

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

**FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA**



“MICROPOSICIÓN AUTOMÁTICA PARA MICROSCOPIO ÓPTICO”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN INGENIERÍA

Presenta:

Ing. Oscar Vazquez Espinoza

**MI. Maximiliano Vera Pérez
Director de tesis.**

**Dr. Miguel E. Bravo Zanoguera
Co- Director de tesis.**

Mexicali, Baja .California..

Agosto de 2007

RESUMEN de la tesis de Oscar Vázquez, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN INGENIERÍA. Mexicali, Baja California, México. Agosto de 2007.

MICROPOSICIÓN AUTOMÁTICA PARA MICROSCOPIO ÓPTICO

Resumen aprobado por:

M.I. Maximiliano Vera Pérez
Director de tesis.

Se presenta el desarrollo de un sistema automático de microposición y captura electrónica de imágenes en un microscopio óptico convencional, que puede aplicarse en las tareas donde se requieren imágenes de alta resolución en grandes cantidades y almacenarlas para su estudio posterior, reduciendo el tiempo de trabajo, el error del operador y la pérdida de información. El trabajo consiste en la automatización de los movimientos x - y - z de un microscopio óptico y la captura de imágenes proyectadas por un objeto bajo observación. En el microscopio, el desplazamiento en el eje z sirve para colocar la superficie del porta objetos a la distancia focal del lente objetivo. El movimiento en el plano x - y (platina del microscopio) sirve para realizar un barrido del objeto bajo estudio. En el control automático de desplazamiento en los tres ejes se utiliza motores de pasos, tarjetas manejadoras de motores, *switch* de límite, tarjeta de interfase I/O digital, tarjeta de interfase de video y una cámara CCD (Dispositivo acoplado por carga eléctrica), todo censado y controlado por una PC a través de un software diseñado específicamente para éste trabajo. El software se desarrolló en la plataforma de programación de Lab View y posee funciones que permiten al usuario programar las tareas a realizar en forma automática. Se presentan los resultados de los pruebas de desempeño e imágenes de los barridos extendidos.

Palabras clave: microposición, automatización, microscopio óptico, distancia focal.

The following is a summary of the thesis presented by Oscar Vazquez Espinoza, as a partial requisite in order the Degree of Master in Engineering.

Mexicali, Baja California, México, August of 2007.

“AUTOMATIC POSITIONING FOR AN OPTIC MICROSCOPE”

Summary approved by:

Maximiliano Vera Pérez, M.I.
Thesis Director.

The development of an automatic micro-positioning and of electronic image capture system for a conventional optic microscope is presented. This system could be applied for tasks where a great quantity of high resolution imagery is required, as well for efficient storage for the later studies; thus reducing work-time, errors due to the human operator, and therefore the loss of information. The works consists of the automation of the x - y - z plane axis movements for an optic microscope, and the capture of images projected by an object under observation. Typically, the movement in the z plane axis serves to bring the surface of the sample, containing an object under study, to a position next or within the reach of the objective lens. The movement in the x - y plane axes (object plate) serves to make a scan swept of the object under study. Stepping motors, motor control boards, limiting switches, digital video I/O interface boards and a *CCD (Electrically-Coupled Charged Device)* camera are used in order to control the automatic movement in the three x - y - z plane axes and the capture images. The complete system is controlled and electronically sensed through the use of PC-based software specifically designed for this project. The software was developed on a *Lab View* platform, and its related functions allow the user to program tasks automatically. Final results of the performance tests and samples of image of the extended optical swept are also presented in this work.

Key Words: microposition, automation, optical microscope, focal distance.

Agradecimiento

A mi familia

Gracias por el apoyo que me brindaron durante mis estudios.
También por el apoyo moral y por los valores de la vida.

A mis Maestros

M.I. Maximiliano Vera Pérez

Dr. Miguel E. Bravo Zanoguera

Gracias por el apoyo brindado durante estos años, por su confianza, por creer en mí, por motivarme y ayudarme a salir adelante.

ÍNDICE

	<u>Página</u>
Resumen.	ii
Agradecimientos.	iv
Índice de figuras.	vi
Índice de tablas.	viii
Índice de ecuaciones.	ix
1. Introducción y descripción del proyecto	10
2.- El microscopio óptico y su automatización	13
2.1.- Microscopio óptico.	
a) Elementos ópticos.	15
b) Elementos mecánicos.	18
2.2.- Automatización del microscopio óptico.	22
2.3.- Aplicaciones de la automatización de microscopio óptico.	27
3.- Hardware del sistema de microposición.	29
3.1.- Sistema de microposición.	29
3.1.1.- Hardware del sistema.	
3.1.2.- Software del sistema de microposición.	39
4.-Pruebas y resultados del sistema de microposicionamiento	57
4.1.- Sistema de microposicionamiento construido.	57
4.2.- Resultados del sistema de microposicionamiento x-y-z.	57
4.2.1 .- Pruebas y resultados funcionales en automático.	66
5.- Conclusiones	69
6.- Referencias	71
Apéndice A. Características físicas y eléctricas del hardware utilizado	73
Apéndice B. Circuito de acoplamiento para motores y sensores.	81

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1. Microscopio óptico.	14
2.2. Elementos ópticos de un microscopio.	15
2.3 . Estructura del lente objetivo.	16
2.4. Parámetros del lente objetivo.	17
2.5. Estructura y función del lente ocular.	17
2.6, Matriz de imágenes de la lente ocular.	19
2.7. Microscopio óptico con cámara CCD.	20
2.8. Sensor CCD.	21
2.9. Ángulo de paso de un motor de pasos.	25
2.10. Diagrama básico de un motor de pasos.	26
2.11. Secuencia de pulsos aplicados en la bobinas.	26
3.1 Diagrama a bloques del sistema de microposición.	30
3.2. Elementos y flujo de señales del sistema de microposición.	31
3.3. Diagrama a bloques de la tarjeta PCI-6601 de <i>Nacional Instruments</i> .	32
3.4. Diagrama a bloques de la tarjeta <i>Dual drive</i> .	33
3.6. Diagrama de bloques del circuito manejador del motor del eje z.	34
3.7. Descripción de terminales de los motores de pasos.	35
3.8. Mesa x-y.	36
3.9. Microscopio óptico invertido.	37
3.10. Diagrama interno del sensor SMC D-A93	37
3.11. Diagrama de bloques de la tarjeta de video PCI -1411.	39
3.12 VI para lectura de un bit digital.	42
3.13 VI para escritura de un bit digital.	42
3.14 VI para generar un tren de pulsos finito.	43
3.15. a) Funciones de NI-DAQ, b) Funciones de NI-IMAQ	44
3.16. Control automático.	45
3.17. Estructura de la matriz de barrido.	46
3.18. Punto de inicio del sistema en los ejes x-y-z.	47
3.19. Diagrama de flujo del programa principal.	48

3.20. Diagrama de flujo de la rutina de posición en el punto de inicio x-y-z.	49
3.21. Diagrama de flujo de la rutina de movimiento en los ejes x y	50
3.22. Controles manuales.	51
3.23. Diagrama de flujo de desplazamiento manual en el plano x-y.	52
3.24. Diagrama de flujo de la posición de inicio y captura de imagen.	53
3.25 Estructura programada en <i>Lab View</i> para mostrar y capturar imagen.	53
3.26. Diagrama de flujo de funcionamiento manual del enfoque.	54
3.27. Pantalla principal de software.	55
3.28. Pantalla donde se muestra la imagen capturada en niveles de gris.	56
3.29. Pantalla donde se muestra la imagen capturada en formato binario.	56
4.1. Sistema de microposicionamiento x-y-z para microscopio óptico invertido.	58
4.2. a) Sección de la imagen de patrón de distancia (80 micras).	59
b) Imagen del patrón aplicando al motor de pasos 8 pulsos.	
4.3. Resultados del sensor magnético (SMC D-A93).	61
4.4. Resultados del sensor de luz (Keyence FS-V1) en los ejes x-y.	62
4.5. Resultados del sensor de luz de los ejes x-y (Keyence FS-M1).	63
4.6. Línea fiducial en la imagen binaria.	64
4.7. Resultados de la mesa x-y, para 1,000 pasos a 250 Hz.	65
4.8 Histograma de prueba de precisión.	65
4.9. Imagen Patrón de micro-divisiones (10 μm /división).	67
4.10. Imagen de un microcircuito de 3x3mm.	68
A.1 Señales que intervienen en la generación de trenes de pulsos	75
A.2. Distribución de terminales del circuito SAA1027	76
A-3 Descripción de terminales del motor marca Vexta modelo PX245M-01BA.	77
A-4 Gráfica de torque contra frecuencia del motor marca Vexta modelo PX245M-01BA.	78
A.5. Diagrama interno del sensor SMC D-A93.	78
A.6. Descripción de terminales y diagrama del circuito 4N35	79

ÍNDICE DE TABLAS

2.1. Especificaciones de lentes objetivo comunes.	16
4.1. Resultados de los sensores utilizados.	63
4.2. Resultados de precisión de la mesa x-y.	66
A.1. Descripción de terminales de la tarjeta electrónica National Instruments PCI 6601.	74
A.2. Características eléctricas de la tarjeta electrónica National Instruments PCI 6601.	75
A.3. Niveles de voltaje de la tarjeta electrónica National Instruments PCI 6601.	76
A.4. Características eléctricas del circuito Integrado SAA1027.	76
A.5. Principales características.	77
A.6. Características eléctricas y mecánicas.	77
A.7. Características eléctricas del sensor SMC D-A93.	78
A.8. Características eléctricas del circuito integrado. 4N35.	79
A.9. Características eléctricas del sensor SMC D-A93.	79
A.10. Características de la tarjeta de video PCI -1411.	79
A.11. Especificaciones de la cámara CVC-140 Pro-Video.	80

ÍNDICE DE ECUACIONES

1. Relación del área de visión.	18
2. Diámetro real .	18
3. Magnitud de las lentes del microscopio.	19
4. Área de visión del microscopio.	19
5. Diámetro real de visión del microscopio.	19
6. Cálculo del área de visión.	19
7. Magnitud del desplazamiento en el eje x.	21
8. Magnitud del desplazamiento en el eje y.	21
9. Cálculo de la magnitud del desplazamiento en el eje x.	21
10. Cálculo de la magnitud del desplazamiento en el eje y.	21
11. Cálculo del área de visión del sensor CCD.	21
12. Resolución lineal del sistema de desplazamiento micrométrico	59
13. Velocidad máxima de desplazamiento de la mesa x-y	60
14. Desviación estándar	60

Capítulo 1

Introducción y descripción del proyecto.

La solución de muchos problemas bioquímicos y biomédicos tienen como herramienta de apoyo el microscopio óptico para analizar o estudiar objetos pequeños o micro-organismos. El microscopio óptico en el transcurso del tiempo ha tenido varios cambios, y especialmente en los últimos 20 años de avance tecnológico. Hoy en día los microscopios modernos son una poderosa herramienta que ofrece muchas ventajas. Además de los avances en la óptica, se busca automatizar las funciones manuales de estos. Existen tareas donde se requiere un microscopio automatizado, que pueda tomar imágenes microscópicas en grandes cantidades, almacenarlas y administrar la información. Por lo que es necesario desarrollar técnicas de automatización aplicada a los microscopios ópticos en sus funciones manuales, como lo son el microposicionamiento, iluminación, selección de objetivo, enfoque y almacenamiento digital de las imágenes tomadas. En el caso de la microscopía óptica de alta resolución, el número de imágenes y la

cantidad de información en estas aumenta y resulta difícil de administrar, por el ser humano.

El estudio de éste trabajo se concentra en la automatización de la posición de un portaobjetos en el plano $x-y$, enlazado a la posición automática en el eje z . La automatización del plano $x-y$ es un punto crítico en el manejo de un microscopio para obtener alto rendimiento, para esto se requiere de un control de posición de alta precisión y velocidad de posición, la cual difícilmente puede ser alcanzada por el ser humano.

En la automatización de la platina del microscopio óptico se utiliza una mesa $x-y$ motorizada de alta resolución, que permite mover la muestra a través de motores de pasos controlados por una computadora.

En general se automatizaron los desplazamientos manuales de un microscopio óptico: desplazamiento de la lente objetivo y desplazamiento lateral. Se desarrollo una interfase gráfica de control para el usuario, de fácil manejo en la programación de tareas de escaneo de objetos. Para la realización de este trabajo, fueron necesarios los siguientes puntos.

- 1.- Determinar la instrumentación necesaria para la automatización, mediante el estudio del comportamiento de los motores y mecanismos de las mesas $x-y$ así como las consideraciones necesarias a tomar en base a las condiciones físicas de operación del microscopio óptico.
- 2.- Determinar la resolución y presición realizando pruebas en la mesa $x-y$.
- 3.- Aplicar el control electrónico de los motores, mediante el uso de tarjeta manejadora de motores eléctricos de pasos (*Driver*) y su enlace con una computadora a través de una tarjeta electrónica de entrada –salida (I/O).

4.- Desarrollar el software a utilizar en la computadora, para controlar la posición en el espacio x - y - z implementando barridos específicos en forma de matriz con la opción de que el usuario declare las dimensiones del barrido y también la posición del foco z , digitalizar y almacenar en la computadora las imágenes captadas.

En el capítulo 2 de éste trabajo contiene la información de los conceptos básicos, métodos y sistemas de aplicación utilizados en la automatización de microscopios y los parámetros críticos en la estructura de los microscopios convencionales, describiendo y clasificando cada uno de los elementos que los conforman físicamente. El Capítulo 3 muestra la descripción de cada uno de los elementos de hardware, y software adicionados en este trabajo al microscopio utilizado, para lograr nuestro objetivo, la automatización de los movimientos manuales del microscopio involucrando los motores de pasos, controladores de motores, Interfaces electrónicas, Cámara digital, y el software desarrollado en Lab. View como interfase para el usuario. El Capítulo 4 se describen las pruebas funcionales realizadas a los motores, mecanismos, sensores, y software diseñado, presentando los resultados y desempeño de los componentes del sistema a través de las graficas y su análisis estadístico de las variables en estudio. Se muestra la obtención de grandes cantidades de información logradas en los barridos de captura de imágenes, siendo una de las principales funciones de este proyecto.

.

Capítulo 2

2.1 El microscopio óptico y su automatización.

El ojo humano, en condiciones normales, puede distinguir dos puntos si su separación mínima es de 0,1mm (100 μm); para estudiar objetos pequeños o micro-organismos es necesario usar instrumentos que amplifiquen su imagen para ser analizadas por el observador. Uno de estos instrumentos es el microscopio óptico que se usa para observar la imagen de objetos pequeños o micro-organismos, con diversas escalas de amplificación. Los objetos a observar pueden ser tridimensionales o planos y los microorganismos pueden estar estáticos o con movimiento [1].

El microscopio óptico (figura 2.1) es un instrumento de manipulación manual en todas sus funciones, característica que lo hace un equipo versátil para cualquier laboratorio para el estudio de objetos pequeños, pero depende de la capacidad del usuario. Una característica importante de los microscopios ópticos es que no perturban el ambiente natural con la radiación utilizada para obtener la imagen del objeto [2].

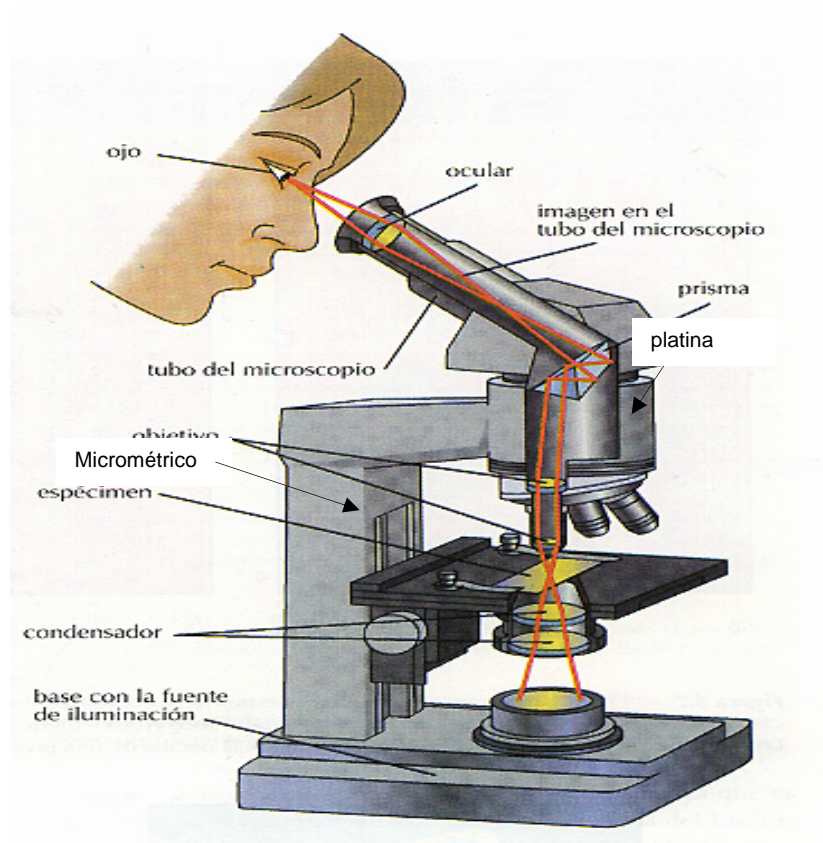


Figura 2.1. Microscopio óptico.

El modo de operación de un microscopio óptico es el siguiente: el objeto o muestra a observar se coloca en un recipiente especial (porta objetos), el cual se coloca sobre la platina, la muestra se ubica en dirección de la lente objetivo y se enfoca la imagen de la muestra. Para lograr el enfoque de la imagen, es necesario ajustar la distancia entre la muestra y la lente objetivo (Distancia Focal de la lente objetivo). Para observar la muestra completa es necesario realizar desplazamientos de la platina para explorar toda el área de la muestra y los desplazamientos se realizan girando manualmente los tornillos micrométricos de la platina.

El microscopio óptico está conformado por dos tipos de elementos: a) Ópticos y b) Mecánicos.

a) Elementos ópticos.

Son lentes y prismas que captan la luz visible reflejada por el objeto para producir una imagen ampliada, la cual se proyecta sobre la retina del ojo o sobre un dispositivo de adquisición de imagen (Cámara de video). En la figura 2.2 se muestran los principales elementos ópticos del microscopio óptico. La lente condensador enfoca la luz de la fuente de iluminación sobre una área pequeña de la muestra y la lente ocular amplifica la imagen del objeto para el observador humano [3].

La lente objetivo del microscopio óptico es un dispositivo compuesto por varias lentes montadas en un armazón que la hace fácil de colocar en el microscopio óptico, su función es recolectar la luz reflejada del objeto bajo observación. La figura 2.3 muestra la estructura y parámetros de una lente objetivo convencional y en la tabla 2.1 muestran las especificaciones de algunas lentes objetivos.

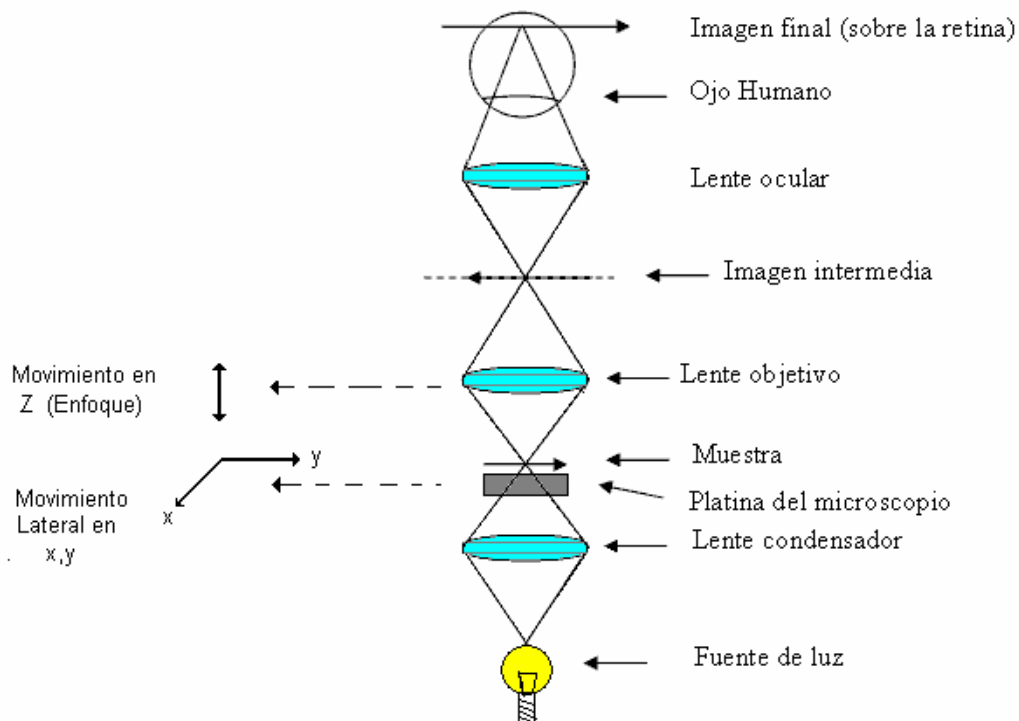


Figura 2.2. Elementos ópticos de un microscopio.



Figura 2.3 . Estructura del lente objetivo.

Uno de los parámetros de la lente objetivo es la magnificación que es el factor de amplificación de la imagen proporcionada por la lente; por ejemplo, un objeto circular de 1mm de diámetro si se observa con una lente de 4X se proyectará una imagen de 4mm de diámetro.

Apertura Numérica: Éste parámetro indica la capacidad de la lente para recolectar la luz emitida o reflejada de un objeto y ésta relacionada con la apertura angular del cono de luz que entra en el lente.

Distancia de trabajo: Es la distancia entre la lente objetivo y el objeto bajo observación cuando se encuentra enfocado. La apertura numérica y distancia de trabajo, se muestra en la figura 2.4

Tabla 2.1. Especificaciones de lentes objetivo comunes.

Magnificación	Apertura Numérica	Distancia de trabajo en mm	Profundidad de campo
4x	0.10	30.00	15.5
10x	0.25	6.10	8.5
20x	0.40	2.10	5.8
40x	0.65	0.65	1.0
60x	0.80	0.30	0.40
100x	1.25	0.18	0.19

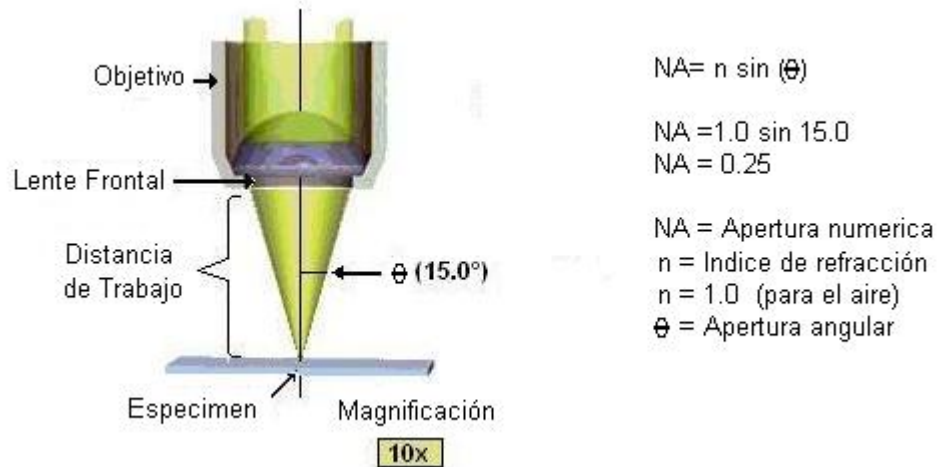


Figura 2.4. Parámetros del lente objetivo.

Profundidad de campo: Es la distancia que puede desplazarse la lente objetivo en foco sin provocar un cambio apreciable en la nitidez de la imagen.

La lente ocular está conformada por una o varias lentes colocadas en un armazón para facilitar su instalación en el microscopio óptico y su función es proyectar la imagen sobre el ojo humano. La estructura y función de esta lente se muestran en la figura 2.5. Comúnmente el número de campo de visión (FN) está impreso en el exterior del ocular junto al valor de magnificación y posee un rango de 16 a 22 mm [4].

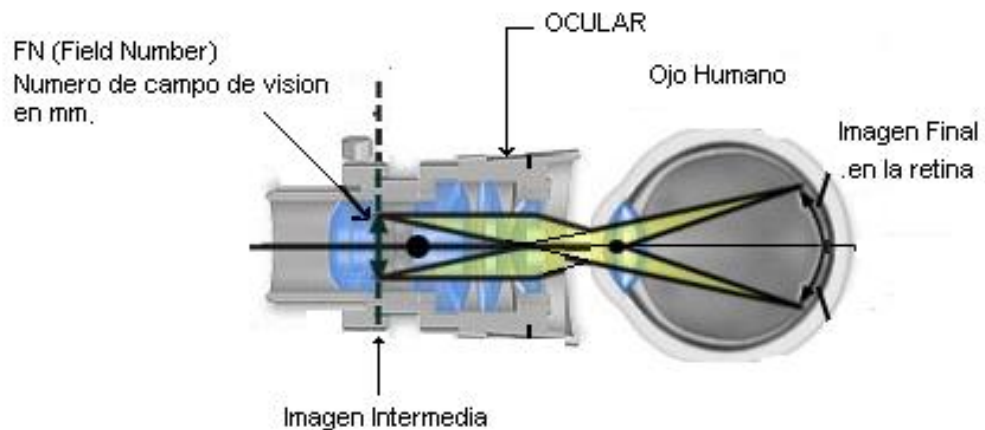


Figura 2.5. Estructura y función del lente ocular.

b) Elementos mecánicos.

El microscopio óptico posee piezas mecánicas fijas y móviles. Las piezas fijas conforman la estructura de soporte del microscopio y las piezas móviles permiten ajustar manualmente el microscopio óptico. El desplazamiento manual del objeto bajo estudio se puede realizar sobre dos ejes x-y y el enfoque (eje z) se ajusta desplazando la lente objetivo.

El desplazamiento en el eje z, desliza verticalmente (sube o baja) la lente objetivo para enfocar el objeto y éste se realiza mediante manipulación manual de una cremallera con movimiento micrométrico y macrométrico. El desplazamiento del plano (plano del objeto) perpendicular al eje z, se realiza mediante una mesa x-y (platina), también manipulada manualmente en ambos ejes x-y por medio de tornillos micrométricos.

El desplazamiento lateral del plano del objeto se requiere para observar superficies extensas con el microscopio óptico. Una muestra cuya área de estudio es mayor que el área observada a través del sistema óptico del microscopio, el objeto se requiere mover en el plano x-y para cubrir el área total de estudio. Los desplazamientos del objeto o plataforma requeridos para realizar el barrido del área total de la muestra están en función del diámetro del área de visión del lente ocular. En un microscopio óptico el área de visión (A_v) es inversamente proporcional a la magnificación de las lentes (M_{lentes}) que intervienen, esto es:

$$A_v \propto \frac{1}{M_{lentes}}. \quad (1)$$

Como las lentes poseen forma circular, el área de visión esta en función del diámetro real de visión (DR) y éste se calcula de la forma siguiente:

$$DR = \frac{FN}{M_{lentes}}, \quad (2)$$

donde FN es el número de campo de visión de la lente ocular, que es un dato del fabricante y M_{lentes} es la magnificación total de las lentes involucradas, sin

considerar la lente ocular; en el microscopio óptico con lentes en el tubo tendrá una magnificación de: [5]

$$M_{lentes} = M_{lente\ objetivo} \times M_{lente\ del\ tubo} \quad (3)$$

El área de visión A_v se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$A_v = \frac{DR^2}{4} \pi. \quad (4)$$

En el caso de un microscopio óptico con una lente objetivo con magnificación $40X$, $1X$ de magnificación de las lentes del tubo y FN de 18.5 mm de la lente ocular, tiene un diámetro real de visión de:

$$DR = \frac{FN}{M_{lentes}} = \frac{18.5}{(40)(1.0)} = 0.462\text{ mm}, \quad (5)$$

y un área de visión de:

$$A_v = \frac{DR^2}{4} \pi = \frac{(0.462)^2}{4} \pi = 0.167\text{ mm}^2. \quad (6)$$

Generalmente el área de visión no abarca el total de la superficie del objeto a observar por lo que se tiene que realizar desplazamientos laterales iguales al valor de DR para observar la mayor parte de la superficie total de la muestra bajo estudio y las imágenes no se traslapen, como se muestra en la figura 2.6.

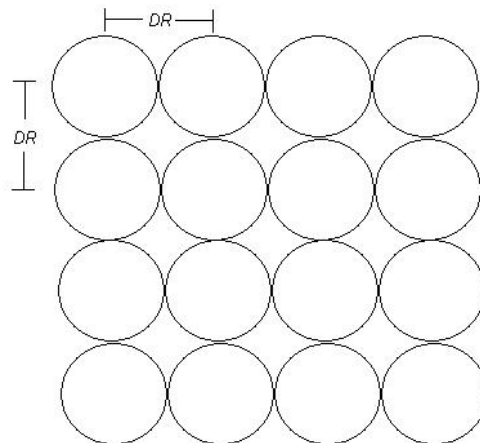


Figura 2.6, Matriz de Imágenes de la lente ocular.

Como se observa en la figura 2.6, las imágenes no cubren el total del área del objeto bajo estudio, quedando pequeñas áreas sin observar. Este problema se puede eliminar ubicando y observando el área donde se unen las cuatro imágenes de área circular.

Algunos microscopios ópticos poseen un puerto óptico especial para colocar una cámara (Figura 2.7). A través de este elemento electrónico instalado se puede capturar y almacenar las imágenes de un objeto. En este caso cada imagen digital que conforma parte de toda la superficie es de forma rectangular a diferencia de la imagen observada a través de la lente ocular que es circular .

Las imágenes del barrido de superficies extensas a través del microscopio óptico se pueden observar en un monitor o almacenarlas, si el microscopio posee un puerto óptico para colocar una cámara *CCD* (figura 2.7). El dispositivo electrónico *CCD* captura áreas rectangulares de la imagen del objeto, a diferencia de la imagen observada a través de la lente ocular, que tiene un área circular.



Figura 2.7. Microscopio óptico con cámara *CCD* .

Para realizar un barrido y observar sus imágenes a través de la cámara CCD del total de la imagen del objeto, es necesario realizar desplazamientos laterales iguales a las dimensiones del sensor CCD (figura 2.8), proporcionando cada imagen digital de dimensiones $(D_x \times D_y)$. La magnitud del desplazamiento en el eje x (D_x) , es

$$D_x = \frac{A}{M_{lentes}} \quad (7)$$

donde A el ancho del sensor CCD. La magnitud del desplazamiento en el eje y (D_y) , es

$$D_y = \frac{B}{M_{lentes}} \quad (8)$$

donde B es la altura del sensor CCD.

Para el caso de un microscopio óptico que utiliza una lente objetivo con magnificación de $40X$, magnificación en las lentes del tubo de $1X$ y un sensor CCD de $5.12 \text{ mm} \times 3.4 \text{ mm}$, que tiene un área de visión AV_{CCD} :

$$D_x = \frac{A}{M_{lentes}} = \frac{5.12}{(40)(1)} = 0.128 \text{ mm}. \quad (9)$$

$$D_y = \frac{B}{M_{lentes}} = \frac{3.4}{(40)(1)} = 0.0850 \text{ mm}. \quad (10)$$

$$AV_{CCD} = D_x \times D_y = 0108 \text{ mm}^2. \quad (11)$$

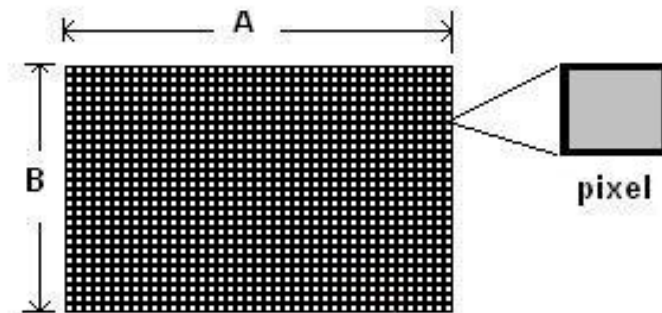


Figura 2.8. Sensor CCD.

La forma rectangular de cada imagen proporciona una ventaja al observar el total del área de un objeto, ya que realizando los desplazamiento D_x y D_y adecuados se cubre totalmente el área del objeto bajo estudio, evitando traslape de información u omisión perdida de información.

2.2 Automatización de microscopio óptico.

Como se mencionó anteriormente el microscopio óptico esta formado por elementos Ópticos y Mecánicos. Los elementos ópticos están diseñados y montados para proporcionar una imagen del objeto a través de la lente ocular o mediante una cámara *CCD* y su disposición no se debe alterar, ya que se afectaría la imagen del objeto. Los elementos mecánicos móviles del microscopio óptico permiten desplazar manualmente el objeto bajo estudio para ubicarlo a la distancia focal de la lente objetivo y realizar un barrido del mismo.

En trabajo continuo con un microscopio óptico, el operador tiende a la fatiga disminuye la eficiencia y por ende, ha generar errores tales como imágenes con diferente calidad, diferente enfoque y traslape de imágenes omitiendo información. Este tipo de errores se pueden minimizar si algunas funciones manuales del microscopio óptico se automatizan, como el caso de los desplazamientos laterales, el enfoque y captura de imagen.

Las manipulaciones manuales de desplazamiento que se pueden automatizar en el microscopio óptico sin alterar su función general, son los desplazamientos del objeto bajo estudio y la captura de imágenes. Para automatizar un microscopio óptico se requiere instalar elementos mecanismos para el movimiento de la muestra (enfoque y desplazamiento lateral) y controladores de movimiento y de flujo de datos.

Integrado el sistema con los elementos expuestos ocasiona que con el microscopio se realice un mayor trabajo en menor tiempo. Adicionado a esto, si

se integra un software de control de movimiento y manejo de imágenes, con repetibilidad y precisión en su funcionamiento el microscopio óptico se torna más eficiente.

Para realizar la automatización del movimiento lateral (plano $x-y$) en un microscopio óptico, se requiere controlar una mesa $x-y$ con desplazamientos del orden de micras, para posicionar el objeto bajo estudio. En las técnicas de microscopía donde se requiere precisión y velocidad para microposicionar el objeto en un plano es crítico, en el estudio de un objeto. Con una mesa $x-y$ motorizada es posible posicionar el objeto en las coordenadas $x-y$ deseadas, esto en forma automática utilizando un controlador de motores que actúan sobre la mesa $x-y$.

Una mesa $x-y$ como componente mecánico presenta características naturales como:

- a) Desplazamiento lineal por eje. Es la distancia que puede recorrer la mesa en una dirección y está determinada por la longitud del elemento que realiza el desplazamiento para cada eje.
- b) Área de trabajo. Es el área que se puede recorrer efectuando el total del desplazamiento lineal en dos ejes. Éste parámetro depende de las dimensiones de la mesa $x-y$.
- c) Elemento de desplazamiento lineal. Es el elemento físico que aplica la tracción a cada eje de la mesa $x-y$ para realizar el desplazamiento lineal y éste puede ser un tornillo sinfín, banda o engranes lineales. La característica principal de éste elemento es la resolución que determina el menor incremento que puede efectuar el elemento de desplazamiento lineal en forma constante. Para el caso de un tornillo sinfín la resolución esta determinada por la cantidad de hilos (roscado) por

unidad de distancia, y en el caso de una cremallera, la resolución la determina la cantidad de dientes por unidad de distancia.

d) Repetibilidad. La repetibilidad de movimiento está relacionada con la precisión de la mesa $x-y$. Esta especificación se maneja de dos formas unidireccional o bidireccional. Repetibilidad unidireccional es la capacidad de la mesa $x-y$ de regresar a un punto determinado, siempre proviniendo del mismo sentido. Repetibilidad bidireccional es la capacidad de la mesa $x-y$ de regresar a un punto determinado, proviniendo de cualquier punto en el plano $x-y$. El valor de esta característica se determina por la desviación estándar que presenta [6].

e) Tiempo de vida. Se refiere a la cantidad movimiento con precisión en unidades de longitud garantizadas por el fabricante. El tiempo de vida esta relacionado con la capacidad de carga. Si se aplica apropiadamente ésta (no exceder capacidad de carga), el tiempo de vida de la mesa $x-y$ excede al del sistema completo.

f) Capacidad de carga. Es la cantidad máxima de carga permisible, en el diseño de sistemas con mesas $x-y$ pequeñas usualmente no es un factor critico.

Para mover la mesa $x-y$ se requiere girar los elementos de desplazamiento lineal a través de perillas. Para automatizar los movimientos lineales de la mesa $x-y$ se requiere adaptar motores eléctricos que proporcionen el giro requerido controlando electrónicamente la cantidad de giro del motor. Para controlar el giro de un motor eléctrico se requiere de un sistema de control de lazo cerrado o de lazo abierto.

El modelo de control (lazo abierto o lazo cerrado) de motores eléctricos, depende del tipo de motor a utilizar. En el modelo de control de posición de lazo cerrado generalmente se utilizan motores de DC o AC, en donde es necesario verificar constantemente la posición (red de realimentación) para determinar si la salida es correcta o requiere corrección. En un control de posición de lazo abierto

se utilizan motores de pasos, donde la posición se determina mediante la cantidad de pulsos que se envían al motor y no es necesario verificar la posición. La mayoría de los fabricantes de mesas x-y utilizan en sus diseños motores de pasos en configuración de lazo abierto y poseen alta precisión y repetibilidad [7].

Los motores de pasos se activan con pulsos eléctricos, ocasionando que su eje gire. Con cada pulso eléctrico se genera un paso y por ende un giro en el eje del motor de pasos. Cada paso del motor de pasos produce un ángulo de giro llamado ángulo de paso como se muestra en la figura 2.9. Por lo que, en el motor de pasos los grados de rotación y la velocidad de rotación son controlados mediante señales digitales. Los motores de pasos están formados por un rotor magnético y un estator compuesto por un grupo de bobinas como se muestra en la figura 2.10. Para hacer girar el rotor se aplican pulsos en forma secuencial a las bobinas y el sentido de giro del motor lo determina el orden de la secuencia de estos, como se muestra en la figura 2.11. Otra característica de los motores de pasos es su alto torque, por lo que presenta alta aceleración de inicio un movimiento rápido.

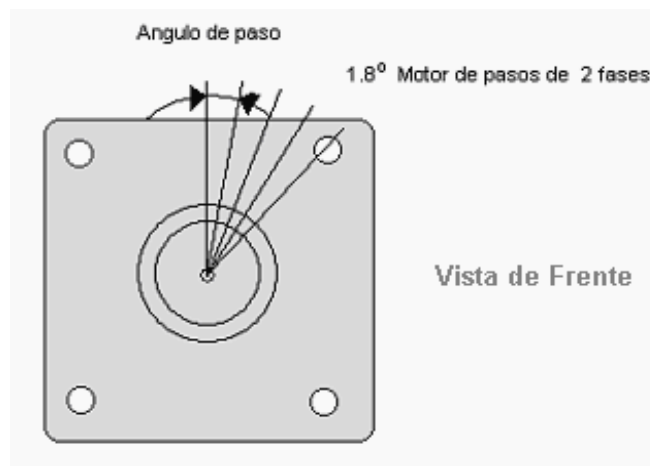


Figura 2.9. Ángulo de paso de un motor de pasos.

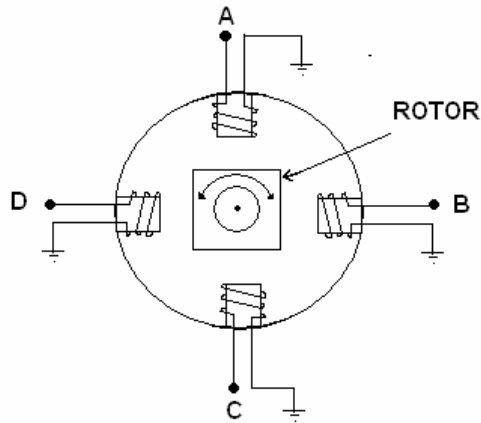


Figura 2.10. Diagrama básico de un motor de pasos.

En diversas aplicaciones, el control de lazo abierto de motores de pasos consta de un controlador, que puede ser una interfase electrónica digital, siendo esto una ventaja en el control de lazo abierto de los motores de pasos para adaptar el sistema como una microcomputadora. Las computadoras manejan comandos que se transforman señales digitales, que a su vez pueden convertirse en señales de posición a través de un circuito de conversión y acoplamiento (*Driver*) para el motor de pasos.

Una desventaja del control de lazo abierto de los motores de pasos es que su fuerza disminuye conforme aumenta su velocidad, como se muestra en la figura 2.11, por lo que es importante considerar la velocidad y fuerza requerida en el sistema de posicionamiento, la selección de los motores de pasos a utilizar y establecer los límites de velocidad en el controlador de los motores.

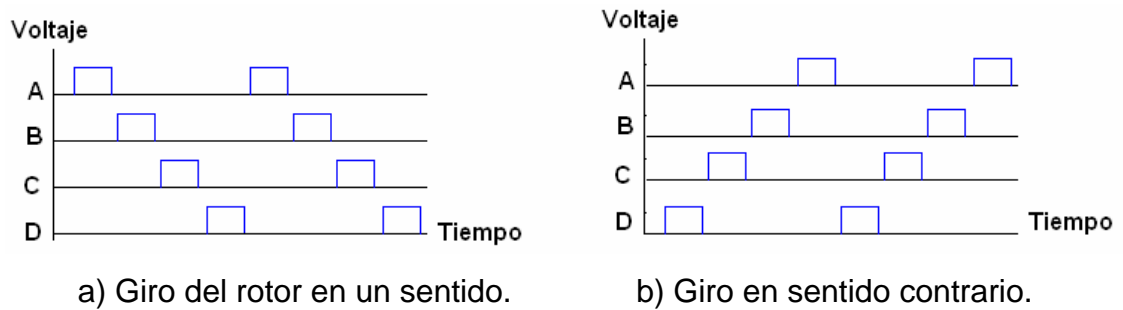


Figura 2.11. Secuencia de pulsos aplicados en las bobinas.

2.3 Aplicaciones de la automatización de un microscopio óptico.

En la actualidad el uso de instrumentos de visión y medición (cuantitativas o cualitativas) automatizados es una necesidad en muchas aplicaciones, donde éstas se pueden clasificar en clínicas e industriales [8].

En aplicaciones clínicas de estéreoología, la mesa x-y se mueve para ubicar una coordenadas. Cuando se trabaja con imágenes de células a alta magnificación, pequeños cambios en el posicionamiento, pueden encabezar cambios importantes en la localización de la célula en el campo de visión. Por ejemplo, si el usuario trata de obtener la imagen para el análisis de cambio, en varias células en diferentes periodos de tiempo, es vital que el sistema de microposicionamiento motorizado localice las mismas células repetidamente. Si el usuario desea medir el desplazamiento de los cuerpos en la imagen varios puntos en diferentes periodos de tiempo, la repetibilidad se torna más crítica pues los errores de posición del sistema se ven reflejados en la medición de movimiento de los objetos de la imagen de cada punto [9].

En aplicaciones que requieren imágenes de gran resolución y calidad, se aplica el uso de unidades confocales, que es un accesorio especial de los microscopios, que mejoran substancialmente la calidad de la imagen, pero seccionando la imagen. Estas unidades son colocadas entre la fuente de luz y el cuerpo del microscopio y consisten en un filtro de luz basado en un orificio de pequeño diámetro (*pin hole*) que sólo deja pasar la proyección de la parte central de la imagen que más calidad tiene, la cual es otorgada por la distancia focal. Cuando se utiliza ésta técnica de microscopía, para obtener una imagen completa de la muestra es necesario realizar un barrido por todo el objeto y capturar las imágenes generadas en cada punto del barrido y posteriormente unir las. La automatización de los desplazamientos laterales de la muestra y la captura de imágenes con precisión es muy importante para evitar pérdida de información o información redundante en la reconstrucción de la imagen total. Ésta es una

aplicación donde la automatización del microscopio óptico es necesaria y la flexibilidad del software para el usuario en donde se permita definir los parámetros de los barridos es aun más [10].

En la industria de semiconductores y metal-mecánica, se requieren altos niveles de precisión y durabilidad de las herramientas de inspección, compuestas principalmente por sistemas de visión como los microscopios, que involucran robots en el manejo de materiales a inspeccionar en el proceso productivo. En la industria de los semiconductores, la inspección de los microcircuitos se realiza utilizando microscopios ópticos operados manualmente o motorizados operados a través de controles manuales, la producción industrial de microcircuitos es de miles de microcircuitos por día, inspeccionar al 100% los microcircuitos (caso ideal) agrega mucho mas tiempo y personal, por lo que optan por muestrear los lotes de microcircuitos e inspeccionar al azar y aplican análisis estadístico, con lo que aseguran un porcentaje de calidad, mas no el 100%. La automatización de un sistema de visión con microscopio, además de involucrar la aplicación de motores en sus movimientos manuales, requiere de la aplicación de un software de control adecuado a las necesidades de cada caso. Un microscopio automatizado reduce el tiempo de inspección permitiendo a la industria elevar sus niveles de calidad inspeccionando una muestra mayor o el total del producto sin aumentar significativamente el tiempo y personal.

En la década de 1990 se iniciaron los estudios sobre la automatización de los microscopios ópticos, motorizando los movimientos manuales de los porta-objetos y otras partes del microscopio. En la actualidad, los fabricantes se han enfocado en el desarrollo de software, para lograr mayor automatización en estos sistemas, en aplicaciones específicas [11].

Capítulo 3

HARDWARE Y SOFTWARE DEL SISTEMA DE MICROPOSICIÓN

3.1 Hardware del sistema de microposición.

La automatización de los diversos desplazamientos en el microscopio óptico requiere de gran exactitud y precisión (del orden de micras) para conocer físicamente la posición relativa de un punto en el espacio tridimensional. Para realizar esta tarea se requiere de elementos mecánicos, electromecánicos y electrónicos de alta resolución en su operación. Para el caso en estudio se desarrolló un sistema de desplazamiento automático en los tres ejes para un microscopio óptico.

En el microscopio óptico el movimiento en el plano x - y se usa para realizar un barrido en el área de estudio de un objeto pequeño o micro organismo y con el desplazamiento en z se enfoca. En el sistema automático propuesto de micro posicionamiento para microscopio óptico se aplica control de lazo abierto tanto para el plano x - y como para el eje z , a excepción del proceso de ubicar la posición de inicio en los tres ejes, que es a lazo cerrado. La figura 3.1 muestra el diagrama a bloques del sistema propuesto de microposición automática para un microscopio óptico invertido.

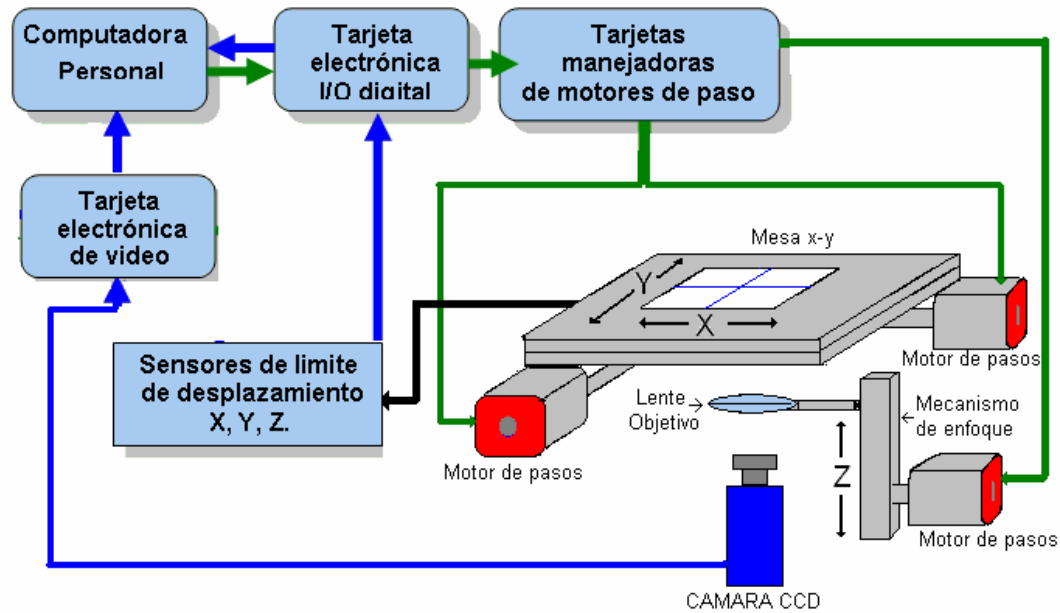


Figura 3.1 Diagrama a bloques del sistema de microposición.

3.1.1 Sistema de microposición.

Los elementos (hardware) que conforman el sistema de microposición automática, así como el flujo de señales eléctricas se muestran en la figura 3.2 Elementos del sistema de microposición:

- a). Micro computadora.
- b). Tarjeta electrónica de entradas/salidas (I/O) digital.
- c). Tarjetas manejadoras de motores de pasos.
- d). Motores de pasos.
- e). Mesa x-y.
- f). Microscopio óptico.
- g). Sensores de limite de desplazamiento (Sensores de magnetismo).
- h). Opto aisladores.
- i). Sensores ópticos de punto de inicio de desplazamiento x-y-z.
- j). Tarjeta de video NI-IMAQ 1411.
- k). Cámara CCD Pro-video.

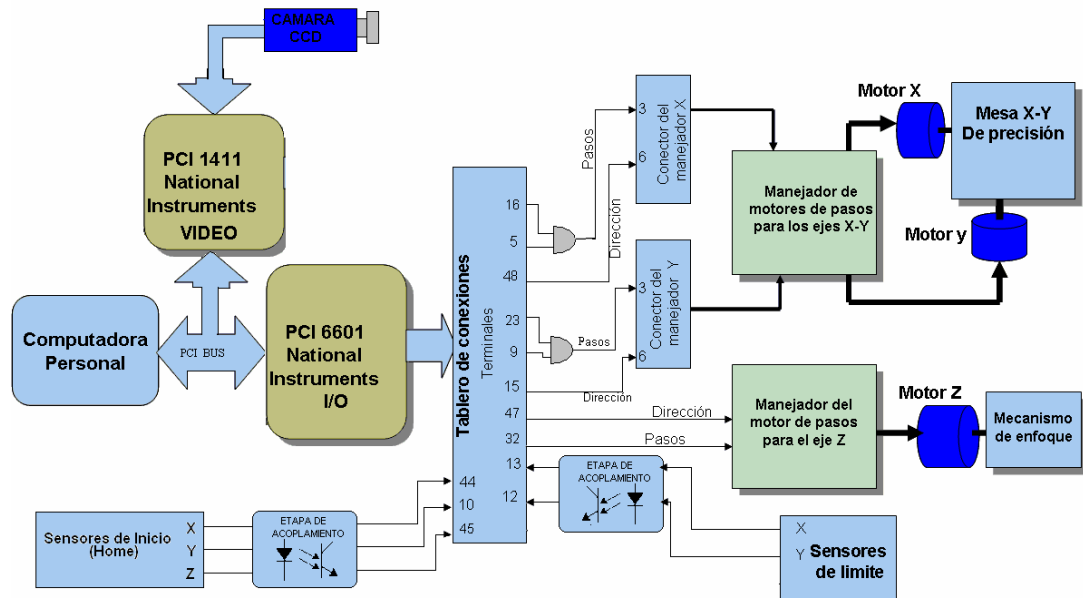


Figura 3.2. Elementos y flujo de señales del sistema de microposición.

a). Computadora personal.

Se trabajó con una computadora personal Pentium III, que realiza la tarea de recibir las señales de los sensores, enviar las señales de control a las tarjetas manejadoras de los motores de pasos y recibir la señal de video y grabar la imágenes digitales. Las características de la computadora son:

- Procesador *AMD Athlon 1000 MHz*,
- 256 MB de memoria DDR RAM
- Tablero principal *Main Board* modelo *M7MIA*

b). Tarjeta electrónica de entradas y salidas (I/O) digital.

La función de esta tarjeta es procesar las señales de entrada y salida de la computadora; se utiliza una tarjeta electrónica para este fin, fabricada por National Instruments PCI 6601, la figura 3.3 muestra el diagrama a bloques de esta tarjeta y tiene las siguientes funciones:

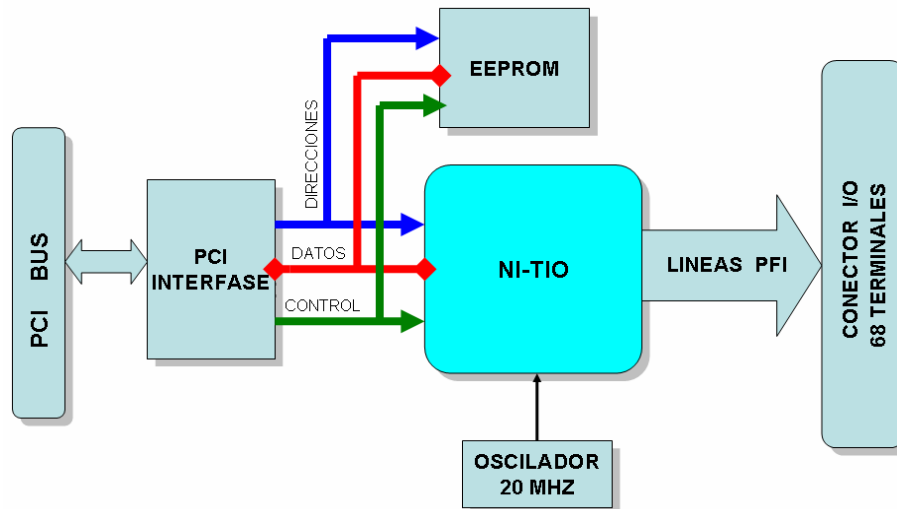


Figura 3.3. Diagrama a bloques de la tarjeta PCI-6601 de National Instruments

- Configurable por software, esto es, no cuenta con interruptores ni puentes manuales, la mayoría de las funciones de la tarjeta dependen de contadores y de canales I/O digitales integrados en un módulo denominado NI-TIO por National Instruments. El módulo NI-TIO posee cuatro contadores (*up/down*) de 32 bits cada uno y 32 canales I/O digitales.
- Los contadores trabajan con una base de tiempo interna de 20 MHz. También pueden trabajar con una base de tiempo externa, que se proporciona a la tarjeta a través de las terminales denominadas “*source*”.
- Los 32 canales digitales I/O se pueden configurar como entrada o salida; los primeros 8 están disponibles como canales I/O digitales y los 24 canales I/O digitales restantes se comparten con los contadores. En el Apéndice A, se muestra la asignación de las terminales de la tarjeta electrónica y sus características eléctricas.

c). Tarjetas manejadoras de motores de pasos.

El manejo de los dos motores de pasos en la mesa x-y se realiza con una tarjeta *Dual drive*, que tiene la capacidad de activar dos motores de pasos. El

control del motor para el desplazamiento en el eje z se realiza a través de la tarjeta 2035-0 de Applied Motion Products, cuya capacidad es para un solo motor de pasos.

La figura 3.4 muestra el diagrama a bloques de la tarjeta manejadora *Dual Drive*. Esta tarjeta posee dos circuitos integrados, encargados de generar los trenes de pulsos para cada bobina de cada motor de pasos a través de amplificadores de corriente.

La función principal de la tarjeta de la figura 3.4 la realizan dos circuitos integrados SAA1027 (figura 3.5), cada circuito integrado maneja un motor de pasos de cuatro fases y consta de un contador bidireccional de cuatro estados lógicos y un código de conversión que genera en las cuatro salidas ($Q_1 \rightarrow Q_4$) la secuencia requerida para manejar el motor de pasos, condicionadas directamente por el bit de dirección y los pulsos de avance que recibe el contador.

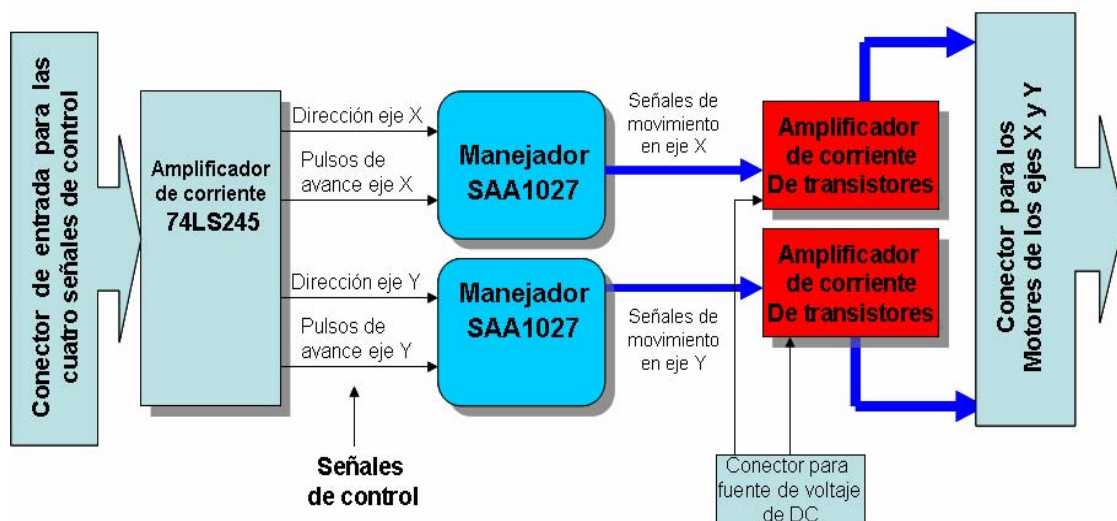


Figura 3.4. Diagrama a bloques de la tarjeta *Dual drive*.

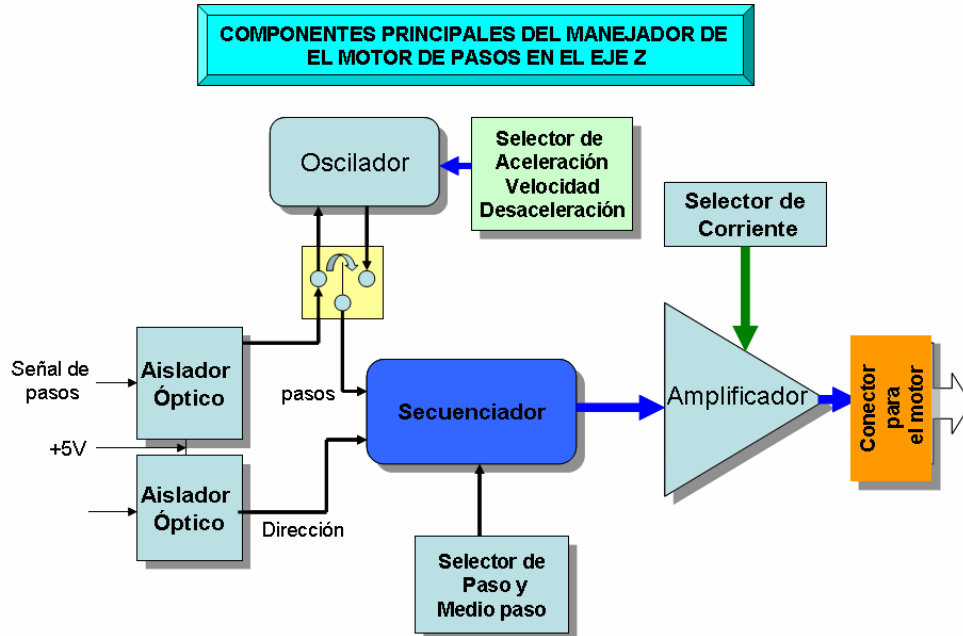


Figura 3.6. Diagrama de bloques del circuito manejador del motor del eje z.

En la figura 3.6 se muestra el diagrama a bloques de los elementos principales que componen la tarjeta manejadora 2035-O marca *Applied Motion Products* y sus características se muestran en el Apéndice A. Tiene la capacidad de generar las señales necesarias para controlar y activar un motor de pasos.

La tarjeta 2035-O requiere de dos señales de entrada de control para activar el motor de pasos, siendo éstas:

- 1.- Sentido de giro (0 ó 1), suministrada en la terminal *Dir* del circuito.
- 2.- Número de pasos o de pulsos y la frecuencia del tren de pulsos. Ésta señal se conecta en la terminal *step* del circuito.

La tarjeta manejadora 2035-O, utiliza el mismo tipo de señal de entrada que la tarjeta manejadora *Dual drive* y su funcionamiento es similar. En la tarjeta 2035-O los pulsos para que el motor gire se pueden generar con un oscilador interno o con un generador externo. El oscilador interno es variable en frecuencia (*Speed adj*) y aceleración por medio de potenciómetros (*Accel adj*), la selección de

la fuente de pulsos se realiza por medio de un interruptor (*Ext speed*), el límite de corriente (entre 0.4 Amps hasta 3.5 Amps) en cada terminal del motor se selecciona por la combinación de 5 interruptores (*Current settings*) localizados en la tarjeta.

d). Motores de pasos.

Para mover la mesa de precisión *x-y*, se utilizan dos motores de pasos de la marca *Vexta Oriental Motors* modelo PX245M-01BA. Éstos motores de pasos en el modo de operación paso a paso tiene una resolución de 400 pasos/revolución, logrando un ángulo de giro de 0.9° por paso. La configuración de las bobinas de éste motor de pasos se muestra en la figura 3.7 y en el apéndice A se muestran las características eléctricas.

e). Mesa *x-y*.

Se tiene una mesa *x-y* de precisión marca *Syn-Optics* (figura 3.8) la cual consiste en una plataforma móvil en los ejes *x-y* montada sobre baleros lineales de precisión, el movimiento de la plataforma es ocasionado por un tornillo sinfín en cada eje, con resolución de 0.5 mm por revolución. Esta mesa tiene un rango de desplazamiento por eje de siete centímetros.

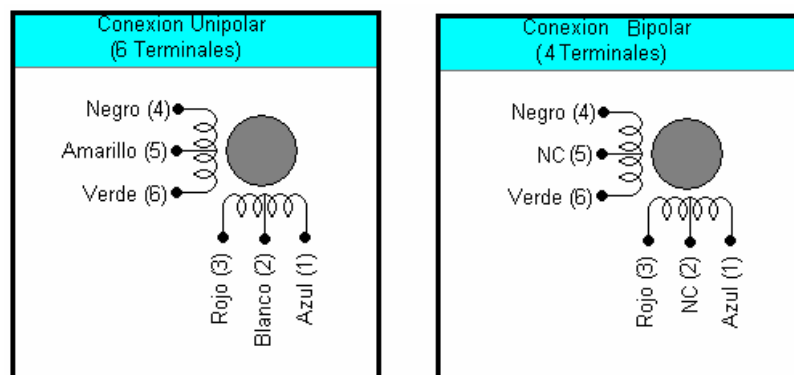


Figura 3.7. Descripción de terminales de los motores de pasos.

f). Microscópio óptico invertido.

Se cuenta con un microscopio óptico invertido de la marca *SWIFT* (figura 3.9) de cabeza trinocular, al cual se le adaptó la mesa x-y motorizada para realizar los desplazamientos laterales de la muestra utilizando el control electrónico en los motores de pasos y además se adaptó un motor de pasos para controlar el desplazamiento de la lente objetivo. Los principales componentes del microscopio óptico invertido son: las lentes del tubo, lente objetivo, lente ocular, prismas, tornillo micrométrico y macrométrico, fuente de luz, porta objetos.



Figura 3.8. Mesa x-y.

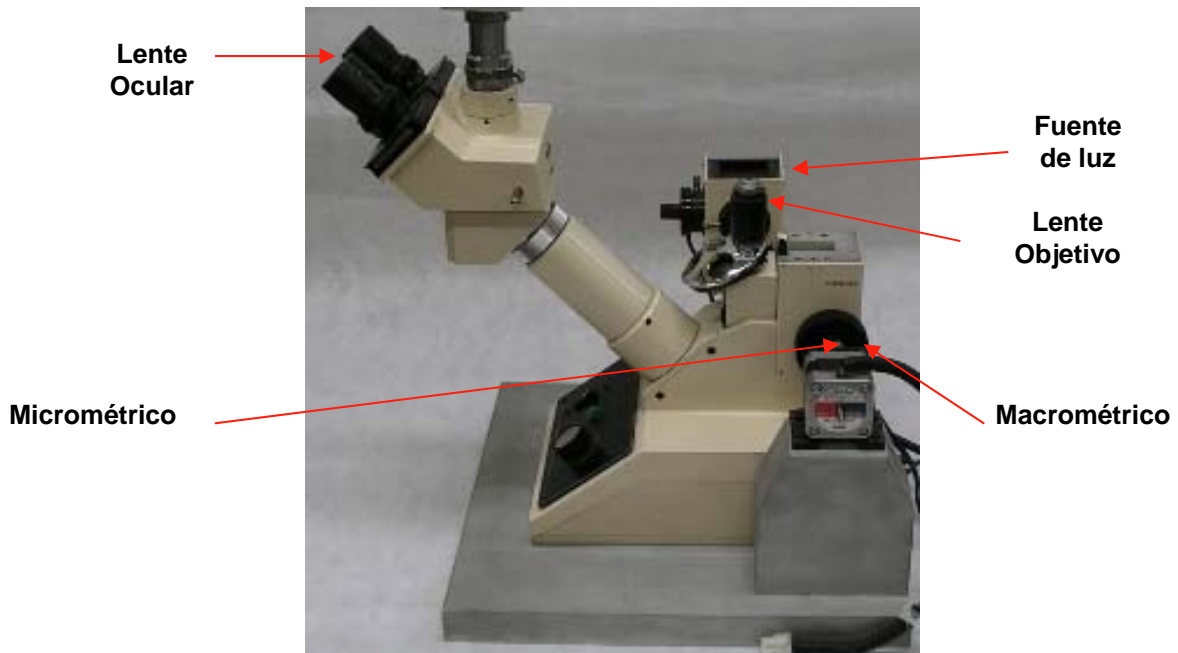


Figura 3.9. Microscopio óptico invertido.

g). Sensores de límite de desplazamiento.

Para protección del hardware se utilizan tres sensores de campo magnético, uno para cada eje (x-y) que se activan cuando el mecanismo llegue al límite de desplazamiento de la mesa, y evitar daños mecánicos de algún elemento del sistema, mesa x-y o en los motores de pasos. La figura 3.10 muestra el diagrama eléctrico del sensor y en el Apéndice A sus características eléctricas.

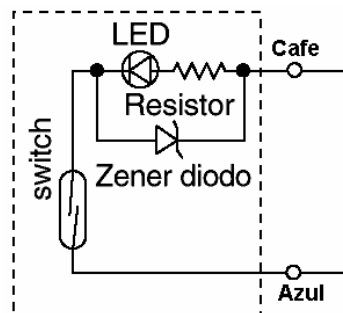


Figura 3.10. Diagrama interno del sensor SMC D-A93.

h). Opto aisladores.

Los opto aisladores son circuitos que sirven para transferir señales por medio de luz, aislando eléctricamente la fuente emisora de la receptora. Se usan como protección cuando el voltaje de la fuente emisora es diferente de la receptora. En el sistema se utilizó el opto-aislador para conectar la señal de salida de los sensores con las terminales de entrada de la tarjeta I/O, ya que los sensores se polarizan con 24 V_{DC} y la tarjeta I/O con 5 V_{DC}. Específicamente se utilizó el opto aislador 4N35.

i). Sensores ópticos de inicio de desplazamiento x-y-z.

Para determinar la posición de inicio en el plano x-y-z, se utilizan tres sensores ópticos uno para cada eje (x-y-z), que se activaran cuando el mecanismo llega a la posición de inicio. Éste tipo de sensores poseen una zona micrométrica de sensado micrométrica. Debido a la precisión requerida en el punto de inicio se utilizaron los sensores ópticos marca KEYENCE modelo FS-V1, que envían y reciben la señal a través de fibras ópticas.

j). Tarjeta de video NI-IMAQ 1411.

La tarjeta de video (*frame grabber*) es la interfase entre la computadora y la cámara CCD. Su función es convertir la señal de video estándar a un señal de video digital, en nuestro trabajo se utilizó la tarjeta de National Instruments PCI 1411, su diagrama a bloques se muestra en la figura 3.11. Ésta tarjeta cuenta con alta precisión en decodificación de video para aplicaciones industriales o científicas y es compatible con dispositivos I/O de NI-DAQ (*National Instruments Data Acquisition*), sus características eléctricas se presentan en el Apéndice A.

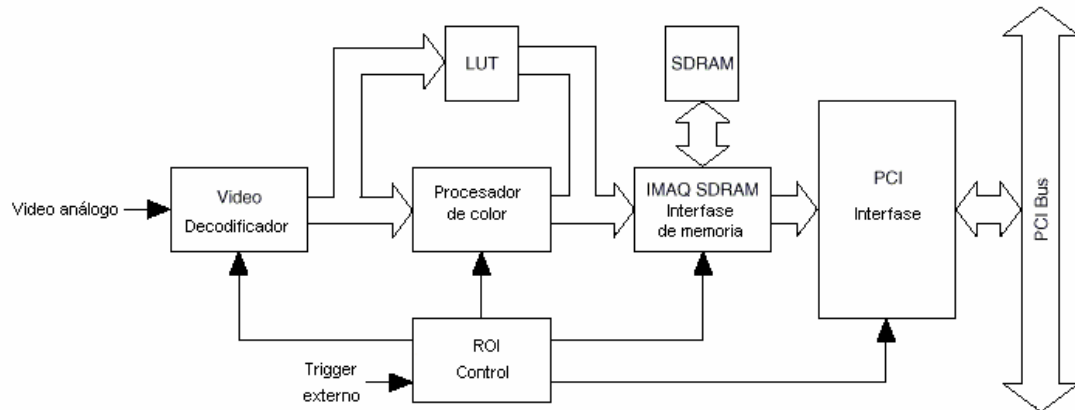


Figura 3.11. Diagrama de bloques de la tarjeta de video PCI -1411.

k). Cámara *CCD Pro-video*.

Para captar la imagen microscópica y posteriormente observarla o grabar en forma digital se usa una video cámara digital *CCD Pro-video*. Ésta cuenta con salida de video estándar, la cual se conecta directamente a la entrada BNC de la tarjeta de adquisición de imágenes. Para aplicaciones donde se usan sistemas de video es fácil configurar y adquirir imágenes de una cámara que use formatos de video estándar. El video analógico estándar incluye la información de sincronía como VSYNC y HSYNC al igual que el tamaño de la imagen.

3.1.2 Software del sistema de microposición.

Para integrar las funciones del hardware, se desarrolló un software que controla los recursos de todo el sistema y proporciona una interfase gráfica para el usuario. El software fue programado en la plataforma de programación Lab View, bajo el sistema operativo *Micro Soft Windows XP*, creando una interfase gráfica que permite un ambiente amigable para el control de movimiento del sistema de movimiento en los ejes de movimiento *x-y-z*, captura y procesado de imágenes.

Lab View 7.0

El lenguaje de programación utilizado es **Lab. View 7.0**, un lenguaje de programación gráfico que utiliza iconos en lugar de líneas de texto para crear las aplicaciones. En contraste con los lenguajes de programación basados en texto, donde las instrucciones determinan la ejecución del programa, en Lab View el flujo de los datos determina la ejecución. En Lab View se crea una interfase de usuario utilizando un conjunto de herramientas y objetos (panel frontal), posteriormente se adiciona el código utilizando representaciones gráficas de funciones para controlar los objetos del panel frontal. Lab View está totalmente integrado para comunicarse con equipos tales como GPIB, tarjetas de adquisición de datos (DAQ), insertables en la computadora [12].

Los programas realizados en Lab View son llamados instrumentos virtuales o VI's. Los VI's contienen tres componentes principales: el panel frontal, el diagrama de bloques y el icono/conector. La potencia de Lab View radica en la naturaleza jerárquica de los VI's; después de crear un VI, éste puede ser utilizado como un sub VI dentro del diagrama de bloques de otro de más alto nivel. No existen límites en el número de niveles de la jerarquía [13].

Driver NI-DAQ 6.9

El software NI-DAQ 6.9, es un grupo de funciones que controlan los dispositivos de adquisición de datos de National Instruments. Contiene funciones de alto y bajo nivel que facilitan la comunicación entre la computadora y el hardware de adquisición I/O. Contiene una biblioteca de rutinas que funcionan como interfase entre la programación de aplicaciones y los dispositivos DAQ de adquisición de datos de National Instruments. Estas funciones facilitan el uso de las funciones de la tarjeta DAQ 6601, como son las rutinas de escritura de datos, operaciones de conteo y la adquisición de datos [14].

Driver NI-IMAQ 7.0

El software NI-IMAQ 7.0, es un grupo de funciones que controlan los dispositivos de adquisición de imágenes de Nacional instruments. Contiene funciones de alto y bajo nivel que facilitan la comunicación y programación entre la computadora y el hardware de adquisición de imágenes, por ejemplo, “snap” y “grab” son funciones de alto nivel que facilitan el manejo de imágenes. Contiene una biblioteca de rutinas que funcionan como interfaz entre la programación de aplicaciones y los dispositivos IMAQ de adquisición de imágenes de National Instruments. Estas funciones facilitan el uso de las funciones de la tarjeta NI-1411, como son las rutinas de inicialización captura de datos, y almacenamiento [15].

Interfase gráfica desarrollada

Para facilitar al usuario el uso del sistema de microposicion, se desarrolló una interfase gráfica construida con iconos, textos en pantalla y esquemas, logrando el uso correcto con un entrenamiento básico y sin necesidad de que conozca la estructura del programa. Con esta interfase se capturan los datos requeridos para que el sistema funcione, y muestra en qué lugar se almacenan los resultados.

La interfase gráfica se despliega en el monitor de la computadora donde con la ayuda del *Mouse* se elige el campo a llenar o función a realizar. La construcción de la interfase gráfica se realizó en Lab View 7.0 y se utilizaron las siguientes funciones:

Read 1bit. Su función es leer un canal del dispositivo I/O, uno de los 32 canales digitales de la tarjeta PCI6601; tiene como datos de entrada el número del dispositivo I/O, el canal digital, cantidad de canales digitales y el estado del canal leído es el dato de salida, falso o verdadero. En el programa se utilizó para leer los sensores del sistema, como se muestra en la figura 3.12.

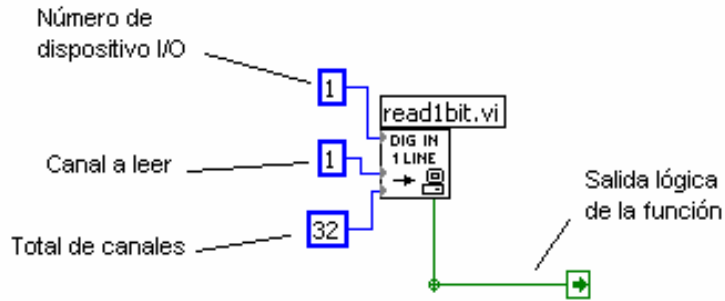


Figura 3.12 VI para lectura de un bit digital.

Write 1bit. Su función es escribir en un canal del dispositivo I/O, uno de los 32 canales digitales de la tarjeta PCI6601; tiene como datos de entrada el número del dispositivo I/O, el canal digital, cantidad de canales digitales y el estado lógico deseado en el canal. El dato de salida es el nivel lógico del canal. En el programa se utilizó para escribir los bits de dirección en las tarjetas manejadoras de los motores de pasos, como se muestra en la figura 3.13.

Finite pulse train (control de pulsos). Generar un tren de pulsos finito, el programador define los contadores a utilizar, frecuencia, ancho del pulso y la cantidad de pulsos. En el programa se utilizó para enviar los trenes de pulsos a las tarjetas manejadoras de los tres motores de pasos generando movimiento en el motor determinado como se muestra en la figura 3.14

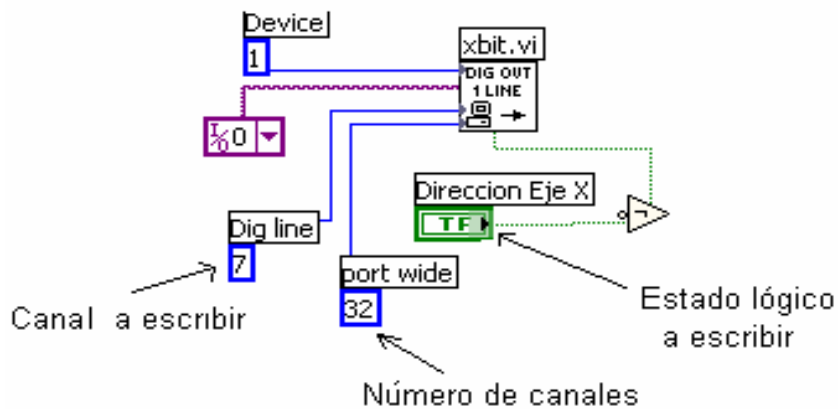


Figura 3.13 VI para escritura de un bit digital.

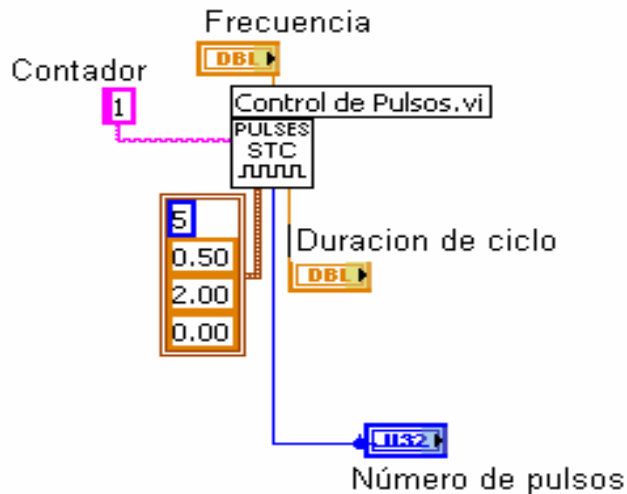


Figura 3.14 VI para generar un tren de pulsos finito.

Para el desarrollo del programa en Lab View se utilizaron las siguientes funciones de la librería NI-IMAQ, en lo referente a la captura y almacenamiento de imágenes:

INIT. Esta función carga el archivo de configuración del dispositivo IMAQ y lo configura. En este caso configura la tarjeta NI-1411.

IMAQ Create. Esta función crea las características de la imagen digital capturada definidas por el usuario, principalmente el tamaño de la imagen, reservando memoria.

Snap. Cuando se utiliza esta función, la memoria de la tarjeta PCI 1411 (tarjeta de captura de video) se inicializa y genera la imagen digital a partir de la señal de video presente en el puerto de entrada del dispositivo IMAQ.

IMAQ Write. Esta función graba la imagen digital generada por la función *snap*, la calidad del archivo la define el usuario.

IMAQ Dispose. Esta función elimina la imagen digital grabada en el *buffer* de memoria creado por *Imaq create*, liberando espacio para nuevas imágenes.

Close, Cierra la sesión iniciada por la función **Init**.

La figura 3.15 muestra los iconos de las funciones principales, NI-DAQ e IMAQ utilizadas en desarrollo del software.

El software se diseñó para que el microscopio fuera capaz de operar automáticamente en sus operaciones manuales, excepto el enfoque del objetivo, el cual es necesario que el usuario lo efectuó únicamente al inicio del proceso. El programa esta habilitando también con la opción de funcionamiento manual.

Cuando el sistema trabaja automáticamente el usuario deberá colocar la muestra o muestras a observar sobre la mesa x-y, y realizar el enfoque por medio de la opción manual del programa, debiendo ingresar los datos de la matriz en la sección **Control automático** de la interfase gráfica. Desde aquí el sistema será capaz de desplazar la muestra por un recorrido en forma de matriz, almacenar y mostrar la imagen de cada punto de la matriz automáticamente al ejecutar el programa. Ante esto surge la necesidad de partir de un punto conocido, por lo que antes de iniciar su función automática, el sistema busca este punto, que esta determinado por la ubicación de los sensores de luz en los ejes x-y-z.

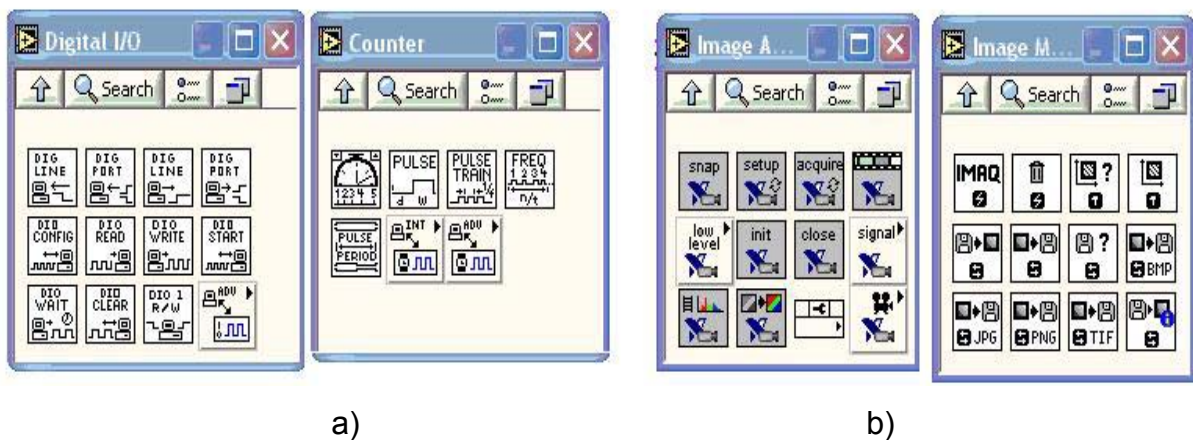


Figura 3.15. a) Funciones de NI-DAQ, b) Funciones de NI-IMAQ

Control automático.

Esta sección de la interfase gráfica funciona cuando el botón de manipulación automática se activa. Su función es capturar los datos de una matriz, forma en la que el sistema realizará el barrido para capturar imágenes del objeto. La manipulación automática consta de 4 cuadros de captura para indicar los datos de la matriz de captura de imágenes (figura 3.16), en los cuales el usuario ingresará la información de la matriz.

El barrido en forma de matriz en el plano x-y se realiza en los ejes x-y, como se muestra en la figura 3.17. Los datos *milímetros x* y *milímetros y* son ingresados en los cuadros, representando las distancias que el usuario debe definir, así como el número de líneas y columnas de la matriz. El sistema de micro posicionamiento realiza el barrido del objeto siguiendo la ruta especificada por la línea punteada en la figura 3.17 y capturando la imagen en cada punto.

El Campo **Scan en matriz de**, captura la información correspondiente a la dimensión de la matriz [x, y] en la cual el sistema realizará el *scan*, deteniéndose en cada punto de la matriz para capturar la imagen y despliega la ruta de grabación y nombre del archivo de cada imagen en la ventana **Path**.



Figura 3.16. Control automático.

En los cuadros de control, **Milímetros** eje x y eje y del cuadro de control automático, es la distancia que existe entre cada punto y punto de la matriz en el eje x y eje y respectivamente. En el campo **Frecuencia (Hz)** es la frecuencia del generador de pulsos que activa el motor de pasos del eje x o eje y, su rango es de 0 a 1400 Hz; entre más alta la frecuencia la velocidad del motor es mayor. Los botones de dirección en los tres ejes x-y-z están deshabilitados cuando se activa la función automática.

En el cuadro de control, **Milímetros eje Z (foco)** del cuadro de control automático, es la distancia que recorrerá el lente objetivo desde su posición de inicio indicada por un sensor de presencia, el campo **Frecuencia (Hz)** es la frecuencia del generador de pulsos que activa el motor y su rango es de 0 a 1400 Hz; entre más alta la frecuencia mayor, es la velocidad del motor. El botón de dirección eje z indica el sentido de desplazamiento de la lente objetivo hacia arriba o abajo y se usa para enfocar la imagen. Antes de obedecer a cualquier movimiento indicado en este control, el programa ubica siempre el objetivo a su posición de Inicio (*Home*).

Cuando el sistema de microposicionamiento se activa en manipulación automática, antes de realizar el barrido de la superficie del objeto, ubica

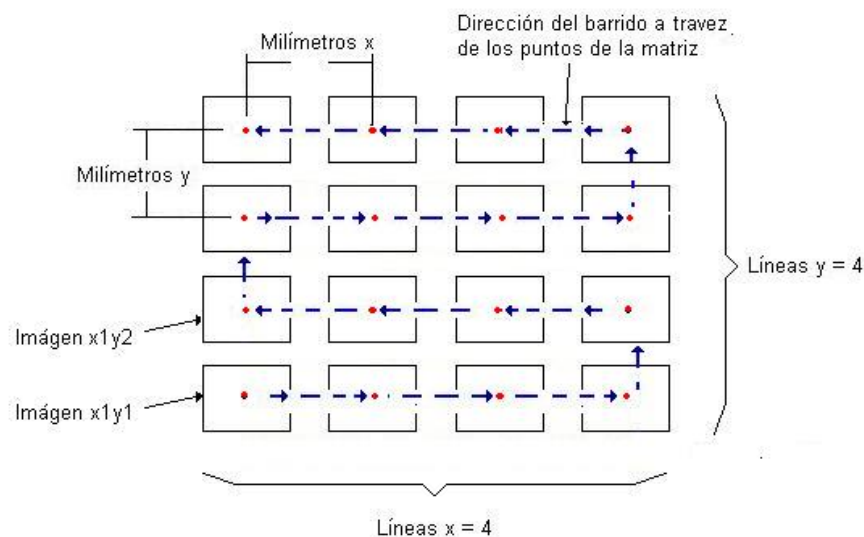


Figura 3.17. Estructura de la matriz de barrido.

automáticamente la lente objetivo en la posición indicada en el cuadro de control eje z foco. Antes de realizar el *scan* en matriz *x-y*, el sistema realizará los movimientos indicados en *z* una sola vez, manteniendo constante la posición del objetivo. En la figura 3.19 se muestra el diagrama de flujo del programa desarrollado para la manipulación automática del software.

Cuando se selecciona la opción de función barrido automático, siguiendo el diagrama de flujo, primero se ejecuta la rutina de posicionamiento en el punto de inicio determinado por los sensores de luz colocados en los movimientos *x-y* de la mesa instalada como portaobjetos y en el eje *z* instalado en la base del mecanismo de enfoque del lente objetivo. El punto de inicio se muestra en la figura 3.18. Esta rutina se programó para realizar el diagrama de flujo que se muestra en la figura 3.20.

La lectura del estado lógico de los sensores se lee utilizando la función de Lab View llamada **read1bit**. Los movimientos de la mesa *x-y* y lente objetivo (eje *z*) se generan con subprogramas creados a partir del programa de National Instruments llamado *control de pulsos*, la figura 3.14 muestra el diagrama de Virtual Instruments (VI). El subprograma que controla los movimientos de la mesa *x-y*, funciona conforme al diagrama de flujo mostrado en la figura 3.21.

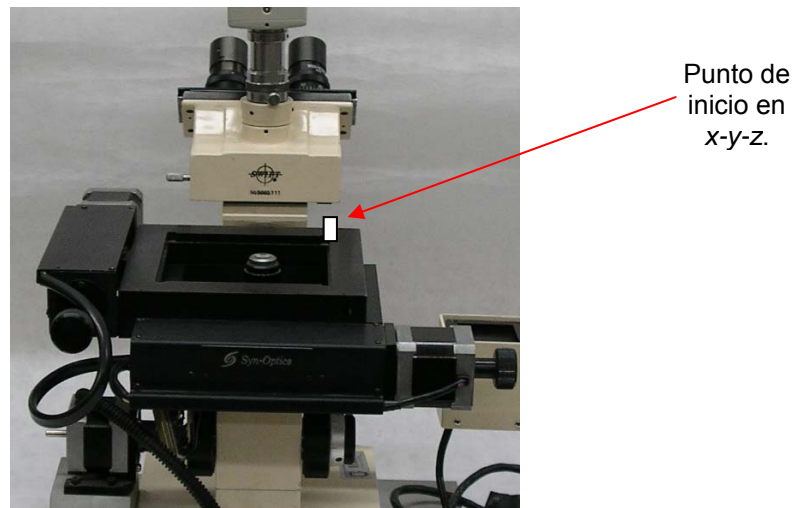


Figura 3.18. Punto de inicio del sistema en los ejes *x-y-z*.

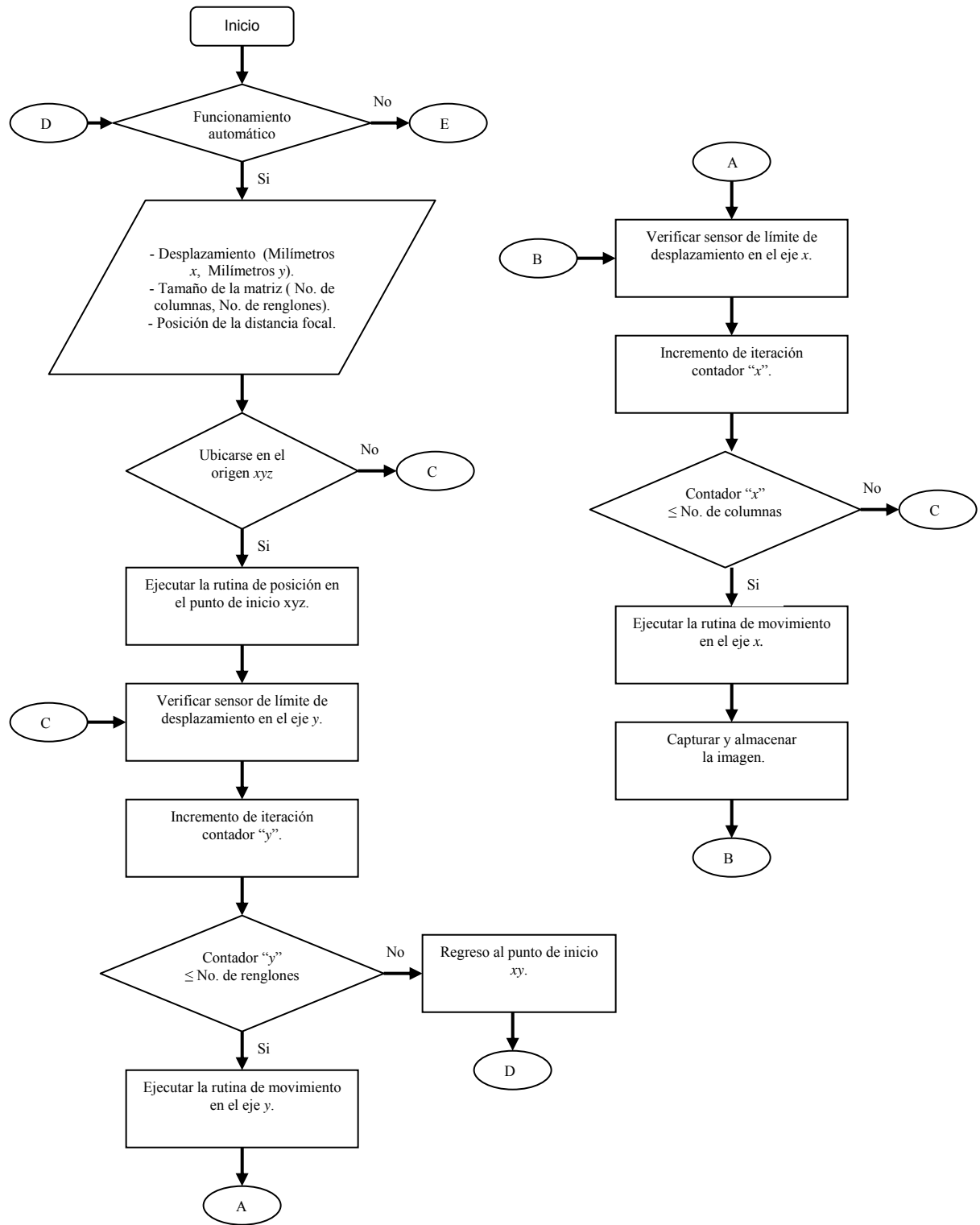


Figura 3.19. Diagrama de flujo del programa principal.

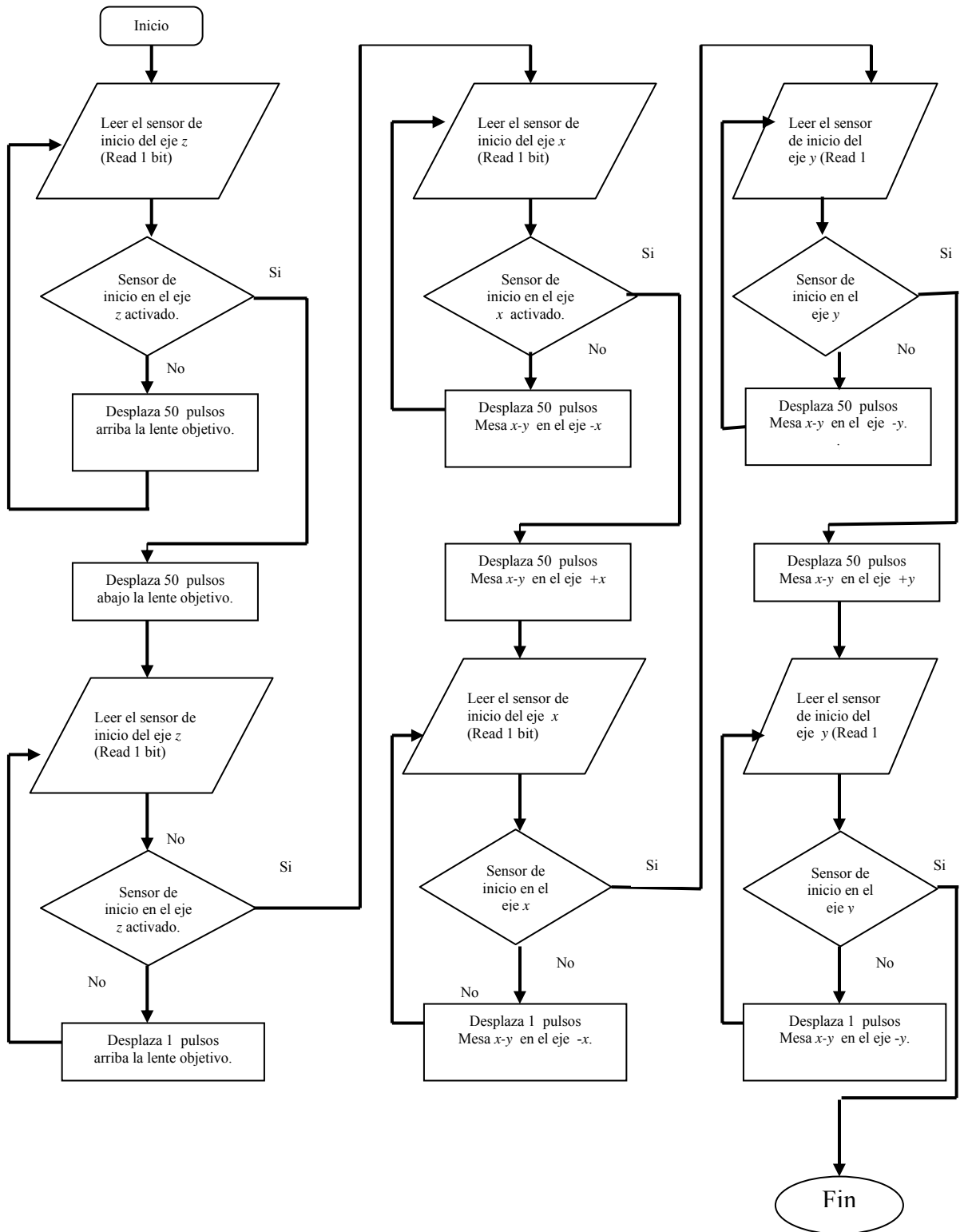


Figura 3.20. Diagrama de flujo de la rutina de posición en el punto de inicio x-y-z.

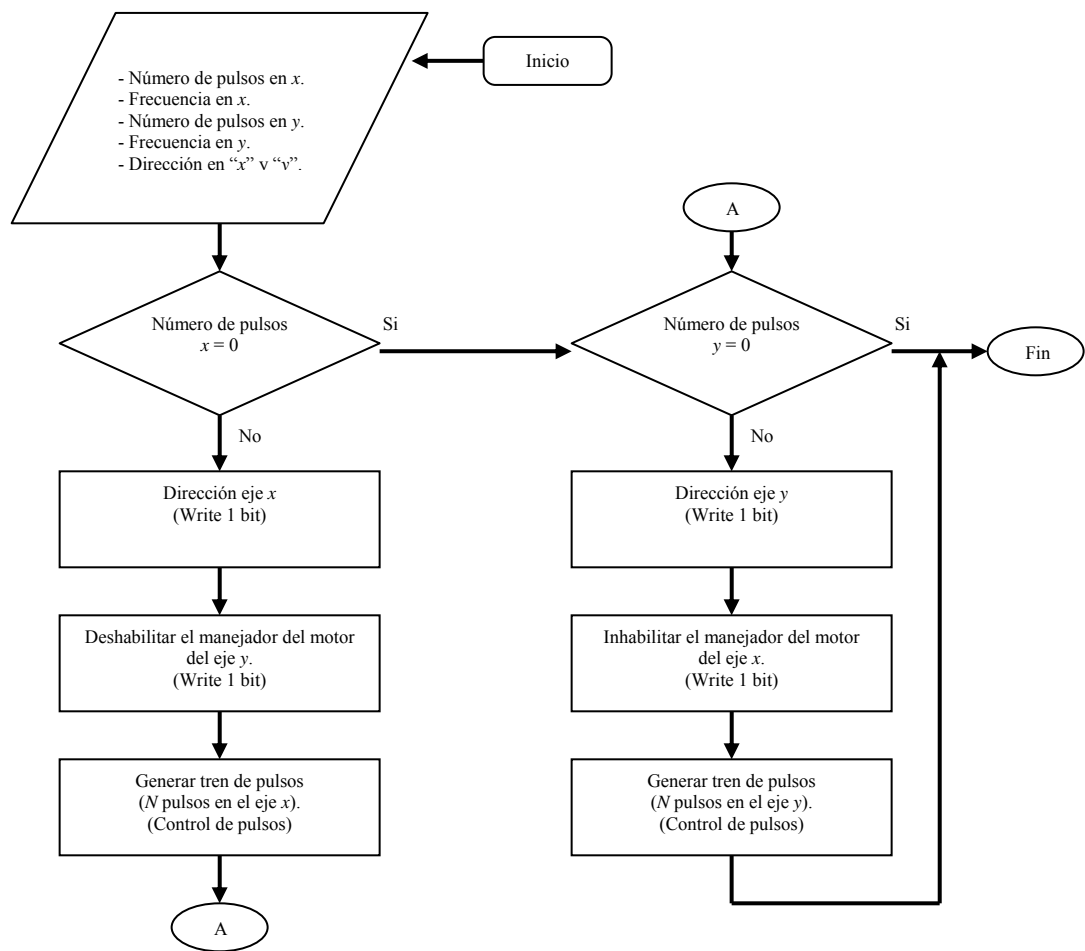


Figura 3.21. Diagrama de flujo de la rutina de movimiento en los ejes x y.

El sistema, después de realizar el barrido en matriz, regresa a la posición de donde partió y si el botón *X Y Z HOME* está activado al iniciar el barrido, al terminar éste regresa al punto de inicio.

Control manual.

Este control funciona cuando el botón de manipulación automática está desactivado y el sistema se manipula en forma manual con la zona que se muestra en la figura 3.22, en los ejes x-y y z por medio de los botones contenidos en ésta. La captura de las imágenes es también en forma manual activando el botón *IMAGEN*.

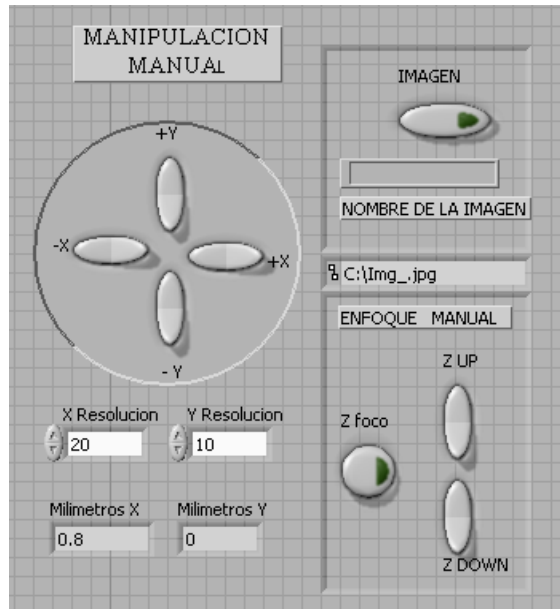


Figura 3.22. Controles manuales.

Los botones +x, -x, +y y -y mueven al mecanismo en la dirección positiva o negativa del eje x o y respectivamente. La cantidad de movimiento en cada eje la define el usuario en pasos de motor en los recuadros X Resolución y Y Resolución, el mínimo valor es cero y el máximo es 70000. Cada paso equivale a 0.00125 mm de desplazamiento lineal.

En los cuadros Milímetros X y Milímetros Y, el programa despliega la distancia recorrida en milímetros desde que se inicio el movimiento. El flujo de ésta sección del programa se describe en la figura 3.23, que es la continuación del diagrama de flujo de la figura 3.19.

El botón IMAGEN captura la imagen en escala de grises, también se puede visualizar en forma binaria en el monitor indicándolo. En esta sección el usuario puede definir el nombre de cada imagen tomada. La figura 3.24 muestra el diagrama de flujo de esta parte del programa y la figura 3.25 muestra la estructura programada en Lab View.

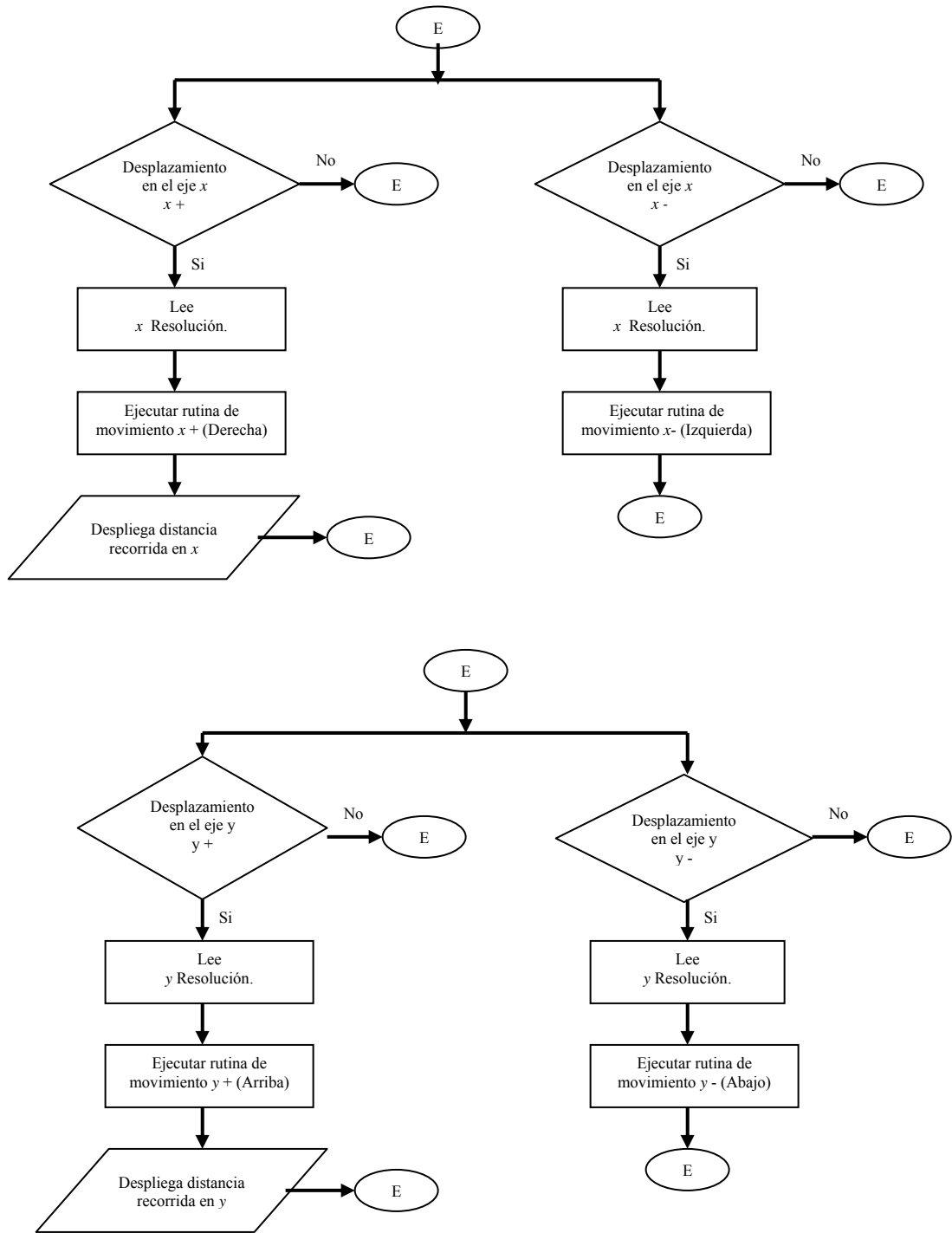


Figura 3.23. Diagrama de flujo de desplazamiento manual en el plano x-y (no automático).

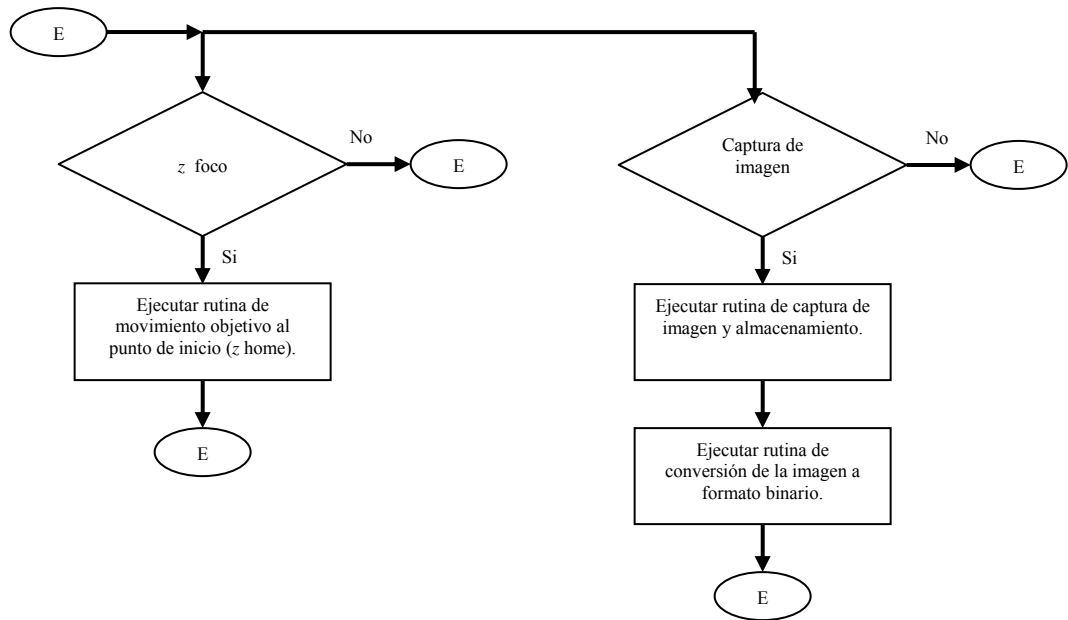


Figura 3.24. Diagrama de flujo de la posición de inicio de la lente objetivo y captura de imagen.

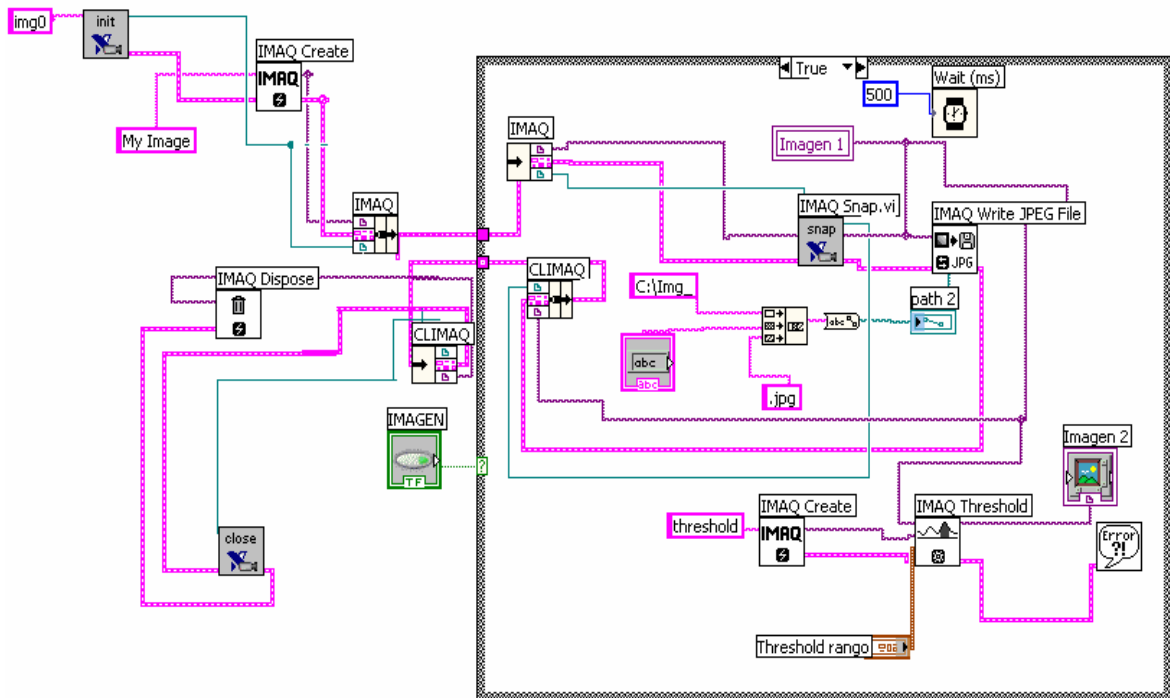


Figura 3.25 Estructura programada en Lab View para mostrar y capturar imagen.

En la sección de control de ENFOQUE MANUAL se manipula la posición del lente objetivo, subiendo o bajando cada vez que se presiona el botón *Z Up* o *Z Down*, según sea el botón presionado. La cantidad mínima de movimiento en el eje z es 0.0016 mm.

Si el botón *Z* foco esta activado, el sistema mantendrá la posición de inicio determinada por el sensor, podrá moverse hacia arriba o abajo presionando los botones *Z Up* y *Z Down*, pero al liberarlos, regresara al punto de inicio. El programa de esta sección tiene el diagrama flujo que se muestra en la figura 3.26.

La pantalla principal que se muestra en la figura 3.27 está dividida en tres zonas de controles de entrada-salida que son el monitor, control automático y control manual, que a su vez tienen cada una de estas tres sus propias zonas.

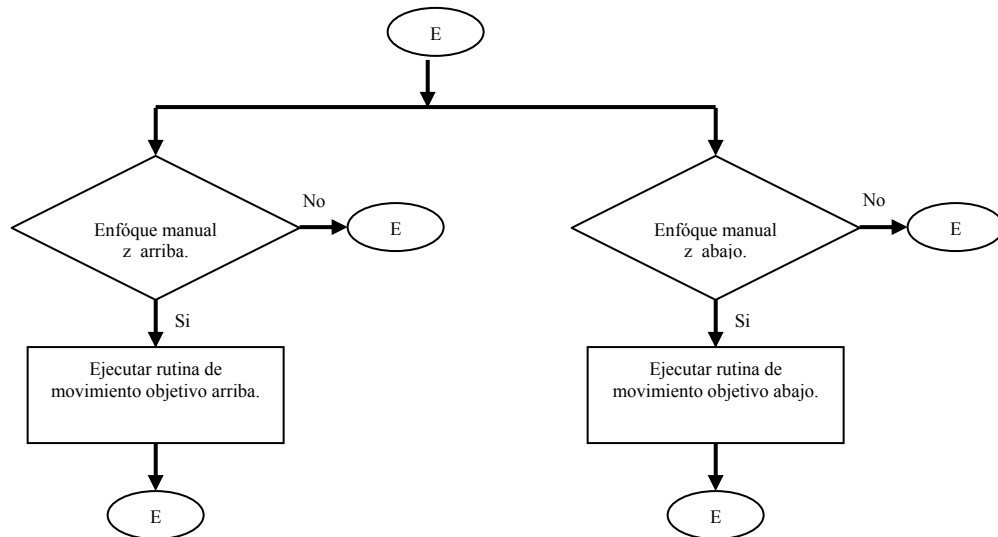


Figura 3.26. Diagrama de flujo de funcionamiento manual del enfoque (no automático).

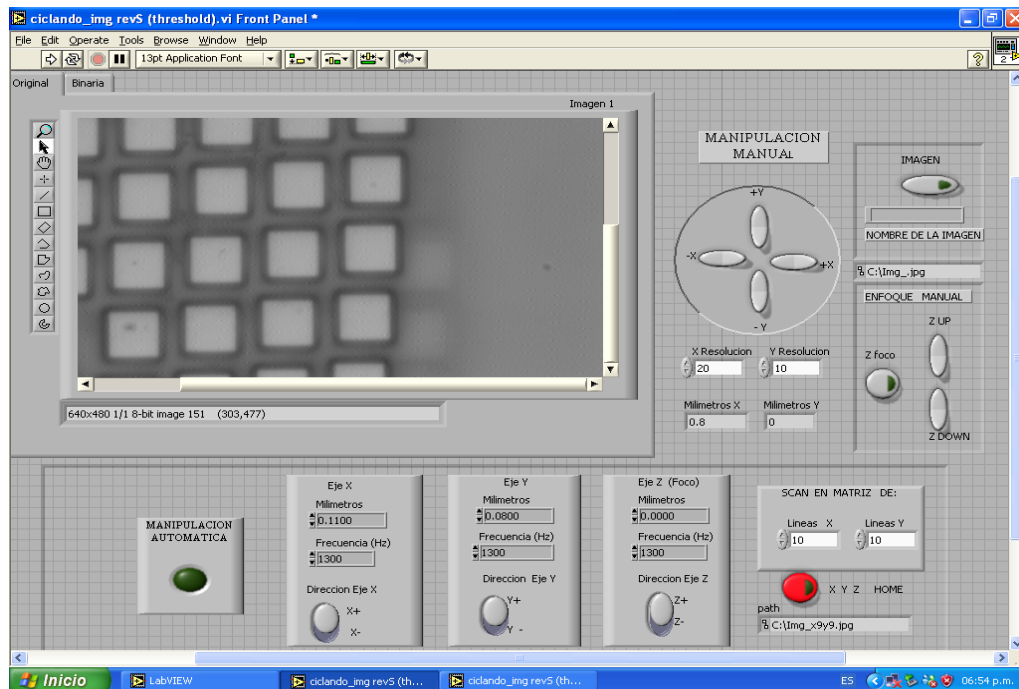


Figura 3.27. Pantalla principal de software.

Monitor

Es la zona donde se muestra la imagen capturada, esta región está compuesta de dos ventanas denominadas ventana original y ventana binaria, las cuales se muestran en las figura 3.28 y 3.29. La ventana original muestra la imagen en niveles de grises (0 a 255), capturada en forma automática o en forma manual. La ventana binaria despliega la imagen capturada en forma manual en formato binario (0 ó 1), el usuario debe definir las condiciones que determinan la conversión de formato de niveles de grises a formato binario.

Para ingresar las condiciones de niveles de grises a binario, en la pantalla de imagen binaria aparece en la parte inferior izquierda un campo en el que se muestra la resolución en pixeles de la imagen, y entre paréntesis la coordenada (x, y) en pixeles de la posición del cursor. En la parte inferior derecha, están dos campos donde el usuario deberá ingresar (número entero positivo) el valor que se asignará al máximo de intensidad de todos los píxeles de la imagen (mayor de 1 hasta 255) y el valor de umbral, que es el valor entre cero y el máximo, utilizado para determinar los píxeles que les corresponda "0", cuyo valor esté por debajo del umbral intensidad asignado y los píxeles que les corresponda "1", cuyo valor esté

arriba del umbral intensidad asignado. La nueva imagen aparece con pixeles blancos y negros.

En la parte izquierda a la imagen aparecen herramientas de manipulación de la imagen como la opción de ampliar (*zoom*) y trazo de líneas.

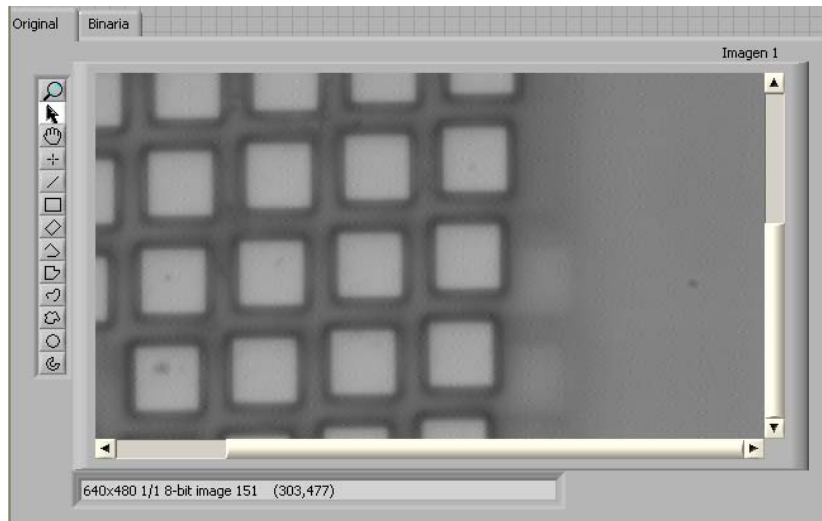


Figura 3.28. Pantalla donde se muestra la imagen capturada en niveles de grises.

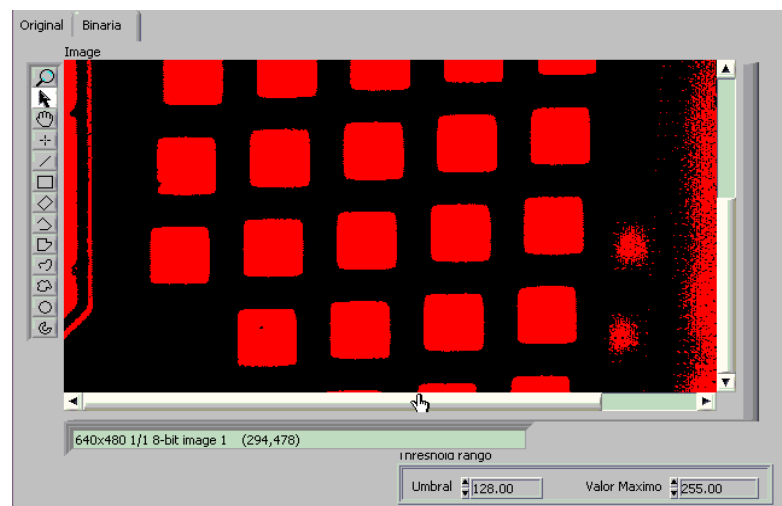


Figura 3.29. Pantalla donde se muestra la imagen capturada en formato binario.

Capítulo 4

Pruebas y resultados del sistema de microposicionamiento x-y-z.

En éste capítulo se presenta el sistema de microposicionamiento x-y-z construido para un microscopio óptico invertido, que se analizó en el capítulo anterior, así como las pruebas y resultados de su funcionamiento.

4.1 Sistema de microposicionamiento x-y-z.

El sistema de microposicionamiento x-y-z construido e instalado en un microscopio óptico invertido se muestra en la figura 4.1. Los elementos que constituyen el sistema son los indicados en la figura 3.1.

4.2 Resultados del sistema de microposicionamiento x-y-z.

En esta sección se muestran los resultados de las pruebas realizadas al sistema de microposicionamiento x-y-z mostrado en la figura 4.1. Se realizaron pruebas manuales y automáticas. Con pruebas manuales se caracterizó el sistema obteniendo la resolución de desplazamiento de cada eje, velocidad máxima de desplazamiento y la variación de los puntos de detección de los

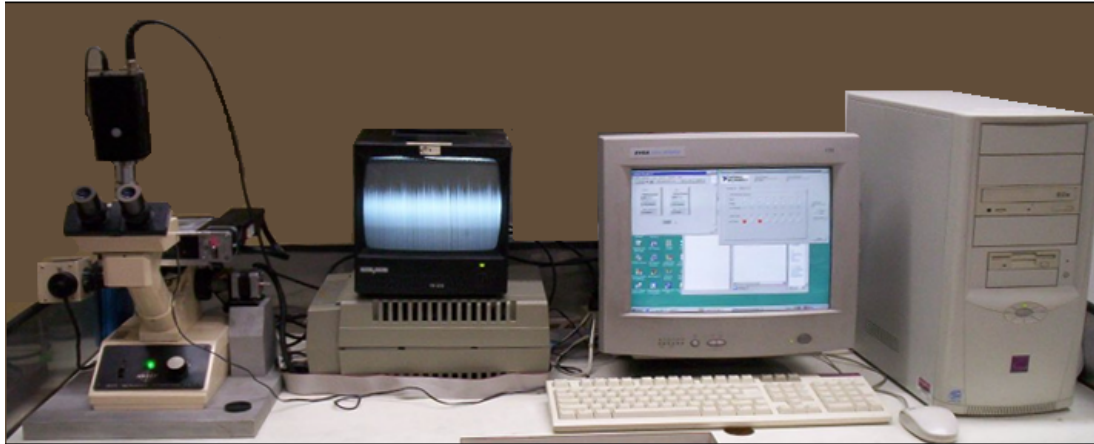


Figura 4.1. Sistema de microposicionamiento x-y-z para microscopio óptico invertido.

sensores que contiene el sistema. Con las pruebas automáticas se realizaron pruebas de repetibilidad y funcionamiento.

4.2.1 Pruebas manuales.

Desplazamiento en el plano x-y. Al la mesa x-y motorizada con la que se realiza el microposicionamiento en el plano x-y, se le determinó su resolución. Con la tarjeta I/O PCI-6601 y a través de sus contadores internos, se genera un tren finito de pulsos con frecuencia constante y duración de ciclo de trabajo deseado.

Primero se midió el desplazamiento x-y con un micrómetro digital marca Mitutoyo con una resolución de 0.01 milímetros (10 micras), pero este instrumento resultó inapropiado para realizar la medición, ya que la mesa x-y posee mayor resolución.

Posteriormente se realizaron experimentos utilizando el microscopio óptico para medir el desplazamiento, esto es, en la mesa x-y se fijó un porta objetos que tiene impreso un patrón de distancia marca Nikon, que consiste de

un milímetro dividido en 100 líneas (1000 micras en grupos de 10 micras) y en una sección de la imagen del patrón se ubico una línea fiducial como marca como se muestra en la figura 4.2a); se envió pulso por pulso al motor de pasos en la dirección del eje x y posteriormente en la dirección del eje y hasta hacer coincidir la línea fiducial con la siguiente división del patrón de distancia (figura 4.b)); para lograr el desplazamiento de $10 \mu m$ se requirieron 8 pulsos en ambos casos (eje x o eje y). La resolución para cada eje se determina con el desplazamiento total y el número de pulsos aplicados al motor. La resolución para ambos ejes es:

$$\begin{aligned}
 \text{Resolución} &= \frac{\text{Desplazamiento}}{\text{Número de pasos}} \\
 &= \frac{10 \mu m}{8 \text{ paso}} \\
 &= 1.25 \mu m/\text{paso},
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

y la velocidad máxima de desplazamiento de la mesa x-y por eje, está determinada por la frecuencia máxima a la que responde el motor de pasos, ésta es de 1400 Hz, por lo que la velocidad máxima de desplazamiento lateral es:

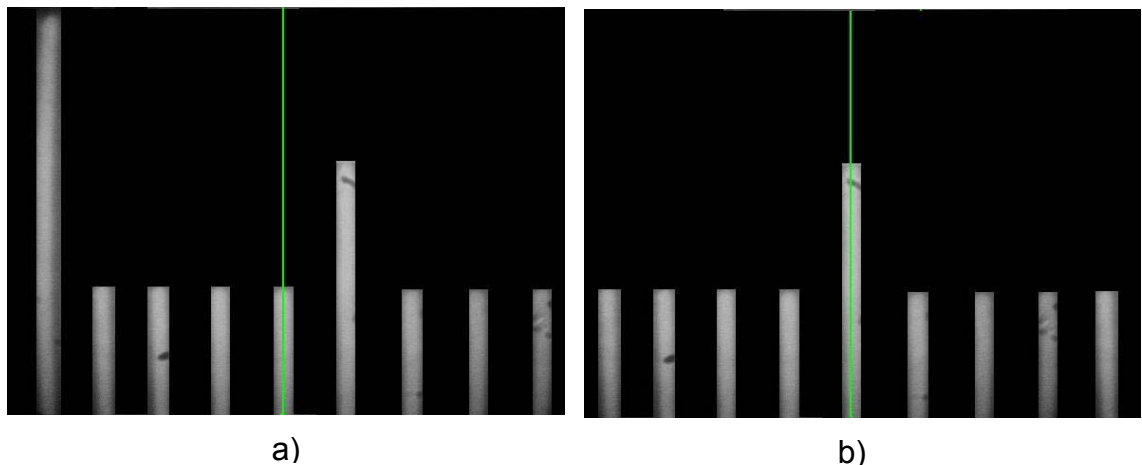


Figura 4.2. a) Sección de la imagen de patrón de distancia (80 micras).
 b) Imagen del patrón aplicando al motor de pasos 8 pulsos.

$$\begin{aligned}
v_{max} &= frecuencia_{max} \times Re\ soluci3n \\
&= 1400Hz \times 1.25 \mu m/paso \\
&= 1.75\ mm/seg.
\end{aligned}
\tag{13}$$

Sensores en el plano x-y. Para ubicar un punto f3sico de inicio y como protecci3n de la mesa x-y se colocaron sensores para delimitar el desplazamiento m3ximo de cada eje. Se realizaron experimentos con sensores magn3ticos y de luz, para determinar la variaci3n del punto a detectar. El experimento consisti3 en desplazar la mesa x-y motorizada hasta al punto de activaci3n de cada sensor para determinar la variaci3n del punto de detecci3n.

Sensor magn3tico (SMC D-A93). La variaci3n de 3ste detector se realiz3 con 30 eventos que consistieron en: desplazar la mesa x-y motorizada 5000 pasos por eje a una frecuencia de 1400 Hz y posteriormente retornarla 4950 pasos con la misma velocidad y los restantes 50 pasos a 1Hz, esto para buscar el punto de activaci3n del sensor magn3tico, ya que el dato de inter3s son los pasos adicionales de motor de pasos requeridos para lograr la activaci3n del sensor. La tabla 4.1 muestra los resultados de los 30 eventos. El resultado fue de ± 25 pasos de variaci3n, que equivale a una modificaci3n del punto de detecci3n de $\pm 31.2 \mu m$. La media y la desviaci3n est3ndar se obtuvieron mediante las siguientes formulas:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (xi - \bar{x})^2},
\tag{14}$$

Para este sensor la media es de $\bar{x} = 7.5\ pasos$ generando una desviaci3n est3ndar de $\sigma = 12.56\ pasos$ o $\sigma = 15.7 \mu m$, como se muestra en la figura 4.3.

Tabla 4.1. Resultados de los sensores utilizados.

Sensor	Pasos del motor	Frecuencia	Distancia Recorrida	Velocidad mm/Seg	σ (eje x) en pasos de motor	Media (eje x)
SMC DA93	5000	1400 Hz	6.25 mm.	1.75	12.56	7.5
Keyence FS-V1	5000	1400 Hz	6.25 mm.	1.75	0.96	0
Keyence FS-M1	1000	1400 Hz	1.6 mm	2.24	0.77	0.33

Sensores Óptico (Keyence FS-V1). Para determinar la variación de estos detectores el experimento se realizó con 30 eventos, desplazando la mesa x-y motorizada 5000 pasos por eje a una frecuencia de 1400 Hz y posteriormente se regreso la mesa x-y 4950 pasos con la misma velocidad y los 50 pasos restantes a 1 Hz, esto con el fin de ubicar el punto de activación del detector óptico, ya que el dato de interés son los pasos adicionales del motor de pasos requeridos para lograr la activación del sensor.

La tabla 4.1 muestra los resultados de los 30 eventos. El resultado fue de ± 2 pasos del motor de pasos de variación para la activación. Este resultado equivale a una variación del punto de detección de $\pm 3 \mu m$. Para éste caso la media es $\bar{x} = 0$ pasos y la desviación estándar es de $\sigma = 0.966$ pasos o $\sigma = 1.16 \mu m$, como se muestra en la figura 4.4.

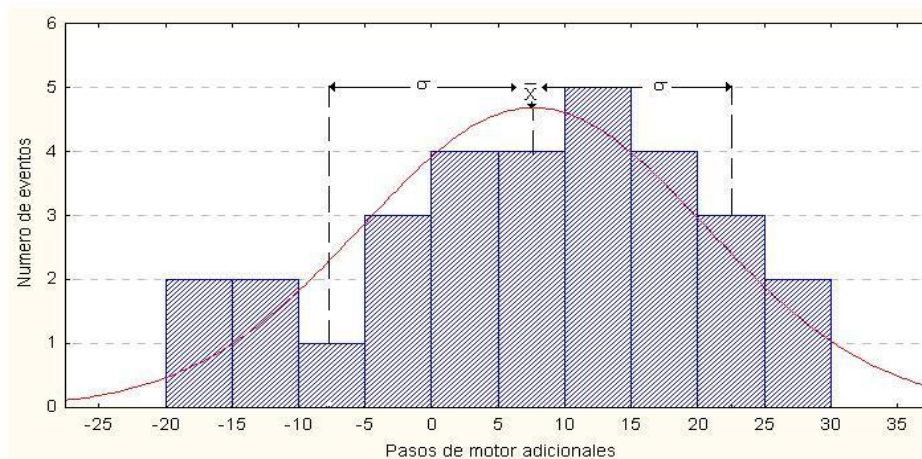


Figura 4.3. Resultados del sensor magnético (SMC D-A93).

Sensor Óptico (Keyence FS-M1). Éste detector se ubica para determinar el punto de enfoque (distancia z), al igual que los otros sensores el experimento se realizó con 30 eventos para determinar su variación. Se desplazo la lente objetivo 1000 pasos a una frecuencia de 1400 Hz y posteriormente se retorno 950 pasos la lente objetivo con la misma velocidad y los 50 pasos restantes a 1 Hz , para ubicar el punto de activación del detector, ya que el dato de interés son los pasos adicionales requeridos en el motor de pasos para lograr la activación del sensor. La tabla 4.1 muestra los resultados de los 30 eventos. El resultado fue de ± 2 pasos de variación en el motor de pasos para activar el detector, que equivale a una variación de $\pm 3.2\ \mu\text{m}$ del punto. Para éste caso la media es $\bar{x} = 0.6$ pasos y la desviación estándar de $\sigma = 0.61$ pasos o $\sigma = 0.97\ \mu\text{m}$, como se muestra en la figura 4.5.

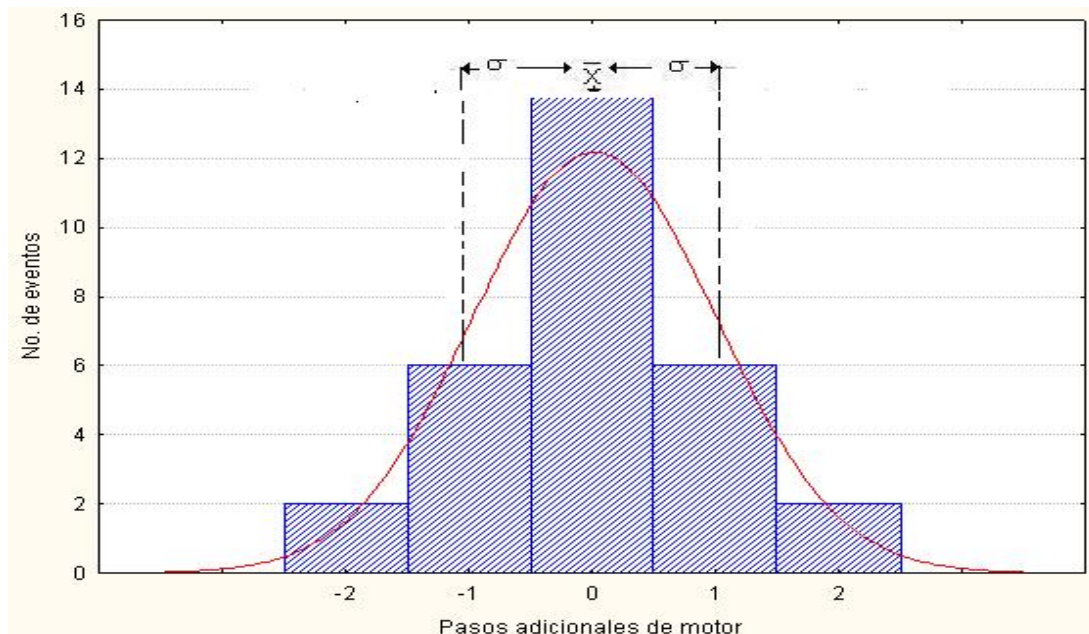


Figura 4.4. Resultados del sensor de luz (Keyence FS-V1) en los ejes x-y.

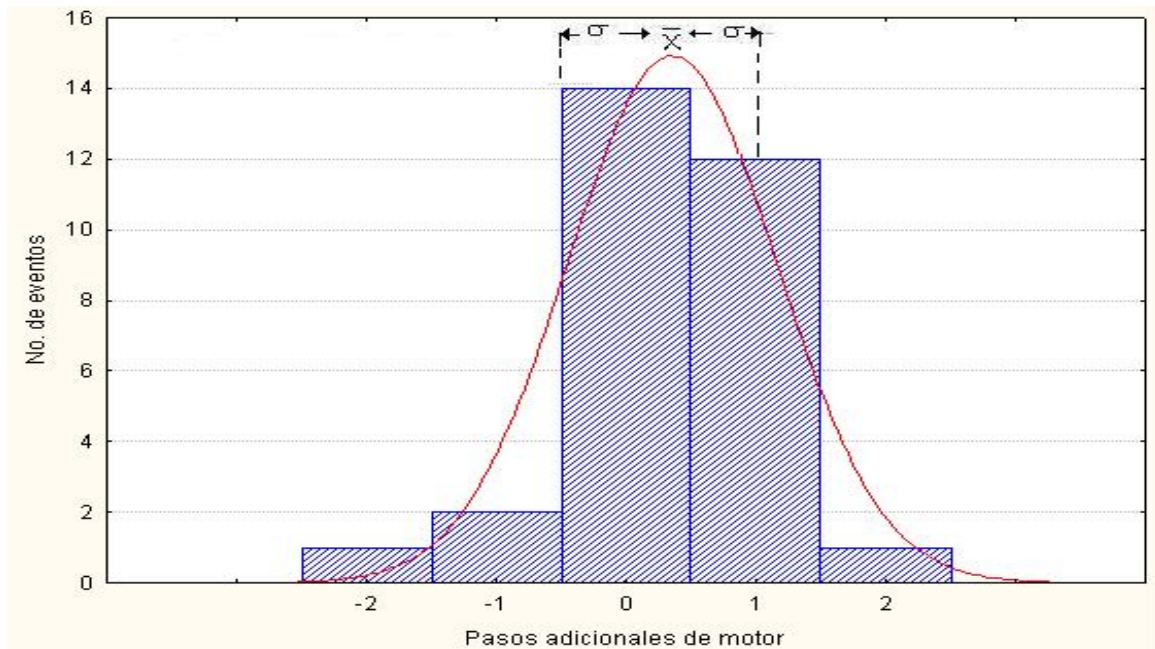


Figura 4.5. Resultados del sensor de luz de los ejes x-y (Keyence FS-M1).

Pruebas de la mesa x-y. La prueba de funcionamiento de la mesa x-y se realizó con imágenes capturadas a través de una cámara CCD instalada en el microscopio óptico invertido, posteriormente convertidas por software a imágenes binarias y tomando como posición de referencia una marca fiducial como se observa en la figura 4.6. Primero se capturó una imagen antes de realizar cualquier movimiento en la mesa x-y, después se desplazó la mesa x-y en un solo eje y en ambas direcciones regresando al punto de partida y capturando de nuevo la imagen para evaluar la precisión de la mesa x-y. El experimento se realizó con 30 eventos y la cantidad los pixeles alejados de la fiducial en cada evento dan los resultados que se muestran en la tabla 4.2.

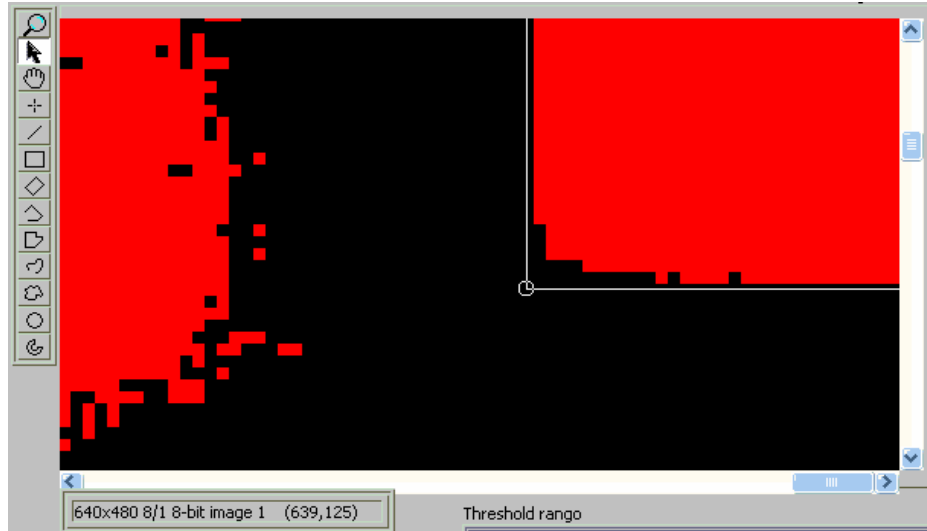


Figura 4.6. Línea fiducial en la imagen binaria.

Las pruebas se realizaron en ambos ejes y el error de desplazamiento en ambos ejes se muestra en las gráficas de las figuras 4.7 y 4.8. Los histogramas de las pruebas de repetibilidad se realizaron en casos extremos (experimento 1 y 9 de la tabla 4.1), esto es, baja y alta velocidad. La diferencia en pixeles de la imagen capturada antes y después de realizar el desplazamiento se expresa como Delta en pixeles.

Tabla 4.2. Resultados de precisión de la mesa x-y.

Experi- mento	Pasos del motor	Frecuencia	Distancia Recorrida mm.	Velocidad mm/Seg	σ (eje x) en pixeles	Media (eje x)	σ (eje y) en pixeles	Media (eje y)
1.	1000	250	1.25	0.312	0.924	0.153	0.848	-6.45E-18
2.	1000	500	1.25	0.625	0.515	0.115	0.784	-0.076
3.	1000	750	1.25	0.937	0.445	-0.038	0.282	0
4.	1000	1000	1.25	1.250	0.445	0.038	0.527	0
5.	1000	1400	1.25	1.750	0.282	0	0.392	0.076
6.	10000	500	12.50	0.625	1.17	0.23	0.749	0.2307
7.	10000	1400	12.50	1.750	1.653	0.576	0.938	0.192
8.	25000	500	31.25	0.625	2.093	0.692	1.017	0.346
9.	25000	1400	31.25	1.750	3.472	1.153	1.059	0.192

Datos en pixeles donde 1 Pixel =0.00016 mm.

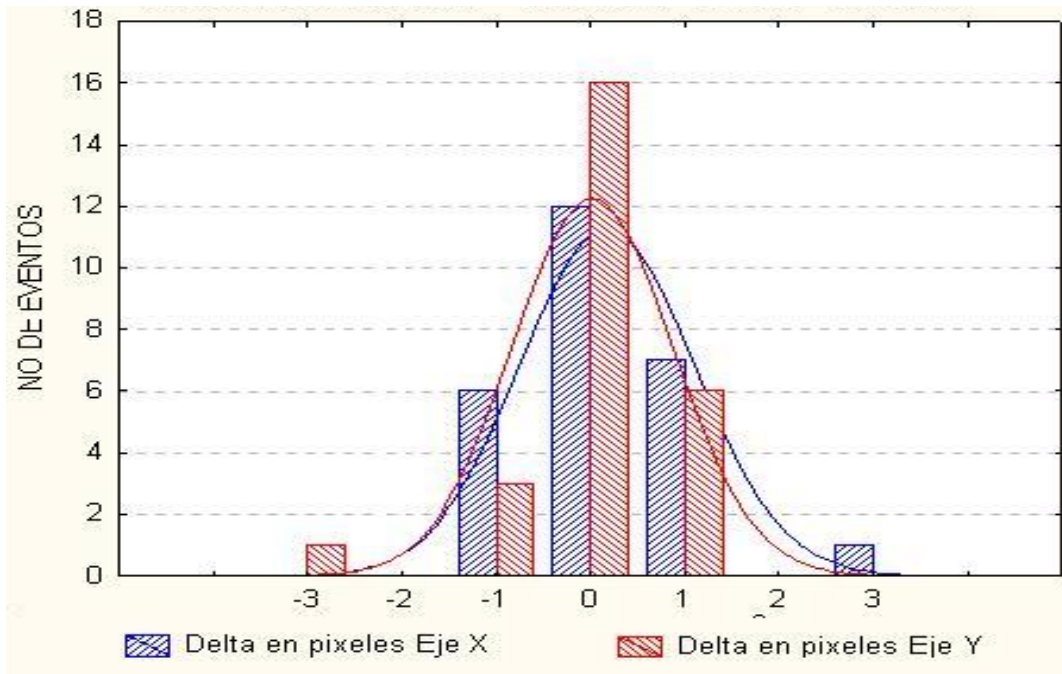


Figura 4.7. Resultados de la mesa x-y, para 1000 pasos a 250 Hz.

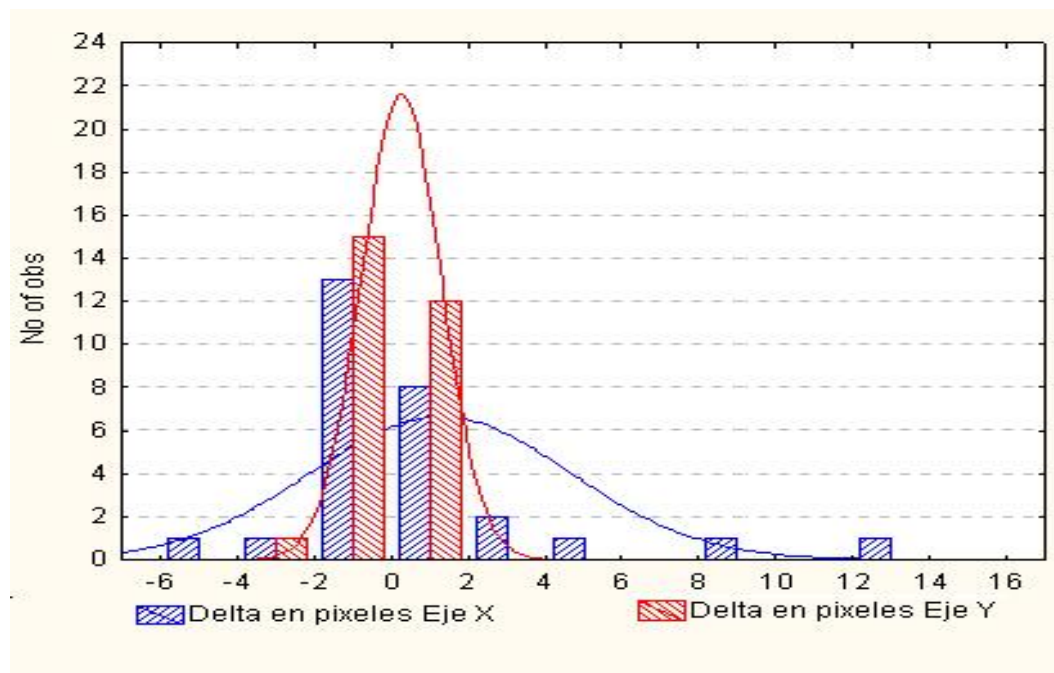


Figura 4.8 Histograma de prueba de precisión.

4.2.1 Pruebas y resultados funcionales en automático.

La prueba de funcionamiento en modo automático se realizó generando desplazamiento en ambos ejes x y y , para realizar un barrido en forma de matriz y capturar una imagen amplia, esto es, varias imágenes pequeñas. La medición se realizó con la captura de dos imágenes amplias, donde se utilizó la velocidad máxima desarrollada por el sistema. El tiempo total en cada medición fue de 80 segundos; debido a la velocidad máxima de los motores de pasos que se calculó anteriormente (1.75 mm/s), tiempo de estabilización de imagen (100 ms) generado por la vibración de los motores de pasos y tiempo del procesado de la imagen.

Las imágenes capturadas por el sistema se almacenan en el disco duro de la computadora y el nombre del archivo se asigna automáticamente con la ubicación de la imagen en la matriz de barrido, esto es, Img_CxRy. Jpg , donde C es el número de columna y R es el número de renglón de la matriz de barrido. Las imágenes se graban en escala de grises y de 640×480 píxeles.

En las pruebas de funcionamiento en modo automático, se efectuaron dos experimentos, uno con un patrón Nikon y otro con una oblea de silicio con microcircuitos ya construidos.

1.- Patrón Nikon. Para esta prueba se utilizó el patrón Nikon que consiste de una longitud de 1 mm con 100 subdivisiones, captando su imagen a través de una lente objetivo de $40X$ con una cámara CCD instalada en un puerto óptico del microscopio óptico invertido. El área de visión de la cámara CCD es de 0.033 mm de ancho por 0.0044 mm de alto. Se programó una matriz de barrido de 10 columnas y 3 renglones (30 imágenes), con separación de 0.033 mm en x y de 0.0247 mm en y . Una vez realizado el proceso de capturar las imágenes, se unieron creando una imagen de alta resolución

compuesta de 30 imágenes de (640×480 píxeles), que se muestra en la figura 4.9.

2.- Oblea de silicio con microcircuitos. En la figura 4.9 se muestra la unión de las imágenes resultado de la programación de una tarea en modo automático, que consistió en realizar un barrido de un circuito integrado de $3 \times 3 \text{ mm}$, con una lente objetivo de $10X$ instalada en el microscopio óptico. El área de visión de la cámara es de 0.33 mm de ancho y 0.247 mm de largo. Fijando un barrido en matriz de 10 renglones por 10 columnas, se obtuvo la imagen de la figura 4.10.

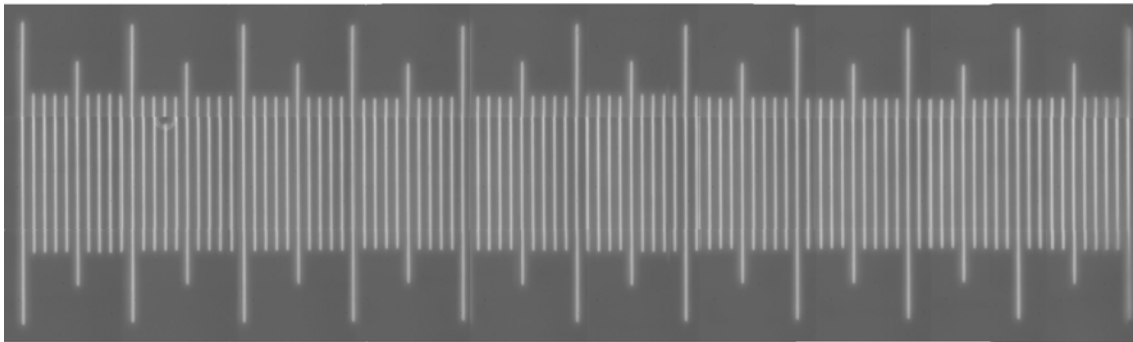


Figura 4.9. Imagen Patrón de micro-divisiones ($10 \mu\text{m}$ /división) con una longitud de 1 mm de largo marca Nikon, 6400×1440 píxeles capturada en 30 imágenes con un lente objetivo de $40X$.

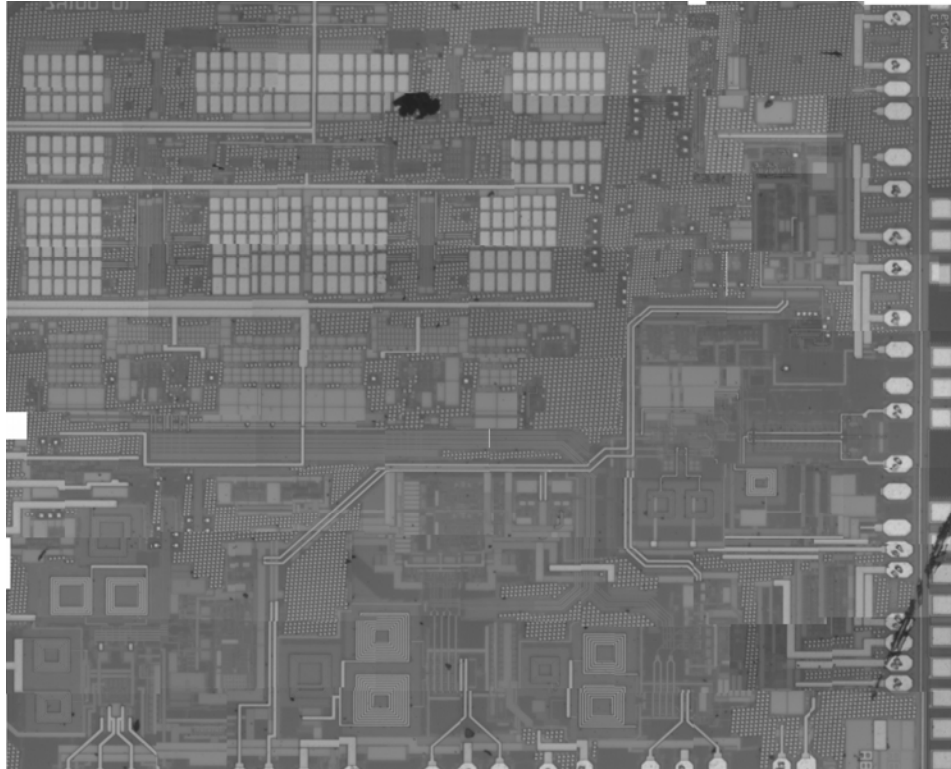


Figura 4.10. Imagen de un microcircuito de 3X3mm.

La Figura 4.10 es una imagen compuesta por el escaneo de un microcircuito de 3 X 3 mm, obtenida con las siguientes condiciones, un lente objetivo de 10X y una resolución digital de 0.00016 mm por Píxel. El tamaño final de este archivo es de imagen 6400 X 6240 pixeles y requiere de 7.6 MBytes en formato BMP y 1.9 Mbytes en formato JPG.

Capítulo 5

Conclusiones.

En este tipo de proyectos es importante estudiar los requerimientos de torque y velocidad para realizar una selección adecuada de los motores de pasos. El uso de motores de capacidad inferior, ocasiona la demanda de corrientes elevadas que puede exceder la capacidad del circuito manejador del motor y podría provocar dañarse el circuito.

Los motores de pasos pueden ocasionar vibraciones manométricas en el sistema en que se aplican, estas vibraciones y el tiempo de proceso de la imagen generada por el sensor que captura la imagen, producen un tiempo que es necesario tomar en cuenta en el diseño de este tipo de sistemas y que está en el orden de milisegundos, para evitar pérdida de calidad e información en la imagen.

Se comprobó experimentalmente la precisión de los del sistemas, utilizando pruebas de repetibilidad y verificando su precisión mediante el análisis de la desviación estándar, obteniendo que la aplicación de estos sistemas es factible para los microscopios ópticos demostrando una resolución de 1.25 micras teniendo errores de movimientos de menos de 1 micra.

Se desarrolló la interfaz grafica de control para el usuario, programada en el ambiente Lab.View, proporcionando al usuario la mayor facilidad para programar tareas automáticas de captura y control manual, este tipo de programa puede ser aplicado en cualquier sistema de posicionamiento tridimensional x-y-z de herramienta de inspección, maquinado o medición instalando el hardware adecuado.

La aplicación del control de los motores de pasos a lazo abierto para manipular las funciones de movimiento del microscopio óptico arroja resultados que demuestran la mejora en la manipulación de movimientos, esto con respecto a la manipulación manual del usuario y en cuanto a tiempo de estudio e información obtenida.

Referencias

- [1].- Near Field Optics, Michael A Paesler. Patrick J. Moyer, Editorial Wiley Interscience. Pag. 4.
- [2].- Near Field Optics, Michael A Paesler. Patrick J. Moyer, Editorial Wiley Interscience. Pag. 4.
- [3].- Olympus Microscopy Resource Center, www.olympusmicro.com
- [4].- Olympus Microscopy Resource Center, www.olympusmicro.com
- [5].- Introduction to light microscopy, S. Bradbury and B. Bracegirdle Editorial Springer, Scientific Publishers Limited, 1998. Pag.81,82.
- [6].- Micropositioning for microscopy, Biophotonics Internacional, Laurin publication Mayo. 2003.
- [7].- Micropositioning for microscopy, Biophotonics Internacional, Laurin publication Mayo. 2003
- [8].- Applied Scientific Instrumentation Inc (ASI) 1998
www.asiimaging.com
- [9].- Micropositioning for microscopy, Biophotonics Internacional, Laurin publication Mayo. 2003
- [10].- Automated Confocal Microscopy publication.
The way of achieving both quality and quantity in 3D image cytometry.
Michal Kozubek, Petr Matula, Pavel Matula.
Laboratory of Optical Microscopy, Masaryk University, Botánica 68^a,
CZ-60200, Brno
- [11].- Image-Based Navigation on a Chip
M. Lifshits, E.Rivilin, M.Rudzsky, Department of computer science.
0-7803-8248-X/04 , 2004 IEEE
- [12].- National Instruments: Lab View. Manual Básico 1, Edición Noviembre 2001. Pag. 1-3.

[13].- National Instruments: Lab View. Manual Básico 1, Edición Noviembre 2001. Pag. 1-3.

[14].- National Instruments: NI-DAQ User Manual for PC Compatibles Version 6.9.1, February 2001 Edition, 1-4.

[15].- National Instruments: IMAQ PCI/PXI-1411 User Manual, Edition Date: November 2000, Pag. 1-3.

APÉNDICE A

Características físicas y eléctricas del hardware utilizado.

Tarjeta electrónica I/O PCI6601

Tabla A.1. Descripción de terminales de la tarjeta electrónica Nacional Instruments PCI 6601.

Nombre de contadores	Nombre I/O digital	Nombre de la señal	Número de terminal		Nombre de la señal	Nombre I/O digital	Nombre de contadores
		+ 5V	1	35	RG		
Source (0)		PFI_39	2	36	GND		
Gate (0)		PFI_38	3	37	Reservado		
		Reservado	4	38	Reservado		
OUT (0)		PFI_36	5	39	GND		
UP/DOWN (1)		PFI_33	6	40	PFI_37		
Source (1)		PFI_35	7	41	GND		
Gate (1)		PFI_34	8	42	GND		
OUT (1)		PFI_32	9	43	RG		
	DIO_0	PFI_0	10	44	PFI_1	DIO_1	
		GND	11	45	PFI_2	DIO_2	
	DIO_3	PFI_3	12	46	GND		
	DIO_4	PFI_4	13	47	PFI_5	DIO_5	
		GND	14	48	PFI_6	DIO_6	
	DIO_7	PFI_7	15	49	GND		
	DIO_8	PFI_8	16	50	GND		
	DIO_9	PFI_9	17	51	PFI_10	DIO_10	
		GND	18	52	PFI_11	DIO_11	
		RG	19	53	PFI_12	DIO_12	
		GND	20	54	PFI_13	DIO_13	
	DIO_14	PFI_14	21	55	GND		
	DIO_15	PFI_15	22	56	RG		
	DIO_16	PFI_16	23	57	PFI_17	DIO_17	
		GND	24	58	PFI_18	DIO_18	
	DIO_19	PFI_19	25	59	GND		
	DIO_20	PFI_20	26	60	PFI_21	DIO_21	
		GND	27	61	PFI_22	DIO_22	
	DIO_23	PFI_23	28	62	GND		
OUT (3)	DIO_24	PFI_24	29	63	PFI_25	DIO_25	UP/DOWN (3)
		GND	30	64	PFI_26	DIO_26	Gate (3)
Source (3)	DIO_27	PFI_27	31	65	GND		
OUT (2)	DIO_28	PFI_28	32	66	PFI_29	DIO_29	UP/DOWN (2)
		GND	33	67	PFI_30	DIO_30	GATE (2)
Source (2)	DIO_31	PFI_31	34	68	GND		

Tabla A.2. Características eléctricas de la tarjeta electrónica National Instruments PCI 6601.

Compatibilidad	TTL/CMOS (tabla 3)
Estado de encendido	Entrada (Alta impedancia)
Consumo de corriente sin carga	10 μ A (min.) - 200 μ A (máx.)
PCI 6601	4 contadores bidireccionales
Resolución	32 bits
Máximo Conteo	4,294,967,295
Base de tiempo disponible	20 MHz

Generación de tren de pulsos continuos en la tarjeta PCI 6601.

Esta función genera un tren de pulsos con frecuencia y duración de ciclo programable. El contador utiliza la terminal *source* como base de tiempo para generar los pulsos. El programador especifica los parámetros en términos del periodo de la entrada *source*. La figura A.1 muestra un tren de pulsos.

Generación de tren de pulsos finito en la tarjeta PCI 6601 .

Generación de tren de pulsos finito en la tarjeta PCI 6601.

En esta aplicación, el contador genera un número específico de pulsos como se indica en la figura A.1. La fase del tren de pulsos es programable. Los valores programables están especificados en múltiplos de la base de tiempo que es usada en la entrada *source* del contador. La figura A.1 muestra dos pulsos con un retardo de dos y un ancho de pulso. En esta aplicación se requiere utilizar dos contadores.

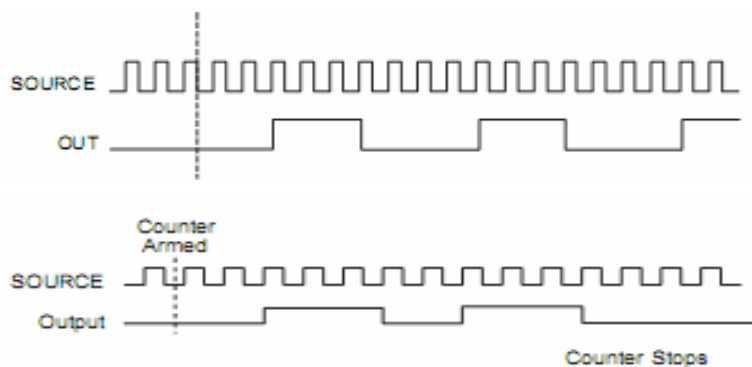


Figura A.1 Señales que intervienen en la generación de trenes de pulsos.

Tabla A.3. Niveles de voltaje de la tarjeta electrónica National Instruments PCI 6601.

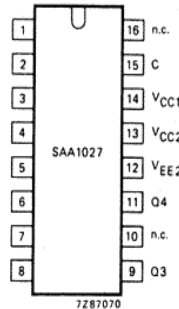
	Mínimo	Máximo
Nivel Lógico Cero	-0.3 V	0.8 V
Nivel Lógico uno	2.0 V	Alimentación + 0.3 V
Corriente de entrada	_____	200 μ A
Voltaje de salida	2.4 V	_____

Tarjeta electrónica manejadora dual para motores de pasos.

Tabla A.4. Características eléctricas del circuito Integrado SAA1027

	MÍNIMO	MÁXIMO
Voltaje de alimentación	9.5 V	18 V
Salida de corriente	30 μ A	500 mA
Temperatura	-20 °C	70 °C

Terminal	Nombre	Descripción
1	n.c.	No conectado.
2	R	Entrada de reset
3	M	Modo de entrada.
4	RX	Resistor externo.
5	VEE1	Tierra.
6	Q1.	Salida 1.
7	n.c.	No conectado.
8	Q2	Salida 2.



Terminal	Nombre	Descripción
15	C	Entrada del contador.
14	VCC1	Voltaje de alimentación.
13	VCC2	Voltaje de alimentación.
12	VEE2	Tierra.
11	Q4	Salida 4.
10	n.c.	No conectado.
9	Q3	Salida 3.

Figura A.2. Distribución de terminales del Circuito SAA1027.

Tarjeta electrónica manejadora 2035-O para un motor de pasos.

Tabla A.5. Principales características.

	Mínimo	Máximo
Corriente de salida	0.4 V	3.5 A
Voltaje de entrada	12 V	35 VDC
Frecuencia del generador interno	400	5000 HZ

Motores de pasos Vexta Oriental Motors modelo PX245M-01BA

Tabla A.6. Características eléctricas y mecánicas.

Tipo de Motor	2-fases Paso/Medio Paso
Tipo de conexión	Unipolar
Terminales	6
Corriente por fase (A/fase)	1.2 Unipolar
Resistencia por fase (ohms)	3.3
Tipo de barra	Barra redonda
Terminales de eje	Doble
Voltaje (Volts)	4
Ángulo por paso	0.9 °

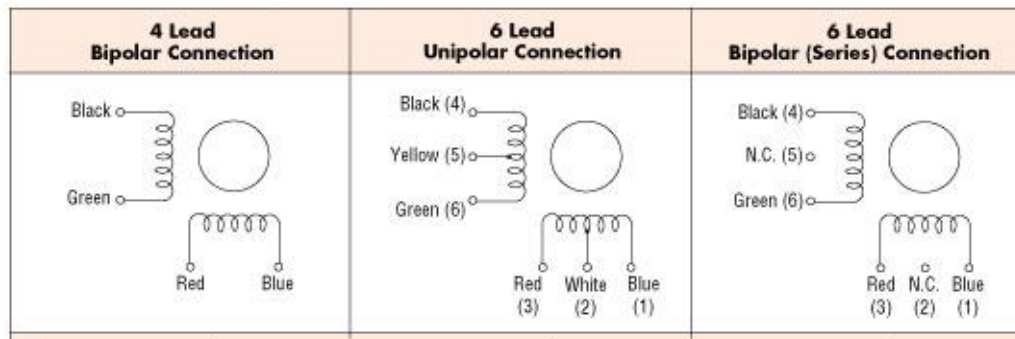


Figura A-3 Descripción de terminales del motor marca Vexta modelo PX245M-01BA.

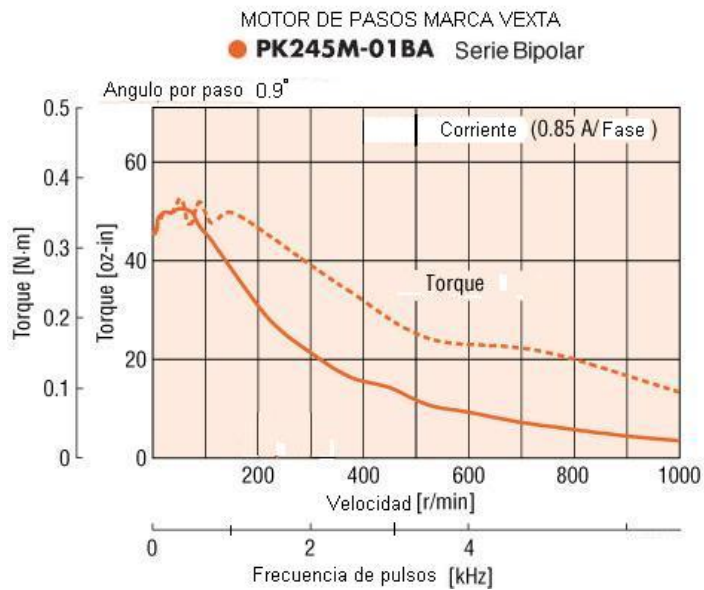


Figura A-4 Gráfica de torque contra frecuencia del motor marca Vexta modelo PX245M-01BA.

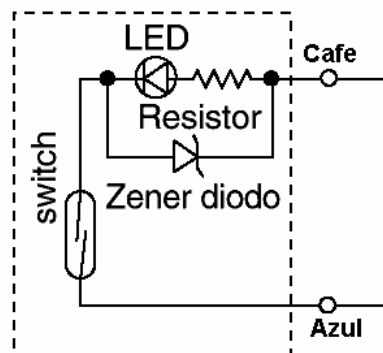


Figura A.5. Diagrama interno del sensor SMC D-A93.

Tabla A.7. Características eléctricas del sensor SMC D-A93.

	Mínimo	Máximo
Voltaje de operación	4 V AC/DC	24 V AC/DC
Corriente	5 mA	50 mA
Distancia de trabajo	0 Milímetros	20 Milímetros

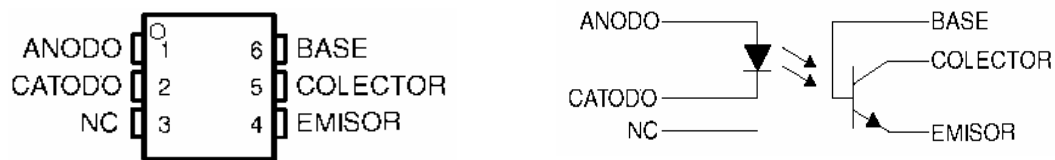


Figura. A.6. Descripción de terminales y diagrama del circuito 4N35.

Tabla A.8. Características eléctricas del CI. 4N35.

	Máximo
Voltaje colector-emisor	30 V
Corriente de colector	100 mA
Voltaje diodo infrarrojo	6 V
Corriente diodo infrarrojo	60 mA

Tabla A.9. Características eléctricas del sensor SMC D-A93.

	Mínimo	Máximo
Voltaje de operación	12 V DC	24 V DC
Corriente consumida	-----	50 mA
Tiempo de respuesta		250 μ Seg.
Distancia de trabajo	0 Milímetros	20 Milímetros
Corriente de salida		100 mA

Tabla A.10. Características de la tarjeta de video PCI -1411.

Entrada de video		Salida de video	
Impedancia de entrada	75 Ω	Formato RGB	32 Bits
Rango de entrada	400 a 800 mV	Formato HSL	32 Bits
Respuesta en frecuencia	12 Mhz	Pixel	cuadro
Formato RS-170/NTSC	29.97 Frames/S		

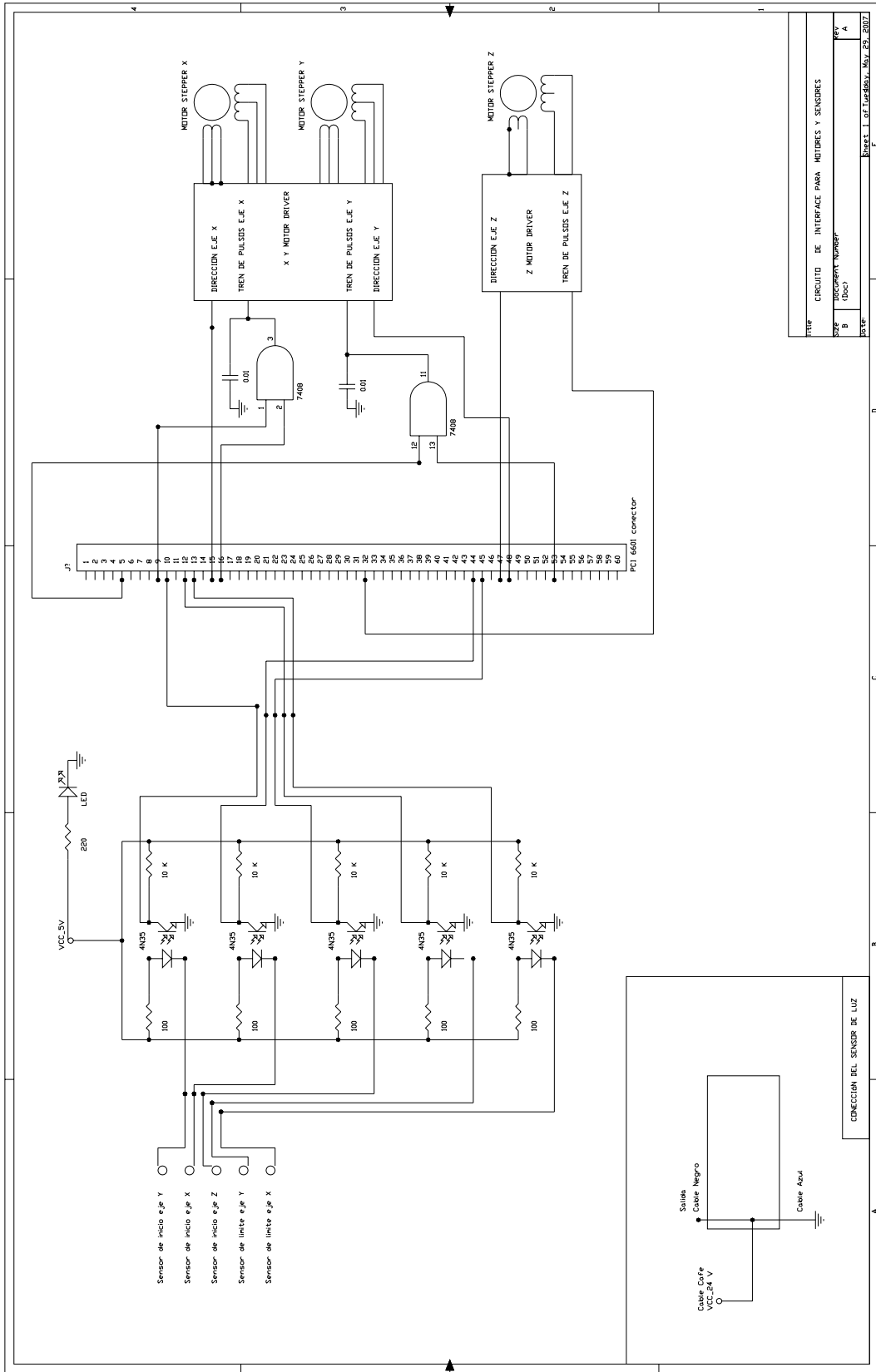
Tabla A.11. Especificaciones de la cámara
CVC-140 Pro-Video.

Resolución	Horizontal 420 line - Vertical 350 line
Dispositivo de Imagen	Sensor de Imagen 1/3" B/W CCD
Número de píxeles	512 (H) x 492 (V) elementos de imagen
Sistema de scan	EIA estándar 525 líneas 60 campos/segundo
Frecuencia de scan	Horizontal. 15.75 KHz Vertical. 60 Hz
Video Output Level	1.0 VP.p. 75 ohm
Salidas / Conexiones	Video - BNC, - DC jack
Voltaje de operación	12V DC
Corriente consumida	110 mA

APÉNDICE B

Circuito de acoplamiento para motores y sensores.

Se diseñó un circuito de acoplamiento para los motores (figura B.1), sensores y la tarjeta electrónica I/O PCI 6601, en el cual se utilizaron cinco optoacopladores, para aislar los voltajes de 24 Volts que manejan algunos sensores y la etapa de 5 Volts de la tarjeta PCI 6601; se utilizaron dos compuertas AND para evitar el paso de pulsos no deseados hacia las tarjetas manejadoras de motores de pasos. Estos pulsos no deseados son generados en las terminales de salida por la misma tarjeta PCI 6601 al momento de habilitar y inhabilitar los contadores internos. Con esta compuerta se evita la generación de errores en la posición de la mesa x,y.



TITULO	CIRCUITO DE INTERFACE PARA MOTORES Y SENSORES		
SIZE	A	REV	01
B			
DATE	Boque 1 of Eurekaov_May_2017_2027		