar errores en la comunicación serial entre el actuador y el computador, entre otras.

La velocidad de desplazamiento del portamuestra, se puede graduar en el entorno gráfico, aunque este no es un factor crítico en la técnica de caracterización.

Si se modifica ligeramente el software, el sistema puede ser adaptado a cualquier estación de posicionamiento que cumpla con las especificaciones requeridas por el sistema.

# CAPITULO 6

# TRABAJOS FUTUROS

Dado el modo de operación del sistema y de los componentes elegidos, el sistema se puede configurar fácilmente para variar parámetros como la precisión de los movimientos del portamuestra y la velocidad. Así mismo se puede implementar otro modo de operación que permita adaptar el sistema de posicionamiento a un nuevo portamuestra, variando algunas constantes en los programas, pero sin modificar la lógica de los mismos.

Otras mejoras que se le pueden realizar al sistema son:

Incrementar una coordenada en los movimientos del portamuestra, y de esta manera conseguir movimientos tridimensionales.

Implementar un control de Lazo Cerrado para controlar los movimientos del sistema y calibrarlo, utilizando los sensores de posición ó analizando la misma señal del haz del láser reflejado que incide sobre la muestra.

# BIBLIOGRAFÍA

[1]. PROYECTO COLCIENCIAS-UNIQUINDIO. Las Propiedades Magneto-Ópticas De Películas Delgadas De Mn0.6Zn0.4Fe204/Fe".Fecha de registro 24 de abril del 2003.

[2]. EDMUND OPTICS, [en línea] Stage and Actuator Combinations <www.edmundoptics.com> [consulta 13 de agosto de 2004].

[3]. PEREZ, Sandra M. Diplomado en Instrumentación y Medidas. Pereira. Facultad de Ingeniería Eléctrica. Agosto del 2001.

[4]. RONCANCIO, Henry Antonio. Tutorial de LabView. Semana de Ingenio y Diseño. Universidad Distrital "Francisco José de Caldas". 2000.

[5]. W. Stallings, "Comunicaciones Y Redes De Computadores" (5ª edición), Ed.: Prentice-Hall (1997).

[6]. EYA, [en línea] Introducción a los motores paso a paso. <http://pomelo.ivia.es/mecanizacion/www/Manual_Electronica/elec/mpp/mpp.htm> [consulta 3 de mayo de 2004].

[7]. CLUBMSX, [en linea] Motores paso a paso. <www.clubmsx.com.ar/articulos/I_o/htm/tutpap.html> [consulta 20 de mayo de 2004].

[8]. AUTRIC, [en línea] Motores Paso a Paso. <http://autric.com/Microbotica%20y%20Mecatronica/motores_paso_a_paso.htm> [consulta 20 de mayo de 2004].

[9]. TERVENET, [en línea] Motores de pasos. <http://usuarios.lycos.es/tervenet/StepperMotors.htm> [consulta 1 de junio de 2004].

[10]. CRM, [en línea] Control de motores Paso a Paso. <http://crm.ii.uam.es/web/index.php> [consulta 3 de mayo de 2004].

[11]. Digital DNA. Technical Data MC68HC908JPG32. Motorola. Rev. 6.2002.

[12]. Silica. Guía Didáctica del 68HC08. Motorola. 2001.

[13]. Electrocomponentes S.A. Curso MCUs Flash 68HC908, Capítulo 16. Buenos Aires 2001.

[14]. MAXIM. +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers. 2001.

[15]. SAVANT, C.J. 1998. Diseño Electrónico (segunda edición), Addinson Wesley Longman. México.

[16]. NATIONAL, [en línea] National Semiconductor. <www.national.com/datasheet/ls244.pdf> [consulta junio 28 de 2004]

[17]. GIOBE2000, [en línea] Raccolta pin. <http://www.giobe2000.it/HW/DataSheet/Pag/74244_1.asp> [consulta junio 28 de 2004].

[18]. FAIRCHILD, [en línea] Fairchild Semiconductor. <www.national.com/datasheet/ls244.pdf> [consulta junio 28 de 2004]

[19]. RASHID, Muhammaad H. Electrónica de Potencia: Circuitos, dispositivos y aplicaciones. México, Prentice Hall, 1995.

[20]. NEWPORT. [en línea] Compact Dovetail Linear Stages MT Series. <www.newport.com/store/xq/ASP/lone.Motion+Control/ltwo.Manual+Linear+Stages.htm> [consulta mayo 20 de 2004].

[21]. OMRON. [en línea] Sensor de proximidad DO2Z4M0401. <http://www.multicontrol.com.co/htm/omron_sensores_proximidad.htm> [consulta septiembre 20 de 2004].

# ANEXOS