



Universidad del Azuay
Facultad de Ciencia y Tecnología
Escuela de Ingeniería Electrónica

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PROTOTIPO
DE VERIFICACIÓN DE TARJETAS ELECTRÓNICAS
MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL”**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de Ingeniero
Electrónico**

AUTORES:

MATEO GABRIEL CABRERA ILLESCAS

MARILIA GABRIELA CONDE LANCHI

DIRECTOR:

JOSÉ LUIS PESANTEZ CORRAL

CUENCA, AZUAY

2014

DEDICATORIA

Este es el trabajo con el que culmino un sueño, una etapa, con el que digo gracias a quienes desde lejos, pero siempre estuvieron presentes con sus palabras de ánimo y su cariño incondicional. Galo y Glenda son el motor de mi vida, mi ejemplo y mi orgullo, esto va dedicado a ustedes.

Marilia

DEDICATORIA

A mis padres fabi y meche que me han enseñado a no rendirme, por muy difícil o largo que sea el camino y que con trabajo duro lo imposible se vuelve posible, a mis hermanos Abel y Fabiana que han sabido apoyarme a su manera, a Andrea que en este proceso de tesis ha sido un apoyo incondicional.

Mateo

AGRADECIMIENTO

Al transcurrir de los años aprendí muchas cosas, conocí a muchas personas y adquirí muchos recuerdos. Luego de finalizar este trabajo muchos nombres vienen a mi mente, nombres de personas que fueron el pilar fundamental para poder lograr esta meta, que hace seis años inició. A mi familia G, que siempre estuvo allí trabajando mucho y apoyándome sin importar nada. A mis compañeros y amigos, que acogieron a una celicana y la hicieron una cuencana más, ustedes son mi segunda familia; la familia que con los años gané. A ustedes muchas gracias.

Este agradecimiento también va dirigido a nuestro director, José Luis, quien desde el inicio estuvo apoyándonos y guiándonos, para lograrlo. A la Armada del Ecuador, gracias por la apertura a sus instalaciones, para que podamos realizar y presentar nuestro trabajo de tesis; al Ing. Marcos Andrade quien estuvo siempre animándonos y sacando una sonrisa en los momentos más cruciales. Y finalmente a mi compañero, Mateo a quien luego de cinco años puedo decirle: Ingeniero, lo logramos.

Marilia

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todas las personas que, de alguna forma, son parte de la culminación de este proyecto, a José Luis Pesantez, que nos dio el impulso inicial y apoyo continuo, al Ingeniero Marcos Andrade quien desinteresadamente nos brindó su amistad y guía, a la Armada del Ecuador quienes nos acogieron en sus instalaciones.

A Marilia por haber sido una excelente compañera de tesis y amiga, por haberme tenido la paciencia suficiente y seguir adelante con muchas risas y nuevas experiencias.

A mis abuelos y tíos, que siempre creyeron en mí y estuvieron apoyándome con los ánimos y energías para continuar.

Mateo

RESUMEN

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PROTOTIPO DE VERIFICACIÓN DE TARJETAS ELECTRÓNICAS MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL

La presente tesis tiene como finalidad rescatar una máquina en desuso y desarrollar un sistema prototipo que verifique la presencia de los componentes de placas electrónicas implementadas en los buques de la Armada del Ecuador, mediante una cámara que realiza la adquisición de imágenes que son enviadas a LabVIEW para ser analizadas. Dicha cámara está acoplada a un brazo mecánico controlado por el mismo software, que permite la exploración de las tarjetas en el eje X y eje Y.

El control del sistema se realiza mediante una tarjeta de interfaz diseñada en base a arduino, de manera que se adapte a la placa original del controlador de la máquina y se comunica con el computador mediante RS232, aprovechando así los recursos existentes.

Palabras clave: Arduino, LabVIEW, Visión Artificial, Tarjetas Electrónicas, Comunicación Serial.



Ing. José Luis Pesantez Corral
Director


Ing. Francisco Vásquez Calero
Director de Escuela

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
ESCUELA
Ingeniería Electrónica



Mateo Cabrera Illescas
Autor


Marilía Conde Lanchi

Autor

ABSTRACT

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A PROTOTYPE VERIFICATION SYSTEM OF ELECTRONIC CARDS THROUGH ARTIFICIAL VISION

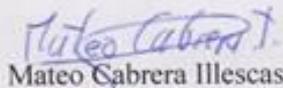
This thesis aims to rescue an obsolete machine and develop a prototype system to verify the presence of the electronic board components implemented on the Ecuadorian Navy ships, by means of a camera that performs image acquisition that is sent to LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) to be analyzed. The camera is coupled to a mechanical arm controlled by the same software, allowing the exploration of the cards in the X axis and Y axis.

The control system is done via an interface card designed on the basis of an Arduino (single-board microcontroller), so that it fits the original plate of the machine controller and communicates with the computer via RS232, taking advantage of the existing resources.

Keywords: Arduino, LabVIEW, Artificial Vision, Electronic Cards, Serial Communication.



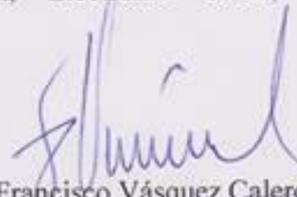
Ing. José Luis Pesantez Corral
Thesis Director



Mateo Cabrera Illescas
Author



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
OPTO. IDIOLLAS



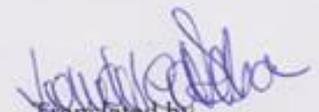
Ing. Francisco Vásquez Calero
School Director



Marilia Conde Lanchi
Author



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
ESCUELA Ingeniería Electrónica



Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iv
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xx
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xxi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	
1.1 Visión artificial.....	3
1.1.1 Aplicaciones de visión artificial.....	4
1.1.2 Sistemas de visión artificial.....	5
1.1.2.1 Componentes de un sistema de visión artificial.....	6
1.1.3 Cámara.....	7
1.1.3.1 Flexibilidad.....	7
1.1.3.1.1 Sensor de visión.....	7
1.1.3.1.2 Cámara inteligente	7
1.1.3.1.3 Cámara basada en PC	7
1.1.3.2 Dimensión.....	8
1.1.3.2.1 Lineal.....	8
1.1.3.2.2 Tres dimensiones.....	8

1.1.3.2.3	Matricial.....	8
1.1.3.2.3.1	Campo de visión.....	9
1.1.3.2.3.2	Distancia focal.....	10
1.1.3.2.3.3	Distancia mínima.....	10
1.1.3.2.3.4	Profundidad de campo.....	11
1.1.4	Lente.....	12
1.1.4.1	Resolución 2D.....	12
1.1.5	Tarjeta de adquisición de imagen.....	13
1.1.5.1	Tipo de entrada de video.....	13
1.1.5.1.1	IEEE 1394b.....	14
1.1.5.1.2	GigE visión.....	14
1.1.5.1.3	Camera link.....	14
1.1.5.1.4	USB2 vision.....	15
1.1.5.1.5	USB3 vision.....	15
1.1.5.2	Memoria en la tarjeta y controlador propio de DMA.....	16
1.1.5.3	Entradas y salidas de sincronismo.....	16
1.1.5.4	Uso de entradas o salidas digitales.....	17
1.1.6	Software de programación y visualización.....	17
1.1.6.1	NI – IMAQ.....	17
1.1.6.2	Vision development.....	18
1.1.7	Sistema de iluminación.....	18
1.1.7.1	Tipos de lámparas.....	18
1.1.7.1.1	Lámparas de fibra óptica.....	19
1.1.7.1.2	Lámparas fluorescentes.....	19
1.1.7.1.3	Lámparas láser.....	19
1.1.7.1.4	Lámparas led.....	20
1.1.7.2	Técnicas de iluminación.....	20
1.1.7.2.1	Iluminación difusa.....	21
1.1.7.2.2	Iluminación frontal.....	21
1.1.7.2.3	Iluminación lateral.....	22
1.1.7.2.4	Iluminación por campo oscuro.....	23
1.1.7.2.5	Iluminación por domo.....	23
1.2	Máquina CNC.....	24
1.2.1	Funcionamiento.....	25

1.2.1.1	Ejes principales.....	25
1.2.1.2	Ejes complementarios.....	26
1.2.2	Sistema de transmisión.....	26
1.2.2.1	Transmisión.....	26
1.2.2.2	Motores de transmisión.....	28
1.2.2.2.1	Motores paso a paso.....	28
1.2.2.2.2	Servomotores.....	29
1.2.2.2.3	Motores lineales.....	29

CAPÍTULO II: ESTUDIO DEL CONTROL DEL MECANISMO DE EXPLORACIÓN DE LAS TARJETAS ELECTRÓNICAS

2.1	Máquina CNC.....	32
2.1.1	Sistema de control.....	32
2.1.2	Driver.....	36
2.1.3	Sistema de comunicación.....	37
2.1.4	Alimentación.....	39
2.1.5	Mecanismo.....	40
2.2	Emulación del sistema estudiado.....	41

CAPÍTULO III: ESTUDIO DEL MÉTODO DE ADQUISICIÓN DE IMÁGENES

3.1	Tarjetas electrónicas.....	43
3.2	Cámaras.....	46
3.3	Procesamiento de imágenes.....	49
3.3.1	Adquisición de imágenes.....	49
3.3.1.1	Programación alto nivel.....	49
3.3.1.2	Programación bajo nivel.....	51
3.3.2	Análisis de imágenes.....	52
3.3.2.1	IMAQ Convolute.....	54
3.3.2.2	IMAQ Threshold.....	55
3.3.2.3	IMAQ Morphology.....	56

3.3.2.4	IMAQ FillHole.....	57
3.3.2.5	IMAQ RemoveParticle.....	57
3.4	Estudio de iluminación.....	60
3.4.1	Iluminación con diodos led de ultra brillo.....	60
3.4.2	Iluminación con luz incandescente.....	62
3.4.3	Iluminación con anillo de luz infrarroja.....	62

CAPÍTULO IV: DESARROLLO DEL PROTOTIPO

4.1	Rediseño del sistema de exploración.....	65
4.1.1	Estructura.....	65
4.1.1.1	Modificación del eje X mediante piezas de acople.....	66
4.1.1.2	Pieza de acople de cámara.....	68
4.1.1.3	Plantilla de ubicación.....	69
4.1.2	Sistema de control y comunicación.....	70
4.1.2.1	Diseño de la tarjeta.....	70
4.1.2.1.1	Diseño físico.....	70
4.1.2.1.2	Diseño electrónico.....	71
4.1.2.2	Programación de tarjeta.....	74
4.1.2.2.1	Configuración de programa.....	74
4.1.2.2.2	Programa de comunicación.....	75
4.1.2.2.3	Inicializaciones.....	78
4.2	Programación para adquisición y tratamiento de imágenes.....	79
4.2.1	Programa de sistema de comunicación.....	80
4.2.1.1	Configuración comunicación serial.....	80
4.2.1.2	Transmisión y recepción de datos.....	81
4.2.1.2.1	Transmisión de datos.....	82
4.2.1.2.2	Recepción de datos.....	84
4.2.2	Sistema de adquisición de imágenes.....	85
4.2.2.1	Cámara.....	86
4.2.2.2	Programa de adquisición de imágenes.....	86
4.2.2.2.1	Inicialización.....	88
4.2.2.2.2	Extracción de imágenes.....	89

4.2.2.2.3	Programa de base de datos.....	91
4.2.3	Programa de tratamiento de imágenes.....	93
4.2.3.1	Inicialización.....	94
4.2.3.2	Adquisición de imágenes.....	95
4.2.3.3	Tratamiento de imágenes.....	97
4.2.3.3.1	Proceso de búsqueda.....	99
4.2.3.3.2	Generación de reporte.....	100

CAPÍTULO V: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

5.1	Funcionamiento general.....	101
5.1.1	Funcionamiento mecánico.....	102
5.1.2	Funcionamiento de software.....	105
5.1.2.1	Creación de base de datos.....	105
5.1.2.2	Búsqueda de componentes.....	106
5.2	Pruebas.....	109
5.2.1	Pruebas de resistencia de componentes.....	109
5.2.2	Pruebas de confiabilidad.....	110
5.2.3	Pruebas de comunicación.....	113
5.2.4	Pruebas de pulso de control.....	116
5.3	Resultados.....	118
5.3.1	Pruebas de temperatura.....	118
5.3.2	Pruebas de confiabilidad.....	118
5.3.2.1	Placa Arduino UNO.....	118
5.3.2.2	Placa SELENIA.....	118
5.3.3	Pruebas de comunicación.....	119
	CONCLUSIONES.....	120
	RECOMENDACIONES.....	122
	BIBLIOGRAFÍA.....	123

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Sistema de verificación de color.....	5
Figura 1.2 Proceso de visión artificial.....	6
Figura 1.3 Sistema de visión artificial.....	6
Figura 1.4 Campo de visión.....	9
Figura 1.5 Distancia focal.....	10
Figura 1.6 Distancia mínima de enfoque.....	11
Figura 1.7 Profundidad de enfoque.....	11
Figura 1.8 Ángulo del lente.....	12
Figura 1.9 Tamaño de sensores.....	12
Figura 1.10 Campo de visión para cálculo.....	13
Figura 1.11 Conector Firewire.....	14
Figura 1.12 Cámara con conexión GigE.....	14
Figura 1.13 Cámara con estándar camera link.....	15
Figura 1.14 Cámara con conexión USB2.0.....	15
Figura 1.15 Cable para cámaras estándar USB3.0.....	16
Figura 1.16 Lámpara de fibra óptica.....	19
Figura 1.17 Lámparas fluorescentes.....	19
Figura 1.18 Lámparas láser.....	20
Figura 1.19 Lámpara led.....	20
Figura 1.20 Iluminación difusa.....	21
Figura 1.21 Iluminación frontal.....	22

Figura 1.22 Iluminación lateral.....	22
Figura 1.23 Iluminación por campo oscuro.....	23
Figura 1.24 Iluminación por domo.....	24
Figura 1.25 Ejes principales.....	25
Figura 1.26 Ejes complementarios.....	26
Figura 1.27 Husillo con bolas.....	27
Figura 1.28 Conexión motor – tornillo sin fin.....	27
Figura 1.29 Motores paso a paso.....	29
Figura 1.30 Servomotores.....	29
Figura 1.31 Motor lineal.....	30
Figura 2.1 Esquema eléctrico 74ls126.....	32
Figura 2.2 Diagrama de funcionamiento del sistema de control.....	34
Figura 2.3a Pulsos de control adquirido en el driver.....	35
Figura 2.3b Pulso de control adquirido en el driver.....	36
Figura 2.4 Diagrama de pines del driver GS-D200S.....	37
Figura 2.5 Interfaz RS232.....	38
Figura 2.6 Adquisición de datos, Sistema de comunicación.....	39
Figura 2.7 Acople de motor y tornillo sin fin.....	40
Figura 2.8 Conector de transmisión y recepción.....	41
Figura 2.9 Conector de control de drivers.....	42
Figura 2.10 Conector de adquisición de señal de fin carrera.....	42
Figura 3.1 Forma general del contorno de las placas electrónicas.....	44
Figura 3.2 Tarjeta electrónica con componentes desalineados.....	44

Figura 3.3 Tarjeta electrónica con diferente marca de componentes.....	45
Figura 3.4 Tarjeta electrónica con anotaciones.....	45
Figura 3.5 Tarjeta electrónica – Vista superior.....	46
Figura 3.6 Cámara web básica.....	47
Figura 3.7 Cámara web HD.....	47
Figura 3.8 Imagen capturada por cámara básica.....	48
Figura 3.9 Imagen capturada por cámara HD de mayor ángulo de visión.....	48
Figura 3.10 Vision Acquisition.....	50
Figura 3.11 Configuración método de adquisición.....	50
Figura 3.12 Image type.....	51
Figura 3.13 Adquisición de imágenes – Programación bajo nivel.....	51
Figura 3.14 Extract.....	52
Figura 3.15 IMAQ Extract Single Color Plane.....	53
Figura 3.16 Imagen RGB – Grayscale.....	53
Figura 3.17 IMAQ Convolute.....	54
Figura 3.18 Resultados IMAQ Convolute.....	54
Figura 3.19 IMAQ Threshold.....	55
Figura 3.20 Imagen Binaria.....	55
Figura 3.21 IMAQ Histogram.....	56
Figura 3.22 IMAQ Morphology.....	56
Figura 3.23 Erode – Dilation –Hit miss.....	56
Figura 3.24 Resultado IMAQ FillHole.....	57
Figura 3.25 IMAQ RemoveParticle.....	57

Figura 3.26 IMAQ Learn Color Pattern.....	58
Figura 3.27 IMAQ Setup Learn Color Pattern.....	58
Figura 3.28 Búsqueda de componentes.....	59
Figura 3.29 Colocación de leds.....	61
Figura 3.30 Tarjeta iluminada por leds.....	61
Figura 3.31 Tarjeta iluminada por luz incandescente.....	62
Figura 3.32 Anillo de diodos led infrarrojo.....	63
Figura 3.33 Placa iluminada por anillo de diodos led.....	63
Figura 4.1 Máquina CNC con las protecciones y accesorios colocados.....	65
Figura 4.2 Máquina CNC sin accesorios.....	66
Figura 4.3 Máquina con motor de tallado.....	66
Figura 4.4 Unión de brazos de eje X – eje Y.....	67
Figura 4.5 Diseño de piezas de acople.....	67
Figura 4.6 Piezas de acople.....	68
Figura 4.7 Diseño pieza de sujeción de la cámara.....	68
Figura 4.8 Pieza de sujeción con cámara.....	69
Figura 4.9 Plantilla de ubicación.....	69
Figura 4.10 Circuito de potencia, marcado lugares de conexión.....	70
Figura 4.11 Diseño de forma de placa de control.....	71
Figura 4.12 Arduino UNO r3.....	71
Figura 4.13 Circuito de control.....	72
Figura 4.14 Circuito de comunicación.....	73
Figura 4.15 Circuito de protección de señales de fin carrera.....	73

Figura 4.16 Placa de control.....	74
Figura 4.17 Configuración de programa.....	75
Figura 4.18 Bucle de comparación de carácter recibido.....	76
Figura 4.19 Generación de dos pulsos para el control del motor.....	77
Figura 4.20 Pulso necesario para que el motor de un paso.....	77
Figura 4.21 Programa que ubica el actuador en el punto cero.....	78
Figura 4.22 Programa que ubica el actuador en el punto inicial.....	79
Figura 4.23 Instrument I/O.....	80
Figura 4.24 Visa Configure Serial Port.....	81
Figura 4.25 Visa Write.....	82
Figura 4.26 Transmisión de datos – Visa Write.....	83
Figura 4.27 Visa Read.....	84
Figura 4.28 Configuración Visa Read.....	85
Figura 4.29 Visa Close.....	85
Figura 4.30 Vistas Logitech HD C920.....	86
Figura 4.31 Esquema del programa de adquisición de imágenes.....	87
Figura 4.32 Adquisición y almacenamiento de imágenes.....	87
Figura 4.33 Configuración cámara.....	88
Figura 4.34 Configuración archivos.....	89
Figura 4.35 Programa para extracción de imágenes.....	90
Figura 4.36 Extracto de imagen.....	90
Figura 4.37 Selección método de ingreso.....	91
Figura 4.38 Extract – IMAQ Write File2.....	91

Figura 4.39 Análisis de imagen aprendida y obtención de coordenadas.....	92
Figura 4.40 Concatenate String y escritura de archivo.....	92
Figura 4.41 Write to Text File.....	92
Figura 4.42 Datos almacenados en la base de datos.....	93
Figura 4.43 IMAQdx Close cámara – Close File.....	92
Figura 4.44 Proceso de tratamiento de imágenes.....	94
Figura 4.45 Inicialización de herramientas.....	95
Figura 4.46 Imagen adquirida (Parte II).....	96
Figura 4.47 Imagen adquirida (Extracto – Parte I).....	96
Figura 4.48 IMAQ Setup Match Color Pattern – IMAQ Match Color Pattern.....	97
Figura 4.49 Lectura de base de datos.....	98
Figura 4.50 Aprendizaje de patrones.....	98
Figura 4.51 Búsqueda de coincidencias.....	99
Figura 4.52 Cluster de configuraciones.....	99
Figura 4.53 Configuración Archivo – Reporte.....	100
Figura 5.1 Control de movimientos – LabVIEW.....	103
Figura 5.2 Áreas de búsqueda.....	104
Figura 5.3 Control de movimientos.....	104
Figura 5.4 Panel frontal – Creación de base de datos.vi.....	106
Figura 5.5 Archivo Base de datos	106
Figura 5.6 Controles panel frontal – Visión Artificial	107
Figura 5.7 Controles panel frontal – Movimiento.....	107
Figura 5.8 Panel frontal – Búsqueda de componenetes.vi.....	109

Figura 5.9 Tarjeta modelo Arduino UNO.....	111
Figura 5.10 Tarjeta modelo 9008010.....	111
Figura 5.11 Tarjeta modelo SELENIA.....	112
Figura 5.12 Trama de comunicación con orden derecha.....	114
Figura 5.13 Trama de comunicación con orden izquierda.....	114
Figura 5.14 Trama de comunicación con orden abajo.....	115
Figura 5.15 Trama de comunicación con orden arriba.....	115
Figura 5.16 Pulso de control, dirección 1.....	117
Figura 5.17 Pulso de control, dirección 2.....	117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Estados lógicos 74ls126.....	33
Tabla 4-1 Configuración Visa Configure Serial Port.....	81
Tabla 4-2 Comandos Visa Write.....	83
Tabla 5-1 Comandos de control de movimientos (automático)	103
Tabla 5-2 Configuraciones – Búsqueda de componentes.....	108
Tabla 5-3 Resultados de pruebas de temperatura.....	110
Tabla 5-4 Resultados de pruebas de confiabilidad.....	113

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Diseño de pieza acople.....	128
Anexo 2: Diseño de Circuito de placa de interfaz.....	129

Cabrera Illescas Mateo Gabriel
Conde Lanchi Marilia Gabriela
Trabajo de Graduación
Ing. José Luis Pesantez Corral
Julio 2014

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PROTOTIPO DE VERIFICACIÓN DE TARJETAS ELECTRÓNICAS MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL

INTRODUCCIÓN

Al hablar de equipos electrónicos una característica importante es la vida útil del mismo; este período de tiempo va de la mano con el tipo de funcionamiento y la frecuencia con la que el equipo es sometido a un período de mantenimiento, además de las condiciones ambientales en las que estos trabajan. Muchas veces los procesos de mantenimiento se realizan en varias etapas, lo que provoca que el tiempo destinado para este proceso aumente, sin contar con el tiempo adicional que pueda requerirse dependiendo del estado en que se encuentre un equipo o tarjeta electrónica.

Uno de los primeros pasos a dar al momento de realizar un proceso de mantenimiento, es la inspección visual de la tarjeta electrónica que se revisará. La mayoría de estos procesos los realiza una persona que a lo largo del día su eficiencia disminuye, lo que hace que la confiabilidad de los procesos se vea comprometida. Es así que al haber obtenido conocimientos acerca de los procesos de mantenimiento que se realizan en las tarjetas electrónicas implementadas en los buques de la Armada del Ecuador y en base a los conocimientos obtenidos previamente a la elaboración de este proyecto, se propone realizar un sistema prototipo para la verificación del estado de tarjetas electrónicas usando visión artificial.

Dicho sistema contará con una base de datos de tarjetas que se encuentren en perfecto estado, la misma que servirá como referencia al momento de realizar los procesos de

revisión de las tarjetas, en base a la búsqueda de coincidencias en imágenes que serán adquiridas, y procesadas, de manera que al final de cada proceso se genere un reporte que permita al operador de la máquina conocer el estado de la tarjeta escaneada. Para el proceso de escaneo de cada tarjeta se rediseñará un mecanismo de exploración de dos ejes que funcione con un software de control independiente, a partir de una máquina CNC que era un activo en desuso en las instalaciones de la Armada, lo que permitirá rescatar este equipo y darle una nueva aplicación enfocada a las necesidades que se tienen en los laboratorios que realizan esta clase de mantenimiento. Además de ser una plataforma que servirá para desarrollo de nuevas aplicaciones.

Para esto se realizarán estudios previos acerca de las técnicas que puedan implementarse, levantamiento de información de la máquina que se rescatará, el diseño, construcción y control del sistema, para finalmente realizar pruebas de funcionamiento que garanticen el trabajo del mismo.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se realizará la recopilación de información acerca de las posibles técnicas de visión artificial, aplicables al proyecto de la máquina prototipo que se pretende realizar. Además de los métodos de control de la máquina CNC.

1.1 Visión Artificial

Los primeros pasos en visión artificial se han venido dando desde los años 70 cuando se empezó las primeras investigaciones, siendo una tecnología exclusivamente militar por los elevados precios de los componentes, esta tecnología fue utilizada para analizar imágenes captadas por aeronaves espías o satélites. Gracias a la caída de precios de sensores y procesadores a mediados de los '90 esta tecnología poco a poco se fue desmilitarizando y aumento significativamente su producción llegando a las industrias como en eje fundamental de sus líneas de producción¹.

Con la visión artificial se pretende reemplazar o complementar inspecciones manuales con procesamiento de imágenes captadas por cámaras digitales, aumentando así la velocidad de producción, mejorando la calidad de la medición, revisión y reduciendo trabajos monótonos y repetitivos. Es por esto que se propuso realizar un sistema prototipo que realice el proceso de revisión y verificación de tarjetas electrónicas mediante visión artificial. Empleando la captura, procesamiento de imágenes y comparación de patrones, reduciendo así el porcentaje de errores al momento de verificar la existencia de los componentes.

¹ (Tecnalia, 2013)

La visión artificial es una técnica que emula el procesamiento de imágenes que realiza el cerebro, ya que se basa en la adquisición, procesamiento y obtención de información a partir de ellas, es por esto que actualmente es considerada como parte de la inteligencia artificial². Debido a las altas prestaciones que ofrece este tipo de técnica, la visión artificial se ha extendido, abarcando múltiples ramas de la industria. Ya que actualmente los requerimientos en los controles de calidad, los niveles de producción diaria requieren de revisiones a velocidades elevadas, que normalmente para una persona son casi imposibles de realizar con la misma eficiencia que lo realizan dichos sistemas.

Para lograr un estudio acerca del sistema de visión artificial que se aplicará en el diseño propuesto, es conveniente conocer y analizar: el método de adquisición de las imágenes, el mismo que estará sujeto a la forma de adquisición de la cámara, resolución, tipo de sensor y lente. Además de la interfaz cámara – computadora y el sistema de iluminación³.

1.1.1 Aplicaciones de visión artificial

La visión artificial aplicada a la industria, además del sistema de adquisición y procesamiento de imágenes que emplea un sistema de visión artificial tradicional, integra dispositivos adicionales para el control de procesos tales como brazos robóticos, sistemas de ventilación, etc. Se trata de un sistema más robusto que trabaja a mayores velocidades, mayores períodos de trabajo y menores costos de producción.

Diversas son las aplicaciones que requieren métodos de visión artificial para su funcionamiento, ya que los estándares de calidad que actualmente requiere alcanzar un producto para su aceptación se han incrementado. Las principales áreas en las que se aplica la visión artificial actualmente son: Medicina, Robótica, Manufactura, Farmacéutica, Industria Maderera, Embalaje, Logística, entre otros⁴. El principal factor al momento de determinar el nivel de calidad de la máquina que trabaja en base a visión artificial, vendrá dado por las características de los dispositivos que forman

² (Gobierno de España, 2013)

³ (Etitudela, 2013)

⁴ (Ruiz Cabeza, 2013)

parte de este sistema, ya que en el mercado existen un sinnúmero de productos que pueden ser empleados para este fin.

Un ejemplo de las altas prestaciones de un equipo para garantizar el rendimiento de un sistema, es el mecanismo empleado en el proceso de revisión de productos farmacéuticos, ya que estos se transportan en una banda que va a grandes velocidades y la cámara asignada para la adquisición de imágenes en este caso debe realizar el procesamiento de las imágenes a altas velocidades⁵. Otro ejemplo más cercano al propósito de la aplicación de visión artificial que se pretende realizar, es la detección de la correcta colocación de los diferentes componentes electrónicos, o el estado de elementos que necesitan una verificación de calidad.

Figura 1.1 Sistema de verificación de color.



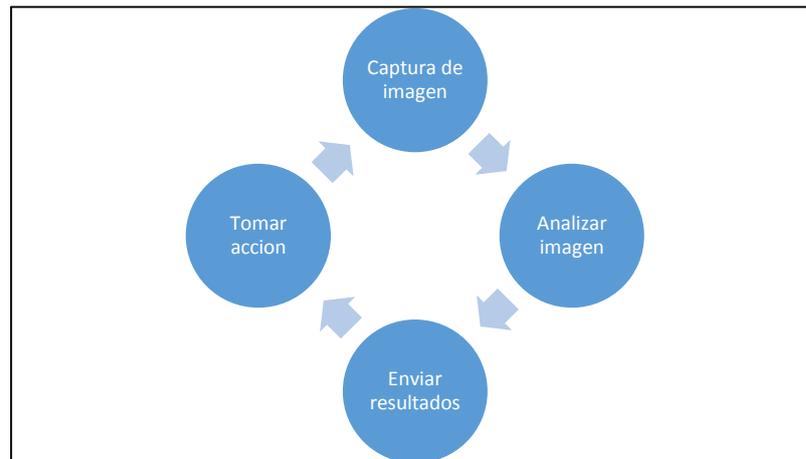
Fuente: Info PLC. [En línea]. [17 de marzo de 2014].

1.1.2 Sistemas de visión artificial

Los pasos para llevar a cabo un proceso con visión artificial son: tomar la imagen a través de una cámara digital, analizar la imagen ya sea en una pc o en la misma cámara, en el caso de la cámaras inteligentes, enviar los resultados a un procesador y tomar la acción requerida para los resultados obtenidos.

⁵ (INFO PLC, 2013)

Figura 1.2 Proceso de visión artificial.

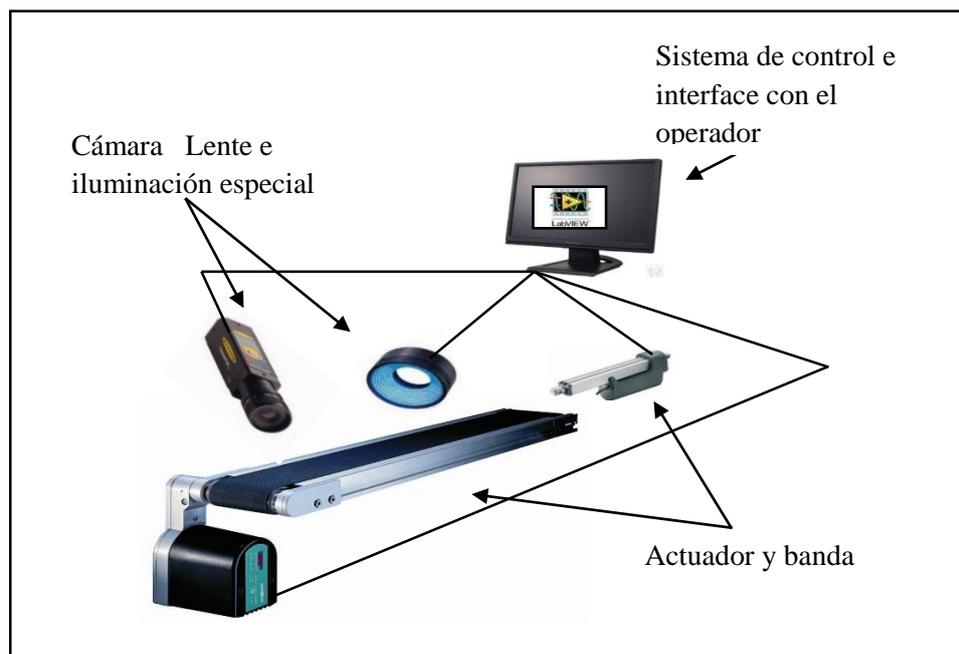


Fuente: Autores.

1.1.2.1 Componentes de un sistema de visión artificial

En un sistema típico podemos encontrar: Cámara, lente e iluminación especial, Sistema de control, Interface con operador, Actuador, Mecanismo de exploración (Banda transportadora).

Figura 1.3 Sistema de visión artificial.



Fuente: Autores.

1.1.3 Cámara

Existe un diverso campo de cámaras digitales usadas en las aplicaciones de visión artificial, se clasifican según flexibilidad de uso y según la dimensión.

1.1.3.1 Flexibilidad

1.1.3.1.1 Sensor de visión

Son cámaras de fácil operación, trabajan sin conexión a una computadora pero sus aplicaciones son muy específicas y limitadas como la obtención de medidas, verificación de caracteres o lecturas de códigos de barras. Además de ser cámaras poco flexibles en cuanto a su configuración no pueden realizar el procesamiento de imágenes. Un ejemplo de este tipo de sistema lo podemos encontrar en la fabricación de piezas metálicas en las cuales la cámara revisa el borde de las mismas en una cinta transportadora eliminando las que no coincidan con el patrón preestablecido.

1.1.3.1.2 Cámara inteligente

La característica principal de estos dispositivos es su flexibilidad ya que estas son programables y no trabajan conectadas a la PC, se acompañan de un procesador, memoria y sistema de comunicaciones con el exterior, y por tanto componen en sí mismas un sistema completo de visión artificial, permitiéndonos así abarcar un gran número de aplicaciones, además de poder trabajar en conjunto con otras cámaras inteligentes un ejemplo de su aplicación es la detección de los agujeros de los chasis de los autos en proceso de ensamblaje⁶.

1.1.3.1.3 Cámara basada en PC

Estas cámaras son totalmente flexibles ya que se pueden trabajar con diferentes lenguajes de programación como C++, .NET, G (lenguaje Gráfico), M, etc., la ventaja

⁶ (INFAIMON, 2013)

de este sistema radica en que la cámara solamente realiza la captura de la imagen y la computadora analiza esta, aprovechando así su poder de procesamiento, este tipo de sistema abarca todo clase de aplicación de visión artificial.

1.1.3.2 Dimensión

La adquisición de las imágenes depende del tipo de estructura del sensor, existiendo así dimensiones: lineales, matriciales y 3D.

1.1.3.2.1 Lineal

Estas cámaras construyen una imagen completa línea a línea, para realizar esta acción se requiere que el objeto o la cámara se encuentren en movimiento su gran ventaja es su tamaño compacto además de reducir la complejidad de la iluminación, permitiendo ubicarla en lugares de espacio reducido⁷.

1.1.3.2.2 Tres Dimensiones

Se genera una imagen 3D es decir un mapa de alturas, esto también se puede realizar con 2 cámaras o con un escaneo láser, permiten hacer medidas de formas en 3D a velocidades superiores a los 30.000 perfiles por segundo. Algunas de estas cámaras puede funcionar en modo *multiscan*, permitiendo de esta forma adquirir diversas características de las imágenes como: forma 3D, y nivel de gris de la imagen simultáneamente. Todas las características del objeto se capturan cuando el producto pasa por debajo de la cámara funcionando de forma lineal y se envían al PC⁸.

1.1.3.2.3 Matricial

En estas cámaras el sensor cubre un área para la toma de la imagen y no requiere movimiento para realizar la captura, son las cámaras más comunes en el mercado y

⁷ (INFAIMON, 2013)

⁸ (INFAIMON, 2013)

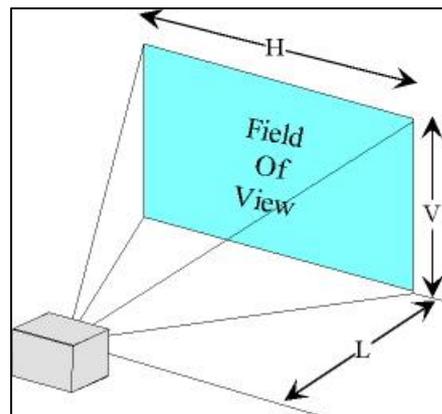
funcionan para todo tipo de aplicación. Basados en dicha información, la cámara que ofrece mayores prestaciones para el diseño es la de tipo matricial, ya que el sistema que adquiere imágenes no necesita un movimiento para adquirir las mismas.

Para seleccionar la cámara y lente que se adapte al tipo de sistema que se diseñará, se debe tomar en cuenta: el campo de visión, la distancia focal, distancia mínima, profundidad de campo y resolución⁹.

1.1.3.2.3.1 Campo de visión

El campo de visión es el área que se puede visualizar digitalmente según distancia entre objeto y cámara dependiendo de la lente que lleva puesto¹⁰.

Figura 1.4 Campo de visión



Fuente: The laser video experience. [En línea]. [06 de noviembre de 2013].

L: Distancia del objeto

V: Altura del objeto

H: Ancho del objeto

FOV (Field of View) = V*H

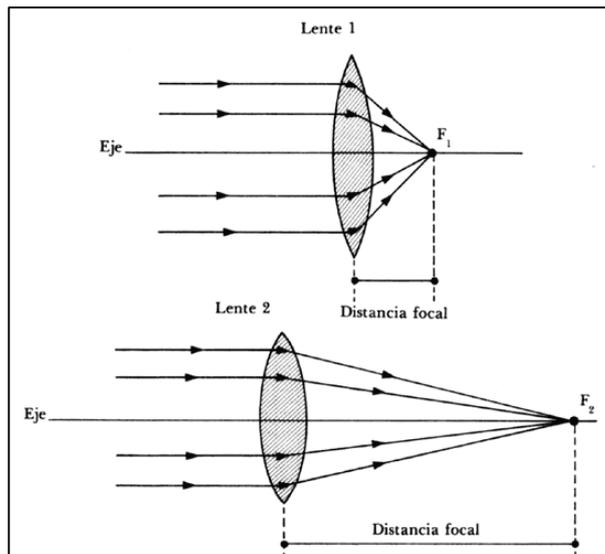
⁹ (INFAIMON, 2013)

¹⁰ (JCEE, 2013)

1.1.3.2.3.2 Distancia focal

Para una lente positiva, la distancia focal es positiva. Se define como la distancia desde el eje central de la lente hasta donde un haz de luz de rayos paralelos colimado que atraviesa la lente se enfoca en un único punto. Si el punto focal está en el sensor de la cámara obtendremos la imagen nítida¹¹.

Figura 1.5 Distancia focal.



Fuente: Colmenarejo Madrid. [En línea]. [06 de noviembre de 2013].

Una longitud focal larga abarca menos campo de visión pero con una elevada resolución y una longitud focal más corta abarca más campo de visión pero con una baja resolución.

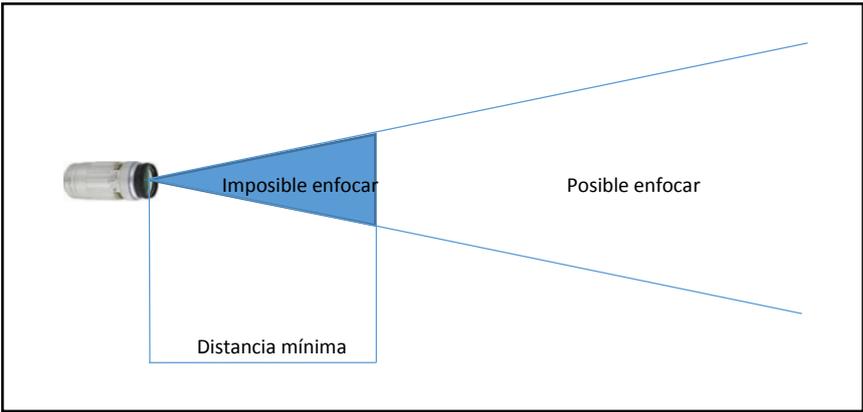
1.1.3.2.3.3 Distancia Mínima

Dependiendo del lente un objeto tiene que estar a una distancia mínima para que la cámara lo pueda focalizar. Lentes con una longitud focal elevada requieren mayor distancia al objeto es decir se tiene una distancia mínima mayor¹².

¹¹ (wikipedia, 2013)

¹² (The web photo, 2013)

Figura 1.6 Distancia mínima de enfoque.

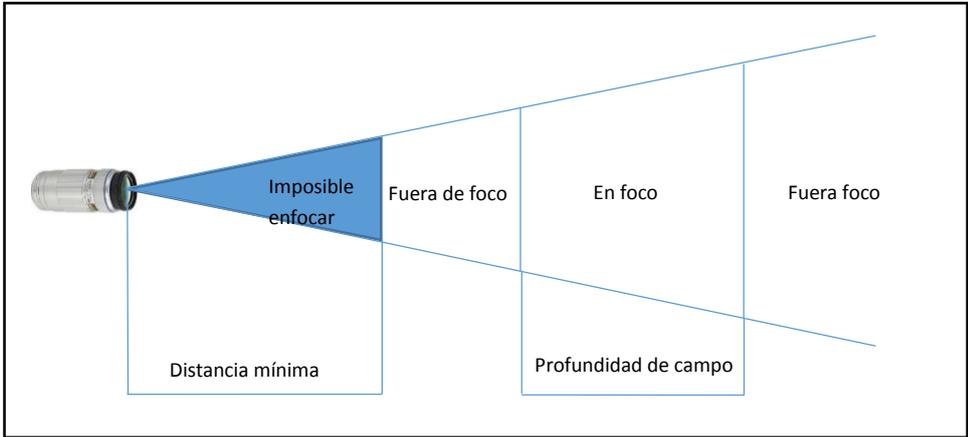


Fuente: Autores.

1.1.3.2.3.4 Profundidad de campo

Se entiende tradicionalmente al espacio por delante y por detrás del plano enfocado, comprendido entre el primer y el último punto aceptablemente nítido reproducidos en el mismo plano de enfoque¹³.

Figura 1.7 Profundidad de enfoque.



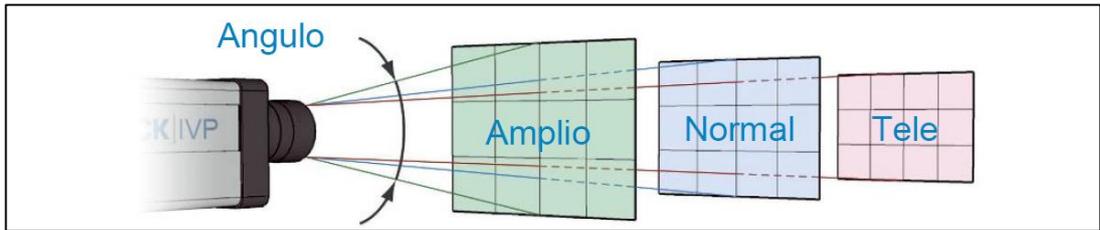
Fuente: Autores.

¹³ (Wikipedia, 2013)

1.1.4 Lente

El ángulo de la lente es el factor que determina cuál es el campo de visión de la cámara, un ángulo amplio con distancia focal corta, captura un campo más grande que el ángulo normal y un ángulo pequeño con longitud focal larga captura menos campo¹⁴.

Figura 1.8 Ángulo del lente.

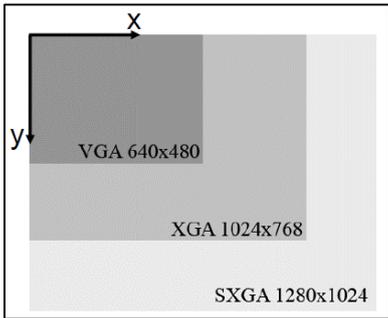


Fuente: JCEE [En línea]. [6 de noviembre de 2013].

1.1.4.1 Resolución 2D

La resolución de una imagen indica cuánto detalle puede observarse en esta, la resolución de la imagen obtenida depende de la resolución del sensor de la cámara es decir la altura del sensor (y) y anchura (x) en pixeles.

Figura 1.9 Tamaño de sensores.

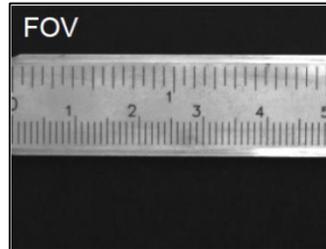


Fuente: JCEE. [En línea]. [6 de noviembre de 2013].

¹⁴ (Wikipedia, 2013)

Para calcular la resolución de una imagen necesitamos saber las dimensiones del FOV, en este caso de 50mm. La imagen fue capturada con un lente VGA de 640x480¹⁵.

Figura1.10 Campo de visión para cálculo.



Fuente: JCEE. [En línea]. [6 de noviembre de 2013].

$$\text{Resolución} = \frac{50\text{mm}}{640 \text{ pixeles}} = 0.08 \frac{\text{mm}}{\text{pixel}} \text{ de anchura}$$

1.1.5 Tarjeta de adquisición de imagen

Un aspecto fundamental dentro de los sistemas de visión artificial es la tarjeta que se encargará de la captura de la imagen. En el mercado existe una gran variedad de este tipo de tarjetas, con un sin número de características diferentes, a continuación se enumera las más importantes:

1.1.5.1 Tipo de entrada de video.

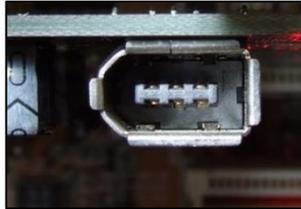
El sistema de visión artificial debe admitir la salida de video de la cámara, ya sea digital compuesta o RGB, en el mercado existen tarjetas que permiten varios tipos de entradas, siendo muy conveniente para la utilización de varias cámaras en un sistema de visión artificial como por ejemplo para crear un sistema de visión 3D. Las más utilizadas son:

¹⁵ (Wikipedia, 2013)

1.1.5.1.1 IEEE 1394b

También conocido como FireWire ofrece una velocidad de 800Mbit/s (100MB/s), se usa en sistemas basados en PC¹⁶.

Figura 1.11 Conector Firewire.



Fuente: Wikipedia. [En línea]. [18 de noviembre de 2013].

1.1.5.1.2 GigE Vision

GigE Vision ofrece longitudes de cable hasta 100 m, con velocidades de hasta 1Gbit/s (125MB/s) esta basado en el protocolo estándar de internet, lo que quiere decir que pueden ser conectadas en red¹⁷.

Figura 1.12 Cámara con conexión GigE.



Fuente: Adept Turnkey. [En línea]. [18 de noviembre de 2013].

1.1.5.1.3 Camera Link

Ofrece tiempos mínimos de demora y fluctuación para aplicaciones que requieren temporización estricta con velocidades de hasta 6.8Gbits/s (850 MB/s)¹⁸.

¹⁶ (Wikipedia, 2013)

¹⁷ (Wikipedia, 2013)

¹⁸ (Wikipedia, 2013)

Figura 1.13 Cámara con estándar camera link.



Fuente: Point Grey. [En línea]. [18 de noviembre de 2013]

1.1.5.1.4 USB2 Vision

Se usa para cámara con resoluciones menores, es de implementación sencilla en puertos USB 2.0 estándar, alcanza velocidades de 480Mbit/s (60MB/s)¹⁹.

Figura 1.14 Cámara con conexión USB 2.0.



Fuente: Vision Doctor. [En línea]. [18 de noviembre de 2013].

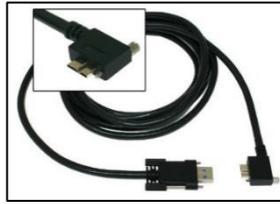
1.1.5.1.5 USB3 Vision

Es de fácil implementación ya que usa un Puerto USB 3.0 standard. La alimentación de las cámaras y los datos recorren el mismo cable, alcanza velocidades de 4.8Gbits/s²⁰.

¹⁹ (Wikipedia, 2013)

²⁰ (Wikipedia, 2013)

Figura 1.15 Cable para cámaras con estándar USB 3.0.



Fuente: Framos. [En línea]. [18 de noviembre de 2013].

1.1.5.2 Memoria en la tarjeta y controlador propio de DMA

En el mercado existen tarjetas que usan la memoria del ordenador para almacenar las imágenes, mientras que otras disponen de memoria propia.

Las tarjetas que usan la memoria del computador son más económicas pero tienen algunos inconvenientes como: el uso de la memoria del ordenador puede producir conflictos con el sistema operativo de este, además al momento de su funcionamiento la memoria que usa las imágenes reduce la memoria que puede usar el ordenador para otras aplicaciones.

Por otro lado las que tienen memoria propia tienen un sistema de control DMA que permite a cierto tipo de componentes de una computadora acceder a la memoria del sistema para leer o escribir independientemente de la unidad central de procesamiento lo que se traduce en mayor memoria para otros procesos del ordenador, pero en estos sistemas todo el tiempo que el CPU gasta en la transferencia de las imágenes a la memoria supone capacidad que perdemos para otros procesos²¹.

1.1.5.3 Entradas y salidas de sincronismo

Es fundamental que las tarjetas de video permitan el control de las señales de sincronismo de las cámaras, sobre todo cuando se va a realizar la adquisición mediante varias cámaras.

²¹ (Wikipedia, 2013)

1.1.5.4 Uso de entradas o salidas digitales

Las tarjetas de visión constan con una entrada digital que permitan realizar un disparo cuando se produce un evento externo como por ejemplo en un proceso de verificación de botellas cuando una activa el sensor, indicando que se encuentra en la posición debida, la cámara se dispara tomando solamente la imagen necesaria.

1.1.6 Software de programación y visualización

La elección del software a utilizar en los sistemas de visión artificial es tan importante como la elección del hardware, los programas de visión artificial están formados por un entorno visual de pruebas, procesado y estudio; lenguajes de programación y librerías de desarrollo, cuanto más completa se la librería de desarrollo, más fácilmente se puede solucionar los problemas que vayan surgiendo, uno de los programas más versátiles para el trabajo de sistemas de visión artificial es: **LabVIEW** (*Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench*).

LabVIEW es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico. Recomendado para sistemas hardware y software de pruebas, control y diseño, simulado o real y embebido, pues acelera la productividad. El lenguaje que usa se llama lenguaje G, donde la G simboliza que es lenguaje Gráfico²².

1.1.6.1 NI-IMAQ

Es un controlador que permite configurar cualquier dispositivo de imágenes *DirectShow* y adquirir imágenes en LabVIEW, los dispositivos que admiten esta función incluyen cámaras USB, webcams, microscopios, escáneres y muchos productos de imagen a nivel del consumidor. Con NI- IMAQ se puede: Adquirir imágenes desde cualquier dispositivo USB con soporte *DirectShow*, *One - Shot* o modos de adquisición de imágenes continuas, seleccionar mediante programación los modos de vídeo, Adquirir directamente en el asistente de visión para facilitar la

²² (Wikipedia, 2013)

creación de prototipos de aplicaciones y Utilizar el USB VI Express para adquirir imágenes rápidamente²³.

1.1.6.2 Vision Development

Es un grupo de herramientas de LabVIEW para analizar imágenes con la ayuda de funciones de procesamiento de imágenes, incluyendo filtros, morfología binaria, coincidencia de patrones e inspección de color²⁴.

1.1.7 Sistema de iluminación

El sistema de iluminación es un factor al momento de diseñar y construir un sistema que emplea visión artificial. Puesto que la calidad de las imágenes que se adquieren tiene que ser lo suficientemente alta para que se pueda realizar el procesamiento de la misma y obtener la información necesaria.

Puesto que al emplear un correcto sistema de iluminación el proceso de tratamiento de la imagen mediante software se realizará de forma más rápida y eficiente, ya que la imagen original tendrá mejores características. Convirtiéndose así en un factor crítico al momento de captar las imágenes, ya que la implementación del mismo dependerá de las condiciones lumínicas del lugar, la superficie que se captura, la velocidad, el tipo de cámara, etc²⁵.

1.1.7.1 Tipos de lámparas

Actualmente existen en el mercado diferentes tipos de iluminación, con características específicas que se adecuan al tipo de proyecto en el que se pretende implementar. Entre las más empleadas tenemos: mediante fibra óptica, led, fluorescente y láser.

²³ (LabVIEW, 2013)

²⁴ (LabVIEW, 2013)

²⁵ (Eitudela, 2013)

1.1.7.1.1 Lámparas de fibra óptica

Empleadas en zonas de difícil acceso y que requieran iluminación constante.

Figura 1.16 Lámpara de fibra óptica.



Fuente: INFAIMON. [En línea]. [6 de noviembre de 2013].

1.1.7.1.2 Lámparas fluorescentes

Utilizadas en ambientes que requieren mucha luz, por lo que proporcionan luz brillante sin sombras, tienen mayor vida útil. Entre las principales aplicaciones: robótica, control de calidad, fotografía, embalaje, etc.

Figura 1.17 Lámparas fluorescentes.



Fuente: FERRECASA. [En línea]. [6 de noviembre de 2013].

1.1.7.1.3 Lámparas láser

Empleado en superficies irregulares que requieren un control estructurado. La principal desventaja es que no tiene un buen comportamiento respecto a las superficies que absorben luz.

Figura 1.18 Lámparas láser.



Fuente: Heraeus-Noblelight, [En línea]. [6 de noviembre de 2013].

1.1.7.1.4 Lámparas led

La luz proporcionada es difusa, se puede aplicar en forma directa o en forma de anillo. Además que es de bajo consumo, óptica sencilla y fácil de acoplar a un dispositivo.

Figura 1.19 Lámpara led.



Fuente: Direct Insdustry. [En línea]. [6 de noviembre de 2013].

1.1.7.2 Técnicas de Iluminación

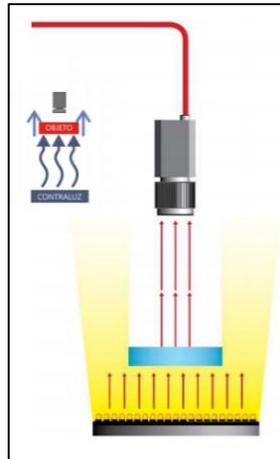
Existen diversas técnicas de iluminación que se emplean dependiendo del tipo de objeto que se va a iluminar, de forma que se contrarresten brillos y resalten aspectos del objeto a estudiar. Entre las técnicas de iluminación más destacadas tenemos: difusa, frontal, lateral, campo oscura, domo²⁶.

²⁶ (INFO PLC, 2013)

1.1.7.2.1 Iluminación difusa

Es el tipo de iluminación empleada cuando se trata de visualizar bordes de objetos, impurezas del material, convirtiéndose así en objetos que se puedan apoyar sobre una superficie transparente. El principal inconveniente de este tipo de iluminación es la poca precisión al momento de realizar la revisión de códigos, etiquetas e inscripciones en la superficie. El objeto se encuentra ubicado entre la cámara y la lámpara.

Figura 1.20 Iluminación difusa.

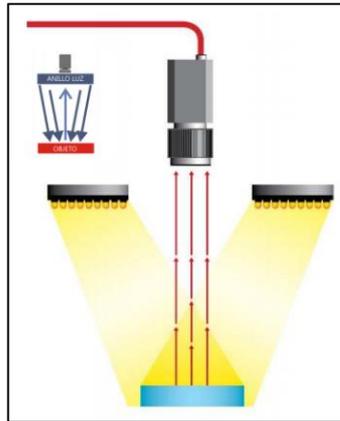


Fuente: INFO PLC. [En línea]. [6 de noviembre de 2013].

1.1.7.2.2 Iluminación frontal

El objeto se ubica bajo la lámpara, haciendo que la luz se refleje directamente sobre el objeto y a su vez este se refleje directamente en la cámara. Reduciendo las sombras, suavizando las texturas y minimizando la influencia de rayas, polvo e imperfecciones del objeto. Generalmente se emplea para iluminar superficies con poca reflexión.

Figura 1.21 Iluminación frontal.

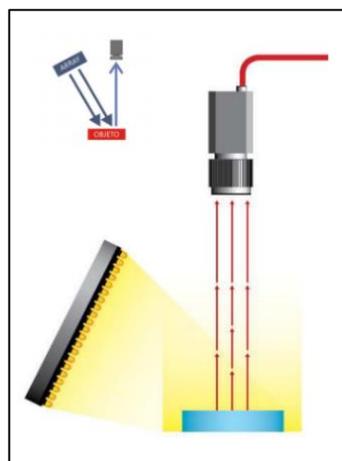


Fuente: INFO PLC. [En línea]. [6 de noviembre de 2013].

1.1.7.2.3 Iluminación lateral

La iluminación se proporciona desde la parte lateral del objeto, puede tener una inclinación determinada y limitada, dependiendo de la superficie que se desee resaltar. Es apropiada para resaltar bordes y rayas en cierta zona, pero sus limitaciones radican en el corto rango de grados que puede inclinarse respecto a la horizontal sin que este produzca sombras en la pieza.

Figura 1.22 Iluminación lateral.

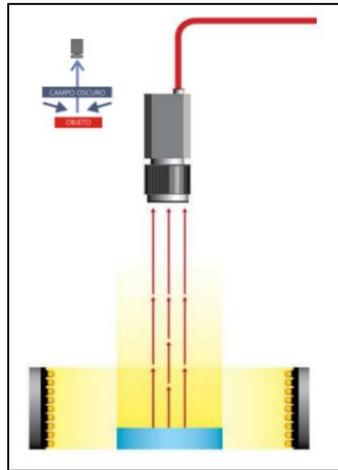


Fuente: INFO PLC. [En línea]. [6 de noviembre de 2013].

1.1.7.2.4 Iluminación por campo oscuro

La luz se produce lateralmente con un ángulo muy pequeño mediante, rebota en los defectos del objeto a analizar. Usada generalmente para resaltar incrustaciones y códigos alfanuméricos con poco contraste en metal o gris. Muy utilizada en la verificación de grabados tipo láser o troquel. No es recomendable en superficies que absorban la luz.

Figura 1.23 Iluminación por campo oscuro.

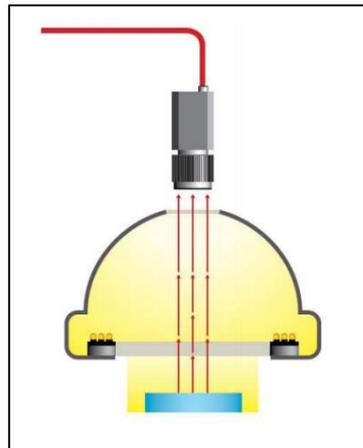


Fuente: INFO PLC. [En línea]. [6 de noviembre de 2013].

1.1.7.2.5 Iluminación por domo

La luz es emitida dentro de una cúpula esférica resultando una luz difusa desde todas direcciones, eliminando sombras y reflejos, suavizando texturas y minimizando la influencia de rayas, polvo, relieves y curvaturas que pueda tener el objeto inspeccionado. Su mayor ventaja es que no produce sombras en ningún objeto, pero su costo es elevado.

Figura 1.24 Iluminación por domo.



Fuente: INFO PLC. [En línea]. [6 de noviembre de 2013].

1.2 Máquina CNC

Una máquina CNC es una máquina herramienta controlada a través de números y letras, configurados para generar el movimiento. Dichos datos son insertados y almacenados en alguna forma de medio de entrada, y automáticamente leídos y decodificados para provocar el movimiento correspondiente. Al realizar este tipo de control se logra el posicionamiento de la herramienta desde un punto a otro dentro de un sistema coordinado²⁷.

Debido al surgimiento de los problemas y exigencias de la industria actual, el uso de máquinas CNC se ha extendido, ya que mediante su utilización se puede lograr:

- Mayor exigencia en la precisión de los mecanizados.
- Diseños evolucionados y complejos.
- Diversidad de productos.
- Reducción de errores en la producción.
- Tiempos de producción menores.

²⁷ (Bergen County Academies, 2013)

1.2.1 Funcionamiento

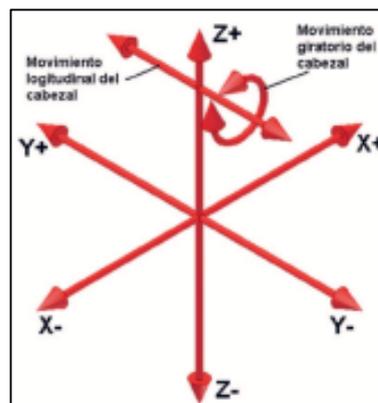
Las máquinas herramientas de control numérico (MHCN) aplican el concepto de eje, a las direcciones de los diferentes desplazamientos de las partes móviles de la máquina. Los desplazamientos a lo largo de los ejes son controlados mediante la transmisión y recepción de códigos que indican el eje y la dirección. Generalmente el código está compuesto por una letra normalizada que indica el eje en que se realizará el desplazamiento y un signo “+” o “-”, dependiendo de la dirección.

El número de ejes con los que trabajara la MHCN depende de la función para la que está diseñada, siendo dos el número mínimo de ejes con el que se puede trabajar. Ya que al utilizar interpolación entre los ejes se pueden realizar diferentes tipos de trayectorias²⁸.

1.2.1.1 Ejes principales

Los ejes principales se denotan con las letras X, Y y Z. dependiendo del número de ejes que contiene la MHCN. Generalmente los ejes X y Y están asociados al movimiento en el eje plano de la mesa de trabajo y el eje Z al movimiento vertical de la máquina.

Figura 1.25 Ejes principales.



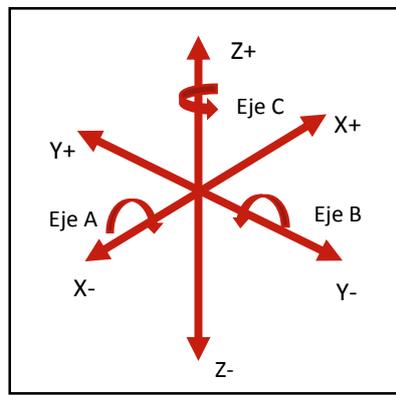
Fuente: Francisco Cruz Teruel. Control Numérico y programación. [14 de noviembre de 2013]

²⁸ (Teruel, 2013)

1.2.1.2 Ejes complementarios

Ciertas máquinas necesitan realizar movimientos adicionales, como mesas giratorias o cabezales rotatorios y en base a los ejes principales, existen ejes complementarios que se denotan con las letras A, B y C. estos movimientos generalmente son movimientos circulares de los ejes principales que se miden en grados y se controlan su velocidad y posición al igual que los ejes principales de manera autónoma.

Figura 1.26 Ejes complementarios.



Fuente: Autores

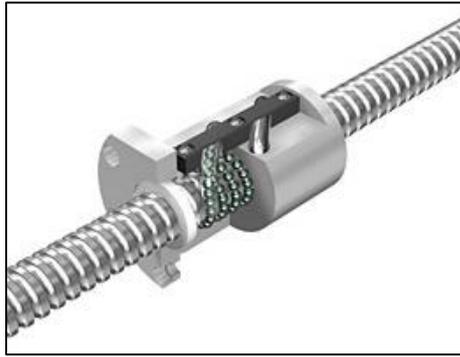
1.2.2 Sistema de transmisión

Los desplazamientos que realiza la máquina por la acción única o combinada de cada uno de sus ejes se generan a partir del grupo motor-reductor.

1.2.2.1 Transmisión

En una máquina CNC para la transmisión del movimiento a la herramienta se requiere de un sistema tuerca tornillo de poco desgaste y que necesite poca potencia para moverse. Ya que de este resultará el movimiento en los ejes a partir de los motores.

Figura 1.27 Husillo con bolas.



Fuente: THK. [En línea]. [19 de noviembre de 2013].

El movimiento en este tipo de máquinas es generado por un husillo con bolas que aplica el principio de recirculación de bolas, que consiste en un tornillo sin fin y un acoplamiento al que se fija el dispositivo que se desplazará. Cuando el motor gira el movimiento se transmite al tornillo sin fin y este desplaza a su vez el acoplamiento en forma longitudinal, el mismo que moverá consigo el cuerpo que se fijó a él. Tanto el tornillo como la tuerca están diseñados de forma que crean una cavidad por donde recirculan las bolas al momento de que se realiza el movimiento, lo que permite que este se realice con la menor resistencia y mayor exactitud²⁹.

Figura 1.28 Conexión motor – tornillo sin fin.



Fuente: Autores

²⁹ (Loayza, 2013)

1.2.2.2 Motores de transmisión

Los movimientos a lo largo de los ejes en la máquina se realizan generalmente a través de motores de corriente continua. Puesto que se pueden controlar su velocidad y sentido de giro mediante señales eléctricas, además que los movimientos generados sean estables regulares y que tengan rápida respuesta a desaceleraciones.

Existen diferentes tipos de motores empleados para este tipo de aplicaciones, entre los más destacados encontramos:

- Motores paso a paso
- Servomotores
- Motores lineales

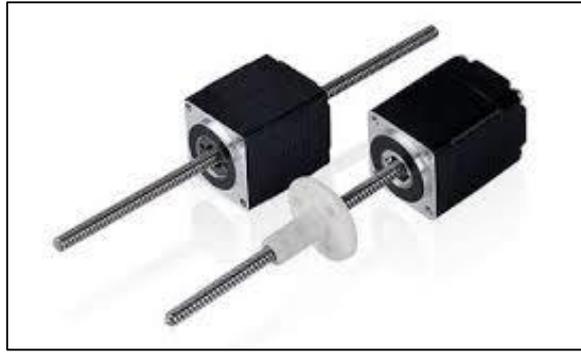
1.2.2.2.1 Motores paso a paso

Los motores de paso son motores rápidos de gran precisión pero con par motor de baja potencia y funcionan con corriente continua. Estos motores funcionan mediante pulsos generados por un microcontrolador; por cada pulso avanza un paso, cada paso puede variar entre 90° y $1/8^\circ$. Al momento de realizar el movimiento, inicialmente la distancia indicada tiene que convertirse en pulsos, los mismos que tienen que ser contabilizados y enviados al motor por un sistema de control y así finalmente lograr el movimiento del tornillo tantos paso como se indicó al inicio³⁰.

Dependiendo de si una de sus bobinas esta energizada o no estos motores pueden quedar enclavados o no respectivamente.

³⁰ (Ochoa Luna & Hernandez Bello, 2013)

Figura 1.29 Motores paso a paso.

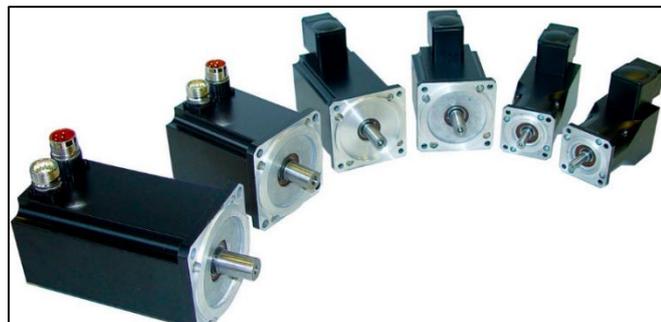


Fuente: Hybridstepper-motors. [En línea]. [19 de noviembre de 2013].

1.2.2.2.2 Servomotores

Debido a su alta potencia y par motor de funcionamiento son los utilizados mas a menudo, ya que permite trabajar a pocas revoluciones con cargas elevadas. El funcionamiento es similar al de un motor de corriente alterna, pero este tipo de motor cuenta con un enconder que se encarga de realizar el control del número de vueltas y enviar datos para un registro exacto del funcionamiento³¹.

Figura 1.30 Servomotores.



Fuente: Direct industry. [En línea]. [19 de noviembre de 2013]

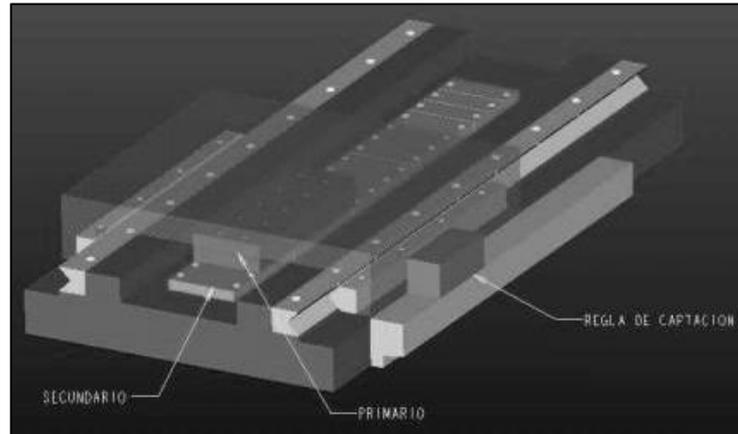
1.2.2.2.3 Motores Lineales

Son motores diseñados de tal forma que generen una fuerza líneal a diferencia de los motores convecionales que generar un movimiento rotacional. Cuentan con un

³¹ (Teruel, 2013)

elemento primario donde se encuentran los devanados y un elemento secundario que se ubica a lo largo de la distancia que se puede recorrer. Una ventaja de este tipo de motor es que se puede adicionar elementos primarios. Debido a que son motores reactivamente nuevos brindan mayores aceleraciones lo que implica reducción considerable del tiempo de ejecución de trabajos³².

Figura 1.31 Motor lineal.



Fuente: Interempres. [En línea]. [19 de noviembre de 2013].

³² (Sabalza & Uribe, 2013)

CAPÍTULO II

ESTUDIO DEL CONTROL DEL MECANISMO DE EXPLORACIÓN DE LAS TARJETAS ELECTRÓNICAS

Para diseñar la máquina prototipo propuesta, se inició a partir de una máquina Quick Circuit AMC 2500, la misma que sirvió como base para el desarrollo del sistema de control y comunicación del sistema que se propuso realizar. La máquina se empleaba como una CNC para la realización del labrado de pistas en placas de cobre, como parte del proceso de elaboración de PCBs.

A medida que se realizaba el estudio de la placa base del sistema anteriormente usado, se analizaba las opciones que podían ser aplicadas y que se acoplen al tipo de máquina que se realizaría. Además de buscar la manera de convertirla en un sistema robusto y eficiente, que pueda acoplar nuevos sistemas según los requerimientos de operación. Luego del análisis de la placa base de la máquina CNC y basados en los métodos idóneos para aplicar al nuevo sistema, se optó por realizar un nuevo sistema de control y comunicación que se acople a la placa base mediante conexiones adicionales, que a la par se diseñaron para hacer uso del sistema de potencia con el que contaba la CNC.

Ya que el sistema de control de la máquina CNC se realizaba mediante un software propio de los desarrolladores de la máquina. Se propuso realizar un sistema de control que funcione de forma autónoma y que pueda ser fácilmente operado por los usuarios. Todas las modificaciones y conexiones que se realizaron en esta etapa estuvieron basados en los conocimientos y técnicas que son de conocimiento de los autores y que se pudieron adaptar al tipo de sistema con el que se contaba anteriormente.

2.1 Máquina CNC

Basados en el controlador Quick Circuit AMC 2500, originalmente de una máquina CNC empleada para realizar las pistas de cobre de los PCBs. Se contaba inicialmente con una máquina compuesta por un sistema de control que realiza el desplazamiento de la herramienta a lo largo del área de trabajo; el mismo que se comunicaba a través de un sistema de comunicación con una PC, la misma que se encargaba de enviar y recibir comandos codificados para la realizar los movimientos configurados.

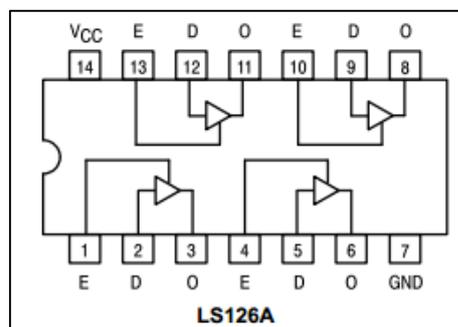
2.1.1 Sistema de Control

El Sistema de Control funciona en base a procesos que se realizaba a partir de un microcontrolador, el mismo que procesaba las órdenes y se enviaban a los componentes restantes del sistema. (Figura 2.2).

Las memorias RAM y EPROM almacenaban órdenes, códigos de programa y comunicación. Los que permitían que la máquina realice las instrucciones de inicialización, desplazamiento y labrado de pistas, dependiendo de las instrucciones que previamente se habían ingresado a través del software.

El buffer de 3 estados (74LS126), era la memoria que almacenaba el pulso de dirección de los motores se enviaba desde el microcontrolador. El pulso de dirección era controlado en base a la lógica de funcionamiento del integrado (Figura 2.1).

Figura 2.1 Esquema eléctrico 74LS126



Fuente: Datasheet catalog 74ls126. [En línea]. [31 marzo de 2014].

Tabla 2-1. Estado lógicos 74LS126

Input E	Input D	Output
HIGH	LOW	LOW
HIGH	HIGH	HIGH

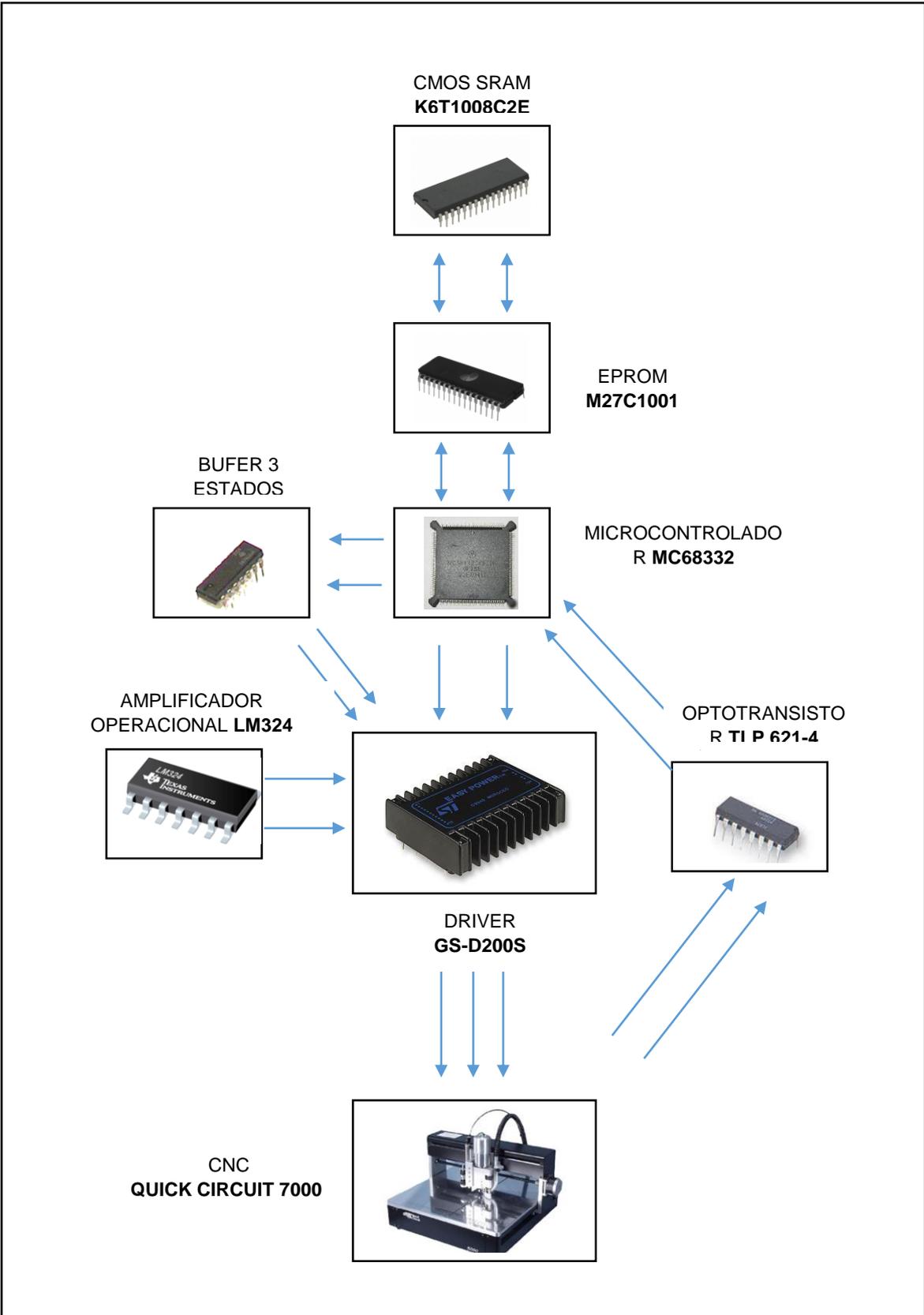
Fuente: Autores.

Los estados lógicos del 74LS126 se controlaban en base a las combinaciones de los valores existentes en las entradas E y D respectivamente.

El amplificador operacional (LM324), con su configuración de fuente de corriente proporciona la corriente límite se suministra a los drivers y motores paso a paso.

El opto transistor (TLP 621-4), es el dispositivo que recibe las señales de los fin carrera de la máquina CNC y los envía al microcontrolador. Además de funcionar como un componente que aísla el ruido y sobrecarga. Ya que los fin carrera son componentes mecánicos, que por su uso prolongado tienden a generar fallas que afectan al normal funcionamiento del sistema.

Figura 2.2 Diagrama de funcionamiento del sistema de control.

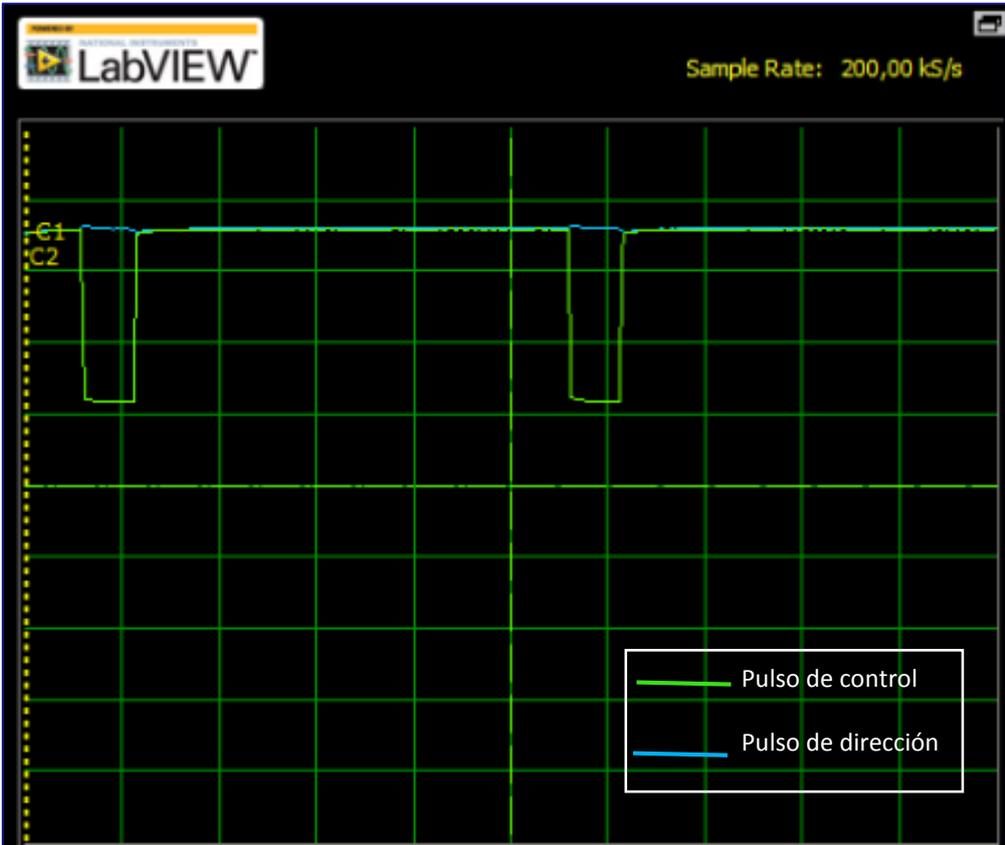


Fuente: Autores.

Otro componente principal del sistema de control es el driver (GS-D200s). Este recibe la señal de PWM desde el microcontrolador (figura 2.3 a, b), cada pulso alto se traduce en un paso del motor, conjuntamente se recibe la señal de dirección del buffer de 3 estados (74LS126), para controlar la dirección del paso.

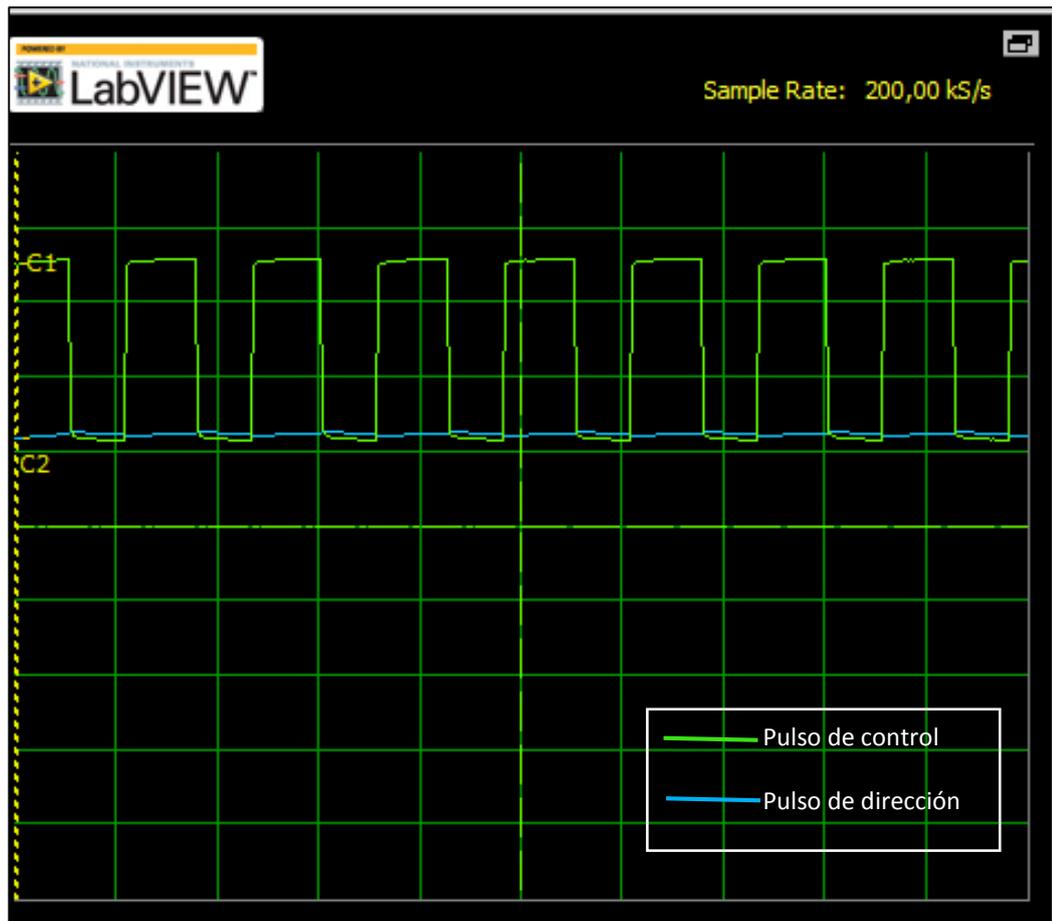
El driver permite que se configure el tipo de paso del motor con cada pulso, en este caso esta desconectado lo que se refleja en medio paso por pulso. El driver cuenta con un sistema de limitación de corriente para los motores, el cual es comandado por el amplificador operacional (LM324) en configuración de fuente de corriente; la corriente que es entregada es la corriente máxima entregada a cada motor.

Figura 2.3a. Pulsos de control adquirido en el driver.



Fuente: Autores.

Figura 2.3b. Pulsos de control adquiridos en el driver.



Fuente: Autores.

2.1.2 Driver

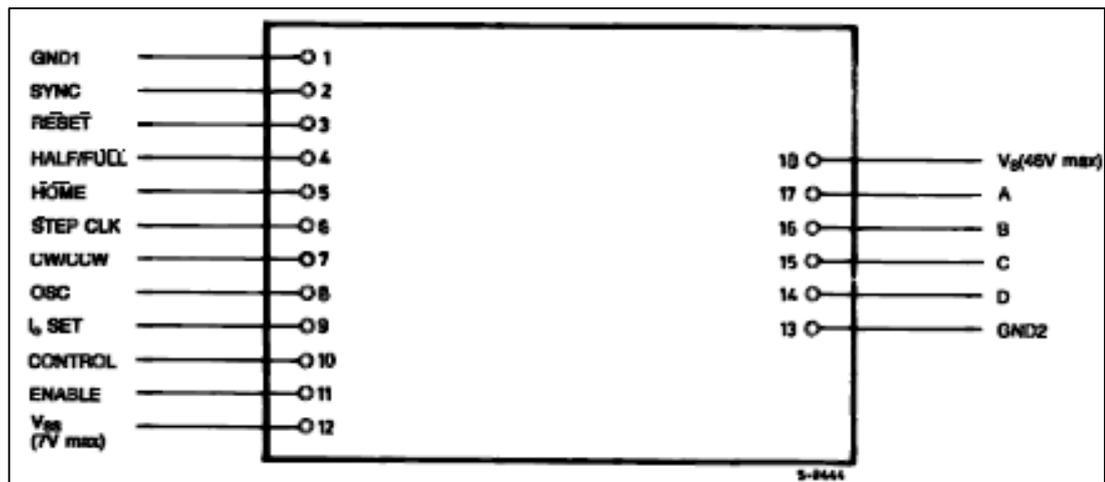
El driver GS-D200S es un módulo de interface directa entre un microcontrolador y un motor a pasos bipolar. Este driver permite el control de varios parámetros como la selección de paso, limitación de corriente de cada fase de los motores, dirección y sincronización entre varios motores.

Descripción de los pines conectados de la figura 2.4

- Pin 1 GND. Tierra
- Pin 2 SYNC. Sincronización entre drivers
- Pin 6 STEP CLOCK. Señal de reloj (pulso cuadrado , 80% ciclo útil)
- Pin7 CW/CCW. Pulso de dirección (alto-izquierda, bajo-derecha)

- Pin 8 OSC. Conectado a tierra
- Pin 9 I_o SET. Señal de fuente de corriente (LM324)
- Pin 12 VSS. Alimentación 5VDC
- Pin 13 GND. Tierra
- Pines 14-17 Conexión de motor
- Pin 18 VS. Alimentación para motores de 48 VDC

Figura 2.4 Diagrama de pines del driver GS-D200S.



Fuente: Datasheet catalog GS-D200S. [En línea]. [22 marzo de 2014].

2.1.3 Sistema de Comunicación

La máquina contaba con un sistema de comunicación en base a un puerto serial que permitía el envío y recepción de información codificada para inicializar y desplazar la herramienta de tallado a lo largo del área de trabajo. La información que la máquina recibía eran comandos con un encabezado y cola codificados, los cuales eran interpretados y ejecutados por el microcontrolador.

Para realizar los movimientos la máquina recibía los siguientes comandos:

- INICIALIZATE
- TOOL CHANGE
- MATERIAL CHANGE
- MACHINE JOG; X+, X-, Y+, Y-
- HOME

- HEAD DOWN

Los comandos eran recibidos por el puerto serial que emplea la interfaz RS-232, la misma que se integra al circuito diseñado a partir del integrado MAX232 como se puede observar en la figura 2.5.

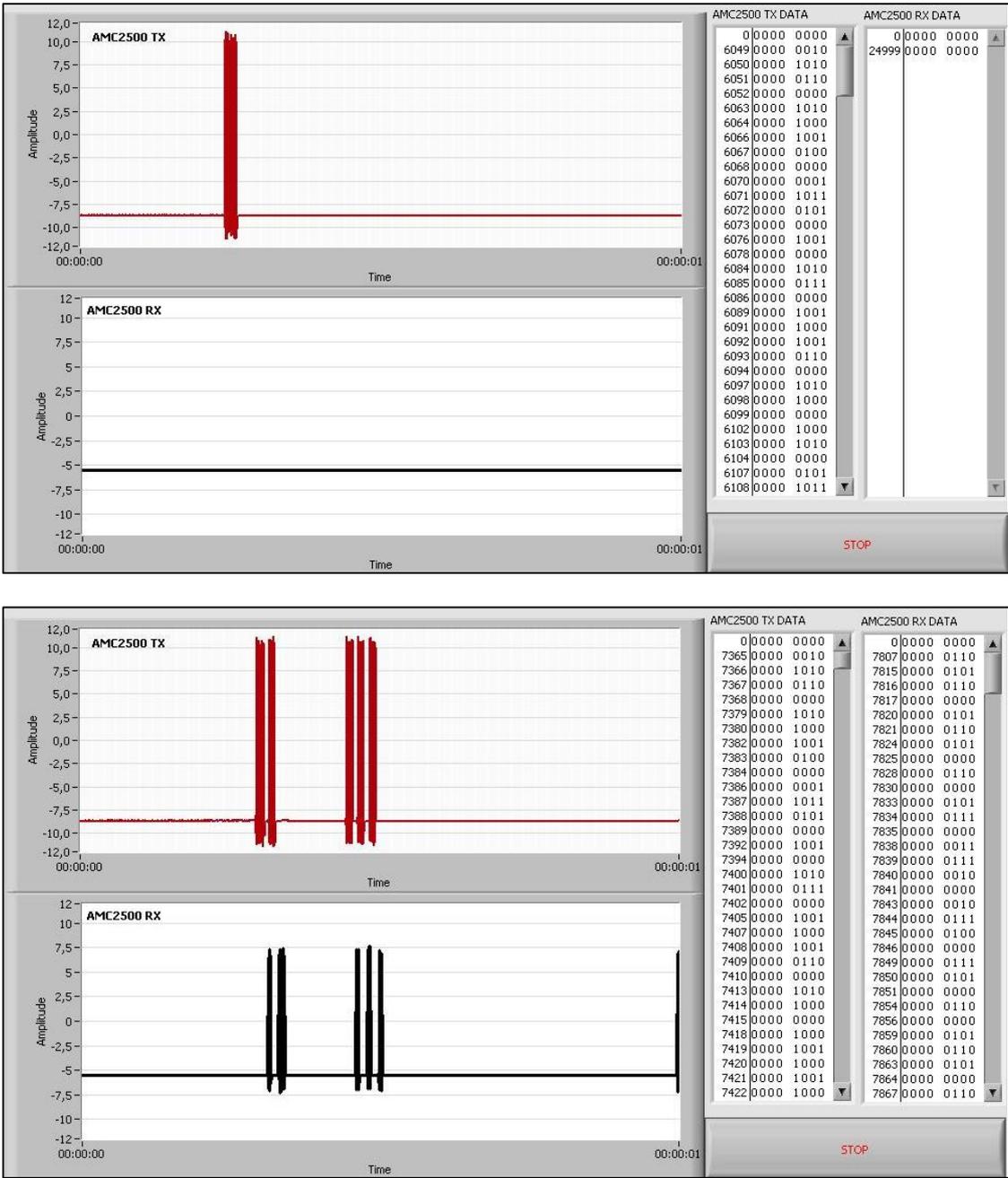
Figura 2.5 Interface RS-232.



Fuente: Autores

Por otra parte, mientras la máquina ejecutaba su desplazamiento a lo largo del área de trabajo, tallando las pistas de acuerdo al diseño realizado mediante el software, se capturó los comandos mediante una tarjeta de adquisición digital, empleando un conector diseñado para comunicar los pines de entrada y salida del MAX232 con la tarjeta de adquisición. Los datos que se obtuvieron en los procesos de transmisión y recepción fueron múltiples y a altas velocidades, lo que hizo que la interpretación de los mismos sea compleja tal como se muestra en la figura 2.6

Figura 2.6 Adquisición de datos, sistema de comunicación.



Fuente Autores.

2.1.4 Alimentación

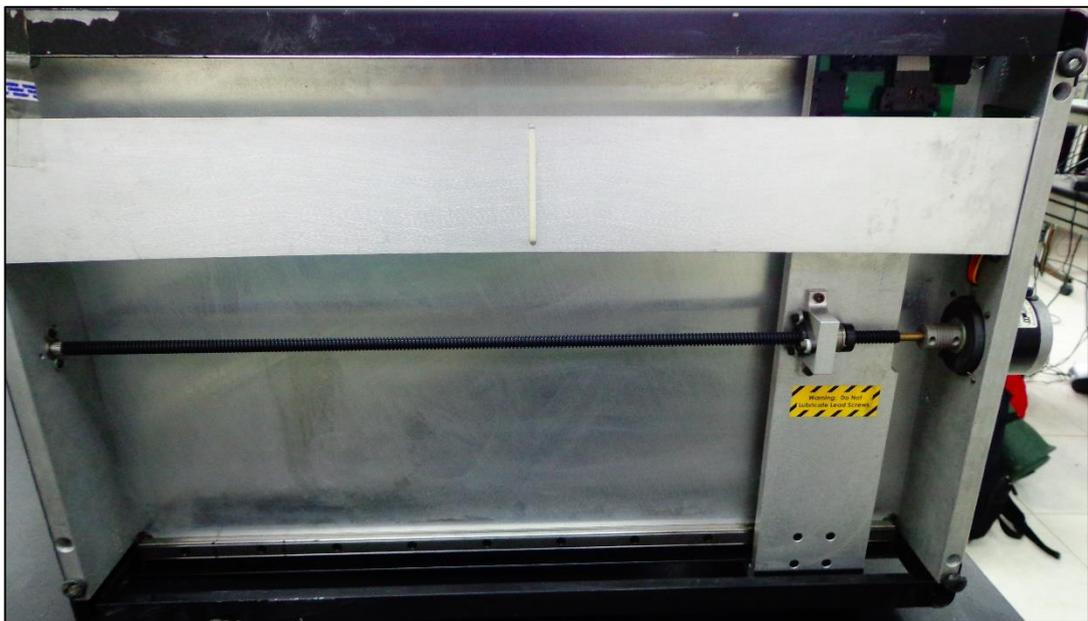
La fuente de voltaje que alimenta a la máquina tiene las siguientes características: salidas de voltaje de 36 voltios DC y 4.2 amperios que alimentan a los drivers de los motores a pasos, 5 voltios DC que alimentan la placa de control.

2.1.5 Mecanismo

La máquina Quick Circuit AMC2500 es un mecanismo que permite el movimiento en 2 ejes de una herramienta sobre un área de trabajo. Estos movimientos son los que nos permitirán explorar las tarjetas electrónicas en toda su extensión, colocando la cámara en el mismo lugar en el que se encuentra la herramienta de trabajo para aprovechar la máxima eficiencia del movimiento de la máquina.

El mecanismo se traslada sobre rieles, impulsado por dos motores a pasos que están sujetos a los tornillos sin fin como se observa en la figura 2.7.

Figura 2.7 Acople de motor y tornillo sin fin.



Fuente Autores.

Los motores a pasos con los que cuenta la máquina son bipolares, de 2.25 voltios, de 1.5 ohmios por bobina, de 1.5 amperios y 1.8 grados por paso es decir 200 pasos por revolución.

2.2 Emulación del sistema estudiado

Para replicar el sistema de control y comunicación de la manera más eficiente se han tomado en cuenta varias consideraciones que se han obtenido realizando el estudio del sistema original.

Se utilizará la mayoría de los componentes originales para replicar el sistema de control ya que el diseño de la placa nos lo permite, además de optimizar espacio, energía y recursos. Las memorias RAM, EPROM, y el microcontrolador serán retirados para evitar conflictos de comunicación entre protocolos y así permitirá actuar en un nivel más bajo en el control y comunicación.

Se utilizará el mismo puerto de comunicaciones y del control de la máquina CNC para evitar molestos procesos de adaptación de un nuevo puerto y defectos estructurales en el controlador.

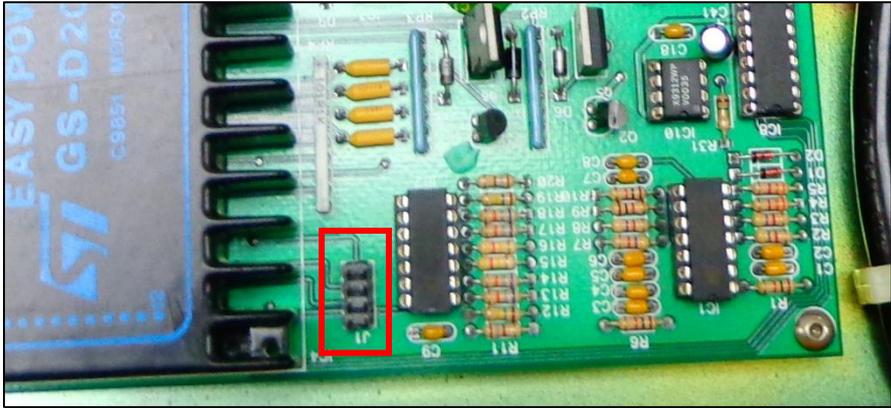
Se creará un dispositivo que funcione como interface entre el controlador y la computadora, este dispositivo será capaz de conectarse a la salida TX y RX del puerto serial como se observa en la figura 2.7, a la entrada de control de los drivers como se observa en la figura 2.8 y a la salida de la señal de los fin carrera de la máquina como se observa en la figura 2.9 para así permitirnos controlar en absoluto todos los movimientos de la máquina y sus sensores.

Figura 2.8 Conector de transmisión y recepción.



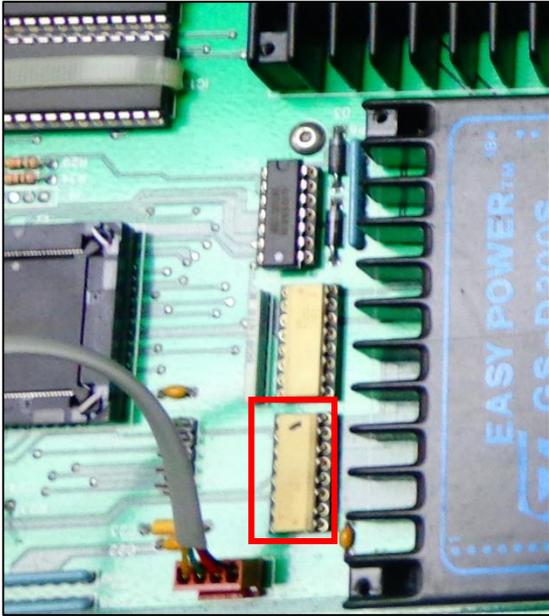
Fuente Autores.

Figura 2.9 Conector de control de drivers.



Fuente Autores.

Figura 2.10 Conector adquisición de señal de fin carreras.



Fuente Autores.

CAPÍTULO III

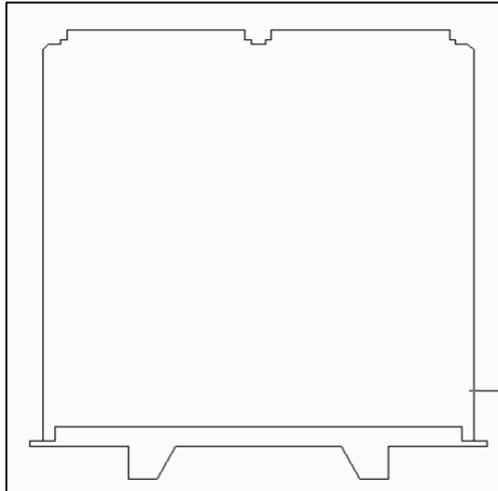
ESTUDIO DEL MÉTODO DE ADQUISICIÓN DE IMÁGENES

Al momento de hablar de un sistema de adquisición de imágenes, un factor importante son los objetos que van a ser revisados, es por esto que se propone realizar un análisis detallado de las tarjetas electrónicas, basándose en la forma, variedad y densidad de componentes. Además del estudio de la forma de adquisición y tratamiento de la imágenes obtenidas, partiendo del *toolkit* de *Vision and Motion* que ofrece LabVIEW. Así mismo acorde con las características de los elementos que van a participar en los procesos de adquisición y verificación de las tarjetas electrónicas, se analizará y estudiará el método apropiado de un sistema de iluminación que garantice la mayor eficiencia en el desempeño del prototipo a desarrollarse.

3.1 Tarjetas electrónicas

Para lograr un eficiente análisis mediante visión artificial de las tarjetas electrónicas debemos tener un gran conocimiento acerca de todos los parámetros que conlleva trabajar con estas. Las tarjetas electrónicas tienen una variedad de tipos y funciones, una de sus principales características es que conservan el tamaño y forma en la gran mayoría (Figura 3.1), estas características ayudan a crear plantillas que aseguran que las tarjetas estén ubicadas en el espacio indicado para la revisión a lo largo del proceso, lo que lo simplifica y garantiza.

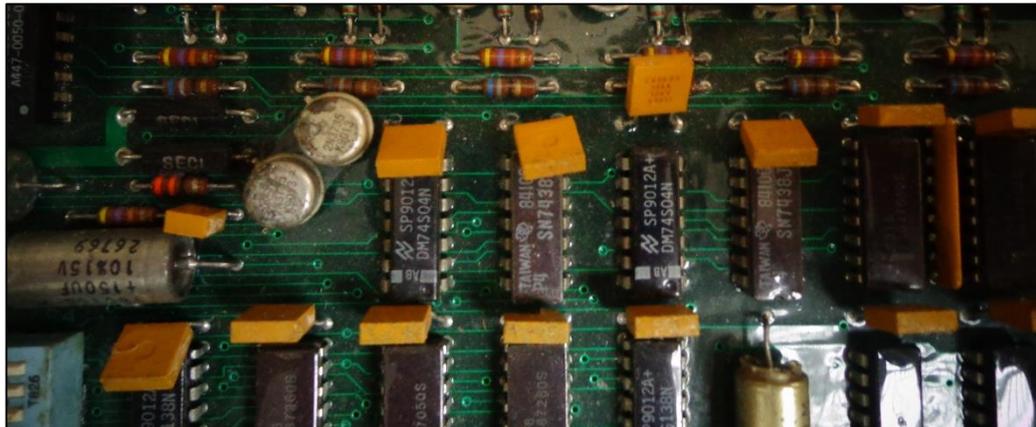
Figura 3.1 Forma general del contorno de las placas electrónicas.



Fuente Autores.

Al momento de realizar el estudio de las tarjetas electrónicas una de las principales características que resalta es la diferencia entre componentes, lo que dificulta el proceso de revisión. Ya que la alineación de algunos componentes no siempre es la adecuada. Por ejemplo, los transistores que en los procesos de traslado o manipulados pueden ser modificados con respecto a su posición inicial y esto dificulta el proceso de revisión.

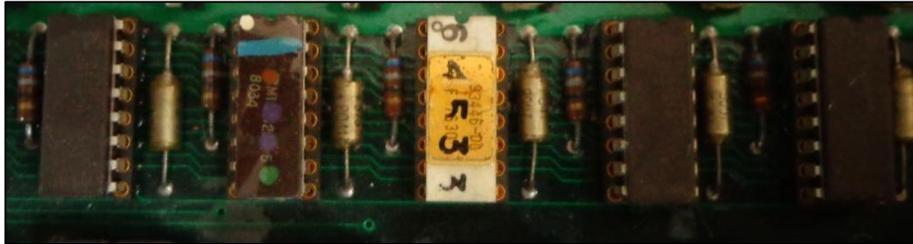
Figura 3.2 Tarjeta electrónica con componente desalineados.



Fuente Autores.

Otra diferencia entre los componentes es la que se puede observar cuando estos han sido reemplazados, ya que varían en año de fabricación o marca y genera diferencias ya sea de color o de inscripción.

Figura 3.3 Tarjeta electrónica con diferentes marcas de componentes



Fuente Autores.

Las placas electrónicas que pasan por el proceso de revisión tienen que ser revisadas en diferentes departamentos que se encargan de áreas específicas del mantenimiento y esto hace que las placas sean modificadas puesto que se añaden notas escritas por el personal.

Figura 3.4 Tarjeta electrónica con anotaciones

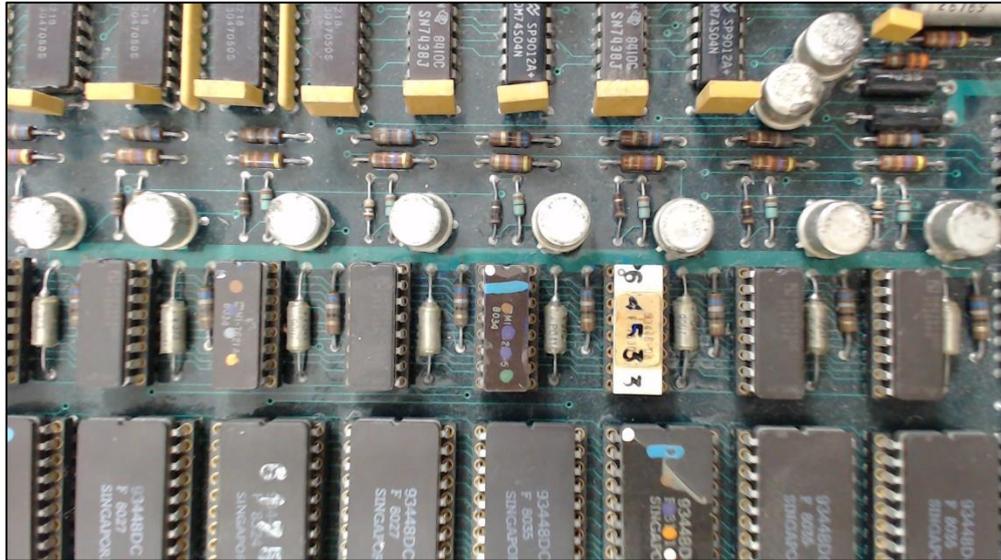


Fuente Autores.

Otro de los aspectos a tomar en cuenta para diseñar el sistema de verificación es el tamaño de los componentes para poder dimensionar con facilidad el tipo de sensor y lente de la cámara que se vaya a elegir.

De acuerdo a las placas que generalmente son revisadas se obtuvo componentes entre 1.5 y 30 mm, desde los más pequeños a los de mayor tamaño respectivamente. Además las tarjetas electrónicas cuentan con gran variedad de componentes y entre los tipos de tarjetas también varía la densidad de componentes, obteniendo así un promedio de 163 componentes por tarjeta.

Figura 3.5 Tarjeta electrónica – Vista superior (Densidad de componentes)



Fuente Autores.

3.2 Cámaras

Para elegir la cámara con la que se desarrollará el prototipo será importante estudiar los factores de los que dependerá el análisis de las imágenes.

De acuerdo a la información recopilada sobre los tipos de cámaras existentes en el mercado, la opción que se acopla al sistema prototipo que se desarrollará es una cámara matricial sobre una cámara de barrido lineal, ya que estas permitirán abarcar las secciones de las tarjetas electrónicas en menos movimientos, a diferencia de una lineal que necesita un barrido constante sobre el objeto a fotografiar. Esta elección también simplificará la coordinación entre los movimientos con la adquisición de las imágenes ya que para adquirir una imagen, la cámara puede mantenerse estática.

Otro de los factores que se debieron considerar para la elección de la cámara es la velocidad de inicialización de la misma, ya que las herramientas de *LabVIEW* tienen un tiempo de espera para que la cámara se inicialice. Si este tiempo es superado el programa genera un error de *time out* que provoca un cierre forzado de la sesión de la cámara y del funcionamiento del programa. Además la cámara tiene que responder de una manera eficaz a los movimientos, es decir que el tiempo que toma la cámara en estabilizar la imagen sea corta para así permita una mayor velocidad en la captura de la totalidad de las imágenes.

Figura 3.6 Cámara web básica.



Fuente: Laptop accessories now. [En línea]. [3 abril de 2014].

Figura 3.7 Cámara web HD

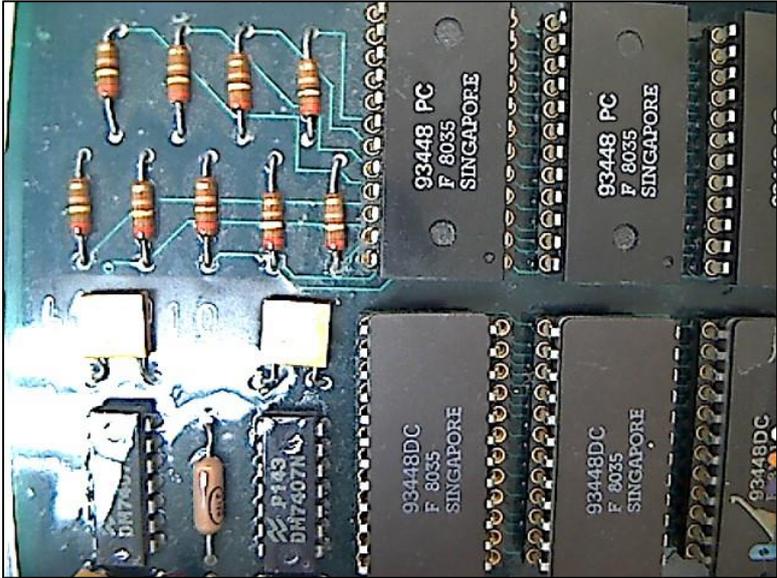


Fuente: Logitech. [En línea]. [3 abril de 2014].

Después de estudiar las tarjetas de las cuales se deben adquirir las imágenes, se llegó a la conclusión que la cámara que se debe utilizar debe ser de alta resolución (figura 3.7), ya que los componentes de menor tamaño no podían ser observados con la definición estándar de una cámara web básica (figura 3.6). Además las cámaras de alta resolución (HD) tienen un mayor ángulo de visión lo que permite la reducción de la cantidad de movimientos para captar todos los detalles de una tarjeta electrónica.

En la figuras 3.8 y 3.9 se observa la diferencia de la captura entre las diferentes cámaras utilizadas.

Figura 3.8 Imagen capturada por cámara básica.



Fuente: Autores.

Figura 3.9 Imagen capturada por cámara HD de mayor ángulo de visión



Fuente: Autores.

3.3 Procesamiento de imágenes

Al tratarse del diseño de un sistema prototipo que trabaja en función a visión artificial, se requiere de un adecuado y efectivo tratamiento de imágenes. Empezando por su método de adquisición y continuando con las técnicas de filtrado, almacenamiento, reconstrucción, medición, posicionamiento, etc.

Es por esto que se realizó un análisis minucioso, mediante la revisión de las técnicas que ofrece LabVIEW en las herramientas del *toolkit* de visión artificial. Lo que definió la técnica que se acoplaba mejor al tipo de procesamiento que se realizó para obtener los resultados esperados.

3.3.1 Adquisición de imágenes

Al momento de realizar la adquisición de imágenes se contaba con dos métodos para hacerlo. Un alto nivel que permite realizar una configuración rápida y previa a la adquisición de imágenes; dichas configuraciones se mantienen a menos que se decida reconfigurar la herramienta, es por así que las herramientas de este tipo son conocidas como herramientas *express*. Por otra parte se cuenta también con nivel bajo de programación, el mismo que permite realizar una configuración y tratamiento de las imágenes más profundo y detallado, variando en tiempo real las características de las imágenes capturadas.

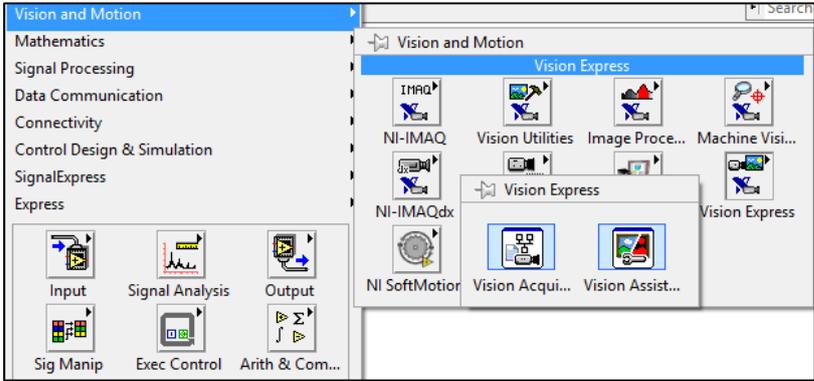
Para analizar el tipo de captura de imágenes que se emplearía en el proyecto se estudió, tanto la programación en alto y bajo nivel, ya que ambas prestaban características que podían ser empleadas al momento de obtener las imágenes y proceder con el procesamiento de las mismas.

3.3.1.1 Programación Alto nivel

La programación de alto nivel consiste en herramientas *express* que permiten configurar el proceso que realizará la adquisición. El primer paso para hacer este tipo de captura de imágenes, es seleccionar la herramienta *Vision Acquisition* de la paleta de herramientas *Vision and Motion* (Figura 3.10), y se realizó las configuraciones para

realizar capturas de imágenes tanto en video como en fotografía (Figura 3.11), además de la selección de la cámara que se usará.

Figura 3.10 Vision Acquisition

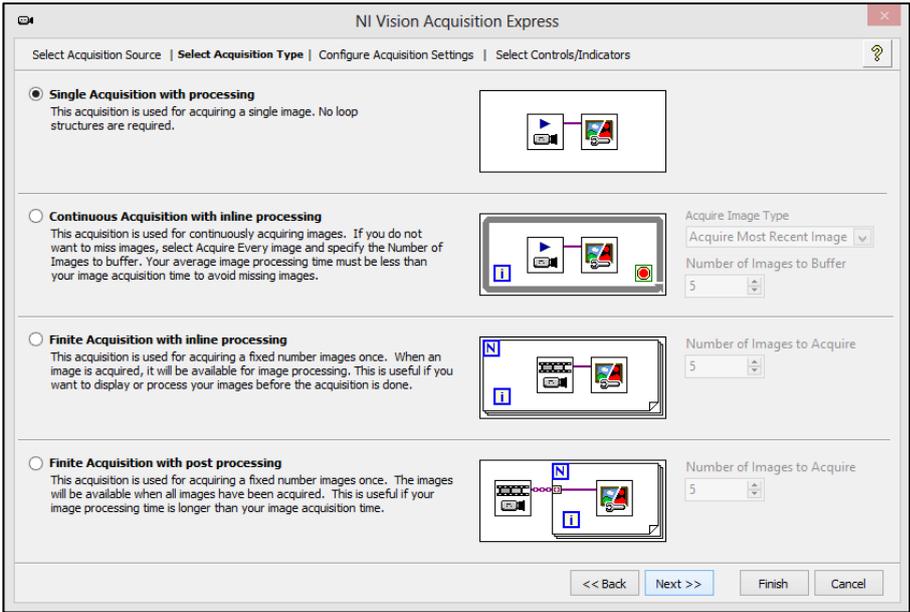


Fuente: Autores.

Para obtener imágenes en modo fotografía o video, los parámetros fueron configurados al momento de seleccionar la herramienta express, además de decidir si la captura de imágenes se realizará de forma continua o solo por una ocasión.

Una vez decidido el tipo de adquisición de imágenes en la herramienta *Vision Acquisition Express* la cámara está lista ser usada.

Figura 3.11 Configuración método de adquisición

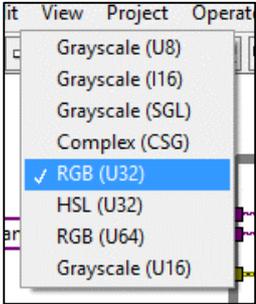


Fuente: Autores.

3.3.1.2 Programación Bajo nivel

Al iniciar con la programación para capturar imágenes en bajo nivel, se realizó la inicialización de la cámara, tarea que consiste en seleccionar la cámara con que se realizará captura de imágenes o video. A continuación la configuración de la cámara, asignando un espacio de memoria y seleccionando el tipo de imagen que se va a adquirir, este puede variar entre escala de grises (Grayscale) y RGB, (Figura 3.12) y finalmente se muestran los resultados en un *Image Display*.

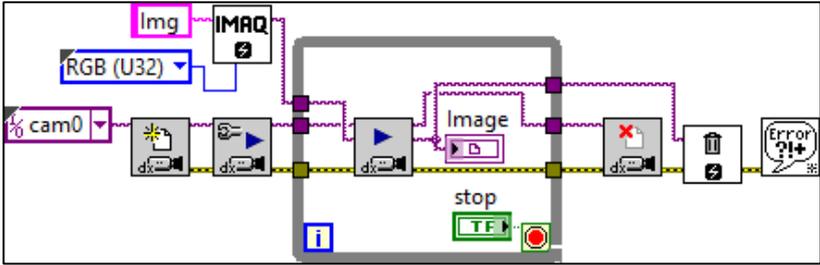
Figura 3.12 *Imagen Type*



Fuente: Autores.

De esta forma se puede realizar una captura de imágenes de forma continua, haciendo uso de una estructura while loop, hasta que el usuario decida detenerla pulsando el botón de STOP.

Figura 3.13 Adquisición imágenes – Programación bajo nivel



Fuente: Autores.

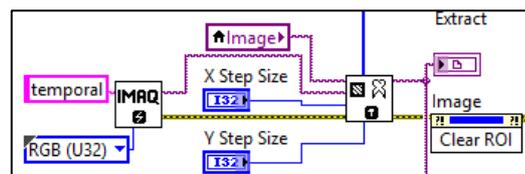
3.3.2 Análisis de imágenes

El siguiente paso luego de obtener la imagen, es obtener la información que se requiera acerca de la misma, dependiendo así de las características de la aplicación para la que se desea emplear.

Inicialmente se trabajó con imágenes con color y se realizaron procesos de filtrado de color, partículas, morfología y más tratamientos de imágenes acorde con las herramientas del *toolkit* de visión artificial que nos ofrece LabVIEW y se acoplan con el proyecto.

Al realizar el tratamiento de imágenes se inició con en el proceso de adquisición de imágenes en programación de bajo nivel, en modo video (Figura 3.13) y se tomó un extracto de la imagen capturada.

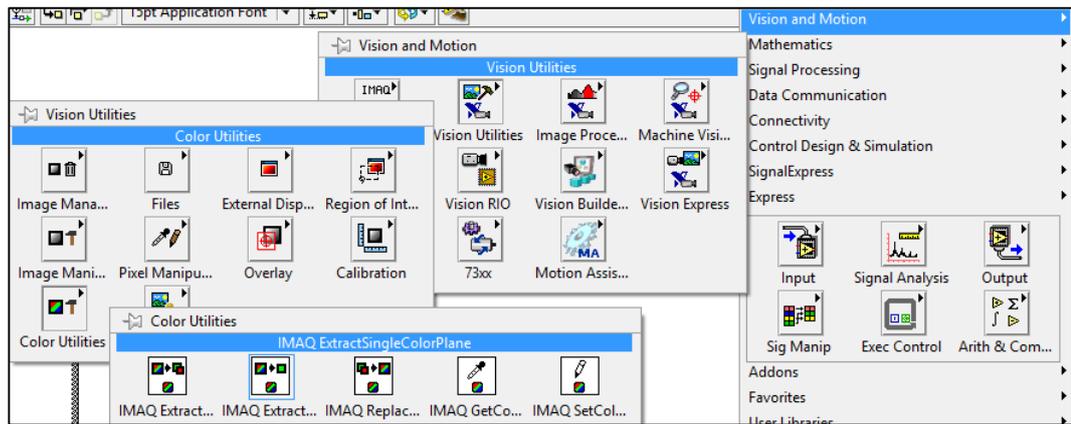
Figura 3.14 *Extract*.



Fuente: Autores.

Enfocándonos en el sistema de visión artificial que se diseñará para la máquina prototipo que se construye inicialmente se analizaron diferentes métodos de procesamiento de imágenes. Dos sistemas fueron los que se acoplaban a las características que se buscaban, el primero consiste en la conversión de la imagen original a una imagen binaria y mediante patrones realizar el reconocimiento de los componentes electrónicos. Por otro lado el segundo método de procesamiento consiste en el aprendizaje de una imagen no procesada con elementos de morfología y la búsqueda de acuerdo a la ubicación del componente.

Para aplicar el primer método se contaba con la imagen muestra, se inició con el proceso de conversión de imagen RGB a *Grayscale* (Figura 3.16), ya que estos son los parámetros que algunas de las herramientas utilizadas requerían. Para esta tarea se empleó la herramienta IMAQ *ExtractSingleColorPlane* de la paleta de *Color Utilities*.

Figura 3.15 IMAQ *Extract Single Color Plane*

Fuente: Autores.

Figura 3.16 Imagen RGB – *Grayscale*

Fuente: Autores.

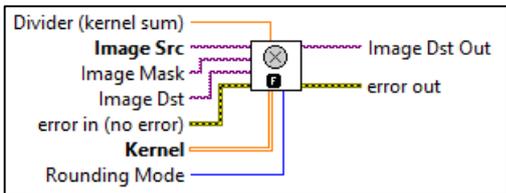
Con la imagen en *Grayscale* los procesos de filtrado, eliminación de partículas, corrección de bordes e información de histograma se configuró para suavizar, mejorar y obtener información desde la imagen digital.

Para realizar cada una de las configuraciones se cuenta con una herramienta específica de la paleta *Vision and Motion*, el resultado que se obtiene depende del nivel que se aplica, por ejemplo puede lograrse la remoción total o parcial de partículas, dependiendo de los requerimientos del usuario, ya que la información que se necesita recopilar depende únicamente de las configuraciones y manipulación de las herramientas, en este caso *IMAQ Remove Particle*. Es así que se inició con el estudio de las herramientas que se aplicaron al primer método de procesamiento:

3.3.2.1 IMAQ *Convolute*

Es una herramienta que funciona a partir de una matriz numérica que se configura en base a números enteros y dobles, dependiendo del efecto que se requiere añadir. Esta matriz es denominada Kernel y se usa como un multiplicador de la imagen digital original. Al realizar el proceso de convolución entre dichas matrices se obtiene la nueva imagen, igual a la original pero con características adicionales acorde con la matriz Kernel configurada.

Figura 3.17 IMAQ *Convolute*



Fuente: Autores.

Ya que el proyecto que se diseñará se basa en la revisión de componentes electrónicos y un buen porcentaje de los mismos comparten el diseño, ya sean resistencias, capacitores, integrados, se usó esta herramienta para realizar la extracción de bordes de los mismos (Figura 3.18). Pero por la irregularidad en los procesos de colocación de los componentes electrónicos el diseño varía, lo que hace que el uso de esta herramienta se vea comprometido al momento de resaltar la eficiencia, ya que va más allá de las adecuaciones que puede hacer la herramienta, puesto que al variar su ángulo de visión varía el ángulo de visión del borde.

Figura 3.18 Resultados IMAQ *Convolute* (Extracción de Bordes)

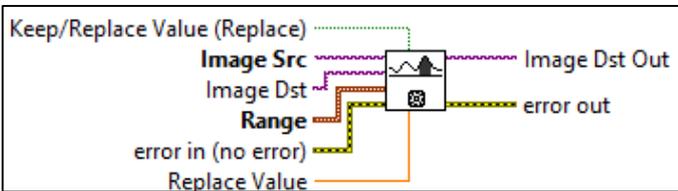


Fuente: Autores.

3.3.2.2 IMAQ Threshold

Es una herramienta empleada en procesos de visión artificial para obtener la imagen binaria a partir de una imagen en grayscale. Este proceso se realiza asignando valores de pixeles de 0 al fondo de la imagen y valores de pixeles de 1 (Figura 3.19), a los objetos de las imágenes, estos valores son configurados en base a un rango dependiendo de la parte de la imagen que se desea procesar.

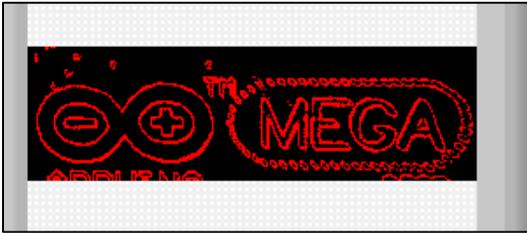
Figura 3.19 IMAQ Threshold



Fuente: Autores.

Para configurar el filtro de visualización de la imagen binaria, se establece un valor mínimo y máximo, estos se configuran de acuerdo con la información que se extrae y muestra mediante una herramienta de LabVIEW llamada IMAQ Histogram (Figura 3.20). Haciendo uso de un Waveform Graph se visualiza el rango de concentración de los colores de la imagen, el mismo que deberá configurarse en el filtro para obtener la imagen binaria o una porción de ella.

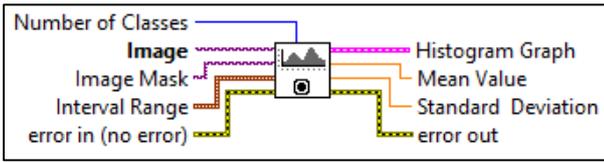
Figura 3.20 Imagen Binaria



Fuente: Autores.

Generalmente para obtener patrones a partir de una imagen, estos pueden recibir de forma adicional tratamientos de filtrado y reconstrucción de la imagen, para obtener información como conteo de partículas, empleados en procesos de verificación de calidad.

Figura 3.21 IMAQ Histogram



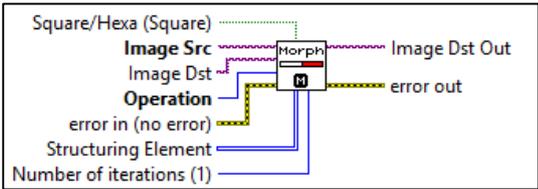
Fuente: Autores.

Luego de obtener una imagen binaria, esta puede ser procesada para mejorar su calidad, eliminando bordes, removiendo partículas, etc. Este tipo de técnicas pueden ser primarias o avanzadas; la técnica primaria se basa en la modificación de los pixeles de la imagen binaria generalmente, a diferencia de las técnicas avanzadas que se centran en la eliminación de partículas, relleno de objetos, rechazo de borde, es decir en operaciones específicas para cada caso.

3.3.2.3 IMAQ Morphology

Es una técnica de morfología de nivel primario y se enfoca en la transformación de las propiedades de la imagen binaria basada en tres operaciones principales: *erosion*, *dilation* y *hit-miss*. Existen operaciones adicionales que trabajan en nivel primario, se basan en el funcionamiento de las tres principales y estas combinadas modifican los pixeles de la imagen que está siendo procesada por cada herramienta. (Figura 3.23)

Figura 3.22 IMAQ Morphology



Fuente: Autores.

Figura 3.23 Erode – Dilation – Hit miss

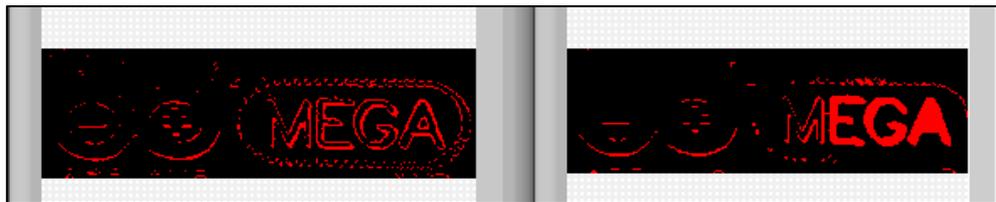


Fuente: Autores.

3.3.2.4 IMAQ *FillHole*

La herramienta IMAQ *FillHole* modifica la imagen binaria mediante una técnica de morfología avanzada, se encarga de rellenar los agujeros convirtiendo los pixeles de nivel 0 a pixeles de nivel 1 entregando así una imagen reconstruida y con formas definidas.

Figura 3.24 Resultado IMAQ *FillHole*

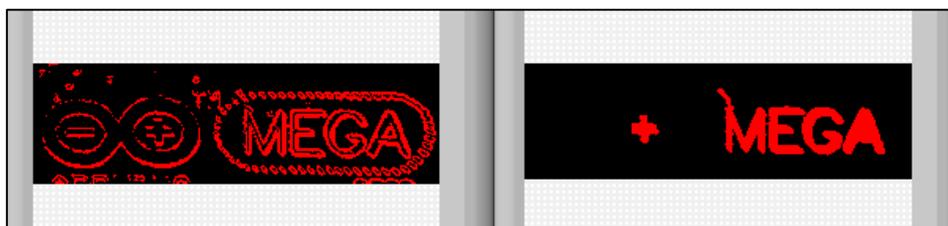


Fuente: Autores.

3.3.2.5 IMAQ *RemoveParticle*

En algunos casos la información que se desea obtener a partir de la imagen binaria es obstruida por partículas que no forman parte del objeto que se está analizando, es aquí donde la herramienta *RemoveParticle* cumple su función, elimina dichas partículas mediante la configuración de un filtro que trabaja de acuerdo con un número de erosiones.

Figura 3.25 IMAQ *RemoveParticle*



Fuente: Autores.

Al aplicar las herramientas de morfología primaria se deseaba extraer las huellas de los componentes y en base a estas realizar la búsqueda de patrones. Ya que las características de los componentes de las tarjetas electrónicas que se revisarán varían dependiendo del tipo de mantenimiento que reciben, las imágenes binarias que se

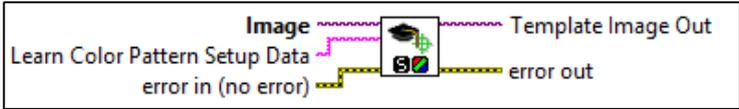
obtienen, no siguen un patrón específico y necesitan configuraciones diferentes. Descartando así este tipo de análisis, se procedió a estudiar el segundo método que se propuso usar para el diseño del proyecto.

Este proceso de revisión se realizó en base al aprendizaje de una imagen patrón que realiza la búsqueda en base a la forma y color de la misma. La búsqueda está determinada por las configuraciones de las herramientas.

La imagen original al igual que en el anterior proceso es de tipo RGB, ya que las herramientas que se emplean no requieren un formato específico como imagen binaria o escala de grises. Se procedió a trabajar en base a la imagen original, que es un extracto del video empleando la herramienta *Extract* (Figura 3.14) y se realizó el aprendizaje de la misma, para luego proceder a buscar el patrón aprendido en una imagen diferente que es captada por la adquisición en video.

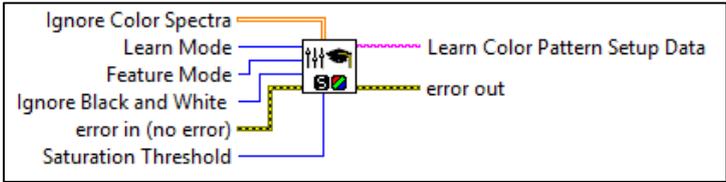
El aprendizaje de la imagen patrón se hizo empleando la herramienta IMAQ *Learn Color Pattern* (Figura 3.27). Antes de realizar el aprendizaje, la herramienta debe ser configurada de manera que la imagen aprendida conserve las características que el usuario necesita buscar, es así que LabVIEW ofrece la herramienta IMAQ *Setup Learn Color Pattern* con la que se puede trabajar.

Figura 3.26 IMAQ *Learn Color Pattern*



Fuente: Autores.

Figura 3.27 IMAQ *Setup Learn Color Pattern*



Fuente: Autores.

Inicialmente se configuró las herramientas para realizar pruebas en tarjetas que se usaron para diseñar el prototipo. Realizando extracciones de imágenes y haciendo búsquedas en las mismas, variando los parámetros de configuración. Debido al tipo de cámara que usó al inicio del proceso de diseño del prototipo, los resultados obtenidos no fueron los esperados, ya que la calidad de las imágenes extraídas eran de baja calidad, lo que hace difícil obtener un patrón que pueda ser identificado correctamente.

Al reemplazar la cámara, la calidad de las imágenes mejoró y se obtuvo patrones que pudieron ser encontrados durante los proceso de búsqueda. En la figura 4. Se muestra un ejemplo que usa las herramientas en el proceso de búsqueda de componentes. Tal como se indica el componente se aprende a partir del patrón y se busca en la imagen de la placa que se está escaneando.

Figura 3.28. Búsqueda de Componentes



Fuente: Autores.

Este tipo de tratamiento de imágenes cumplió con el reconocimiento de la mayoría de componentes pertenecientes a las tarjetas generalmente usadas. Es así que se convierte en la herramienta que se usará para la programación de búsqueda de componentes, basándonos en el menor porcentaje de error que se obtuvo respecto al que se obtiene al trabajar con imágenes binarias.

3.4 Estudio de iluminación

En el estudio de los sistemas necesarios para realizar la captura de las imágenes la iluminación es factor muy relevante, ya que de esta depende que la calidad de las imágenes se mantenga, ofreciendo así mejores resultados en los proceso de comparación.

Luego de estudiar las tarjetas electrónicas que se revisarán, es importante determinar el tipo de componentes que se van a emplear, empezando por la de fuente de luz, intensidad y cantidad de luz reflejada. Es así que por el área mínima que ocupan y el tipo de luz que ofrecen, la opción más factible son los leds de luz blanca, ya que la variación de su intensidad es muy sencilla y permite ajustarla a un punto en el que no genere brillo que afecta a la captura de las imágenes.

Las imágenes que se van a adquirir tienen que ser constantes, para esto la ubicación de los leds es primordial, ya que así se evitará sombras que interfieran en la comparación de imágenes y lograr así una iluminación constante sobre los puntos de interés.

Con el propósito de llegar a un adecuado sistema de iluminación se llevaron a cabo varias pruebas con diferentes fuentes y diferentes configuraciones de iluminación las cuales se muestran a continuación.

3.4.1 Iluminación con diodos led de ultra brillo

Se probó la iluminación con luces led montados en la parte baja de la cámara y apuntando a donde esta hace foco, los leds se ubicaron en la pieza de sujeción de la cámara para que así estos se muevan con la cámara y no exista la posibilidad de sombra (Figura 3.29).

Figura 3.29 Colocación de leds



Fuente: Autores.

Los resultados de este tipo de iluminación no fueron favorables ya que la luz que emiten los diodos led es muy puntual e ilumina de manera dispereja a la placa, demás por su intensidad genera brillo que impide el enfoque de la cámara y la visualización de los componentes (Figura 3.30).

Figura 3.30 Tarjeta iluminada por leds.

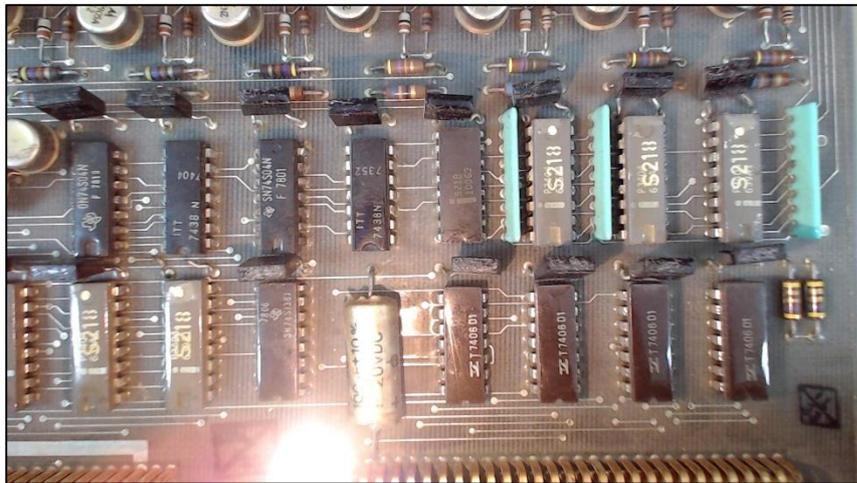


Fuente: Autores.

3.4.2 Iluminación con luz incandescente

El segundo método probado fue la iluminar con un foco incandescente de 12 voltios pero este método tampoco fue eficaz ya que la luz del foco es de área completa, lo que genera que la luz sea captada por la cámara causando un brillo que impide la captura de los componentes.

Figura 3.31 Tarjeta iluminada por luz incandescente.



Fuente: Autores.

3.4.3 Iluminación con anillo de luz infrarroja

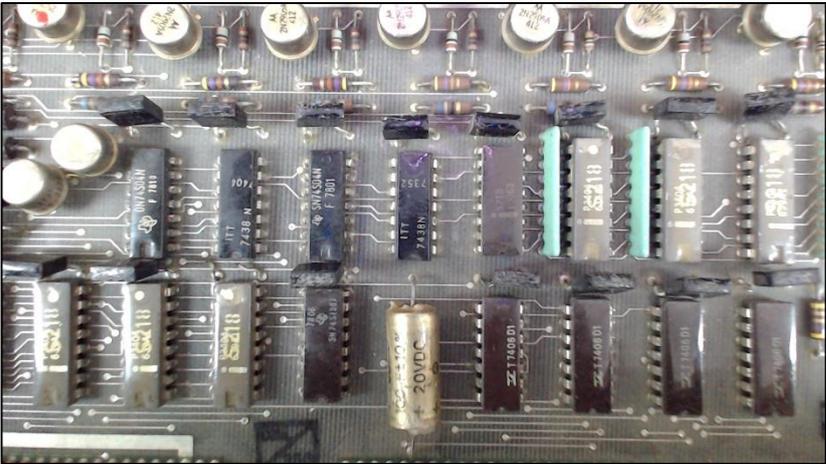
El último método usado para iluminar la placa fue con un anillo de diodos led de luz infrarroja (Figura 3.32), siendo inefectivo ya que la luz infrarroja no tenía la potencia suficiente para iluminar la placa (Figura 3.33).

Figura 3.32 Anillo de diodos led infrarrojos.



Fuente: Autores.

Figura 3.33 Placa iluminada por anillo de diodos led.



Fuente: Autores

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DEL PROTOTIPO

Cuando se crea un prototipo de una máquina partiendo de otra completamente funcional se tiene que llevar a cabo muchos procedimientos de transformación y principalmente de adaptación, ya que aplicando los diseños a la máquina existente se permite usar una plataforma confiable, reducir costos y poder emplear mayor conocimiento y tiempo en desarrollar diferentes campos del prototipo. Es así que se describirán en el presente capítulo las modificaciones, configuraciones y código de programación que se aplicaron en la máquina CNC Quick Circuit AMC2500, la misma que se encargaba del proceso de tallado de pistas de cobre en PCBs. Para reconvertirla en la máquina prototipo encargada de procesos de revisión de tarjetas electrónicas empleando visión artificial.

Los cambios que se dan en la máquina deben ser de tipo estructural, es decir cambiar sus piezas y su forma, adaptándola a las necesidades para la construcción del prototipo. Además para la creación de un prototipo se debe diseñar y crear un sistema completo en el cual todas las partes trabajen en conjunto, el sistema debe contener un cerebro que comunique, procese y tome las decisiones, siendo este programa capaz de capturar analizar y buscar imágenes mediante la conexión de una cámara, conjuntamente el programa tiene que comunicarse con la máquina modificada mediante una interfaz adaptada a la placa de control del mecanismo, la que nos permite el completo mando de sus dispositivos y la monitorización de sus sensores. El trabajo vinculado de la máquina modificada, los medios de interfaz y el programa control tienen como fin un reporte el cual es el resultado de la inspección, siendo esto usado por el operador de la máquina prototipo para llevar a cabo un mantenimiento a la placas, si es que estas lo necesitaran.

4.1 Rediseño del sistema de exploración

El funcionamiento y eficiencia del sistema completo depende de las modificaciones realizadas al mecanismo de exploración, las cuales brindan mayores prestaciones y exactitud. Debido al diseño original del mecanismo que era usado para tallar placas completamente planas y no placas con elementos electrónicos, varios de sus componentes estructurales imposibilitan la correcta exploración de las placas, siendo así necesaria una modificación de la altura del brazo de exploración y un soporte que aleje la cámara para evitar imágenes que contengan partes del brazo de exploración.

4.1.1 Estructura

En lo que respecta a la estructura original de la máquina, esta fue solamente modificada en rasgos menores, conservando su utilidad primordial de abarcar toda el área del campo de trabajo, para realizar la modificación de la estructura se retiró las carcasas exteriores que tenían un fin estético y de protección de los buses de datos, además se retiraron todos los componentes que no tenían un fin útil en el nuevo sistema de la máquina como el motor que tenía la función de tallar las pistas , el solenoide que realizaba el movimiento vertical de la máquina, también se retiraron tuberías de absorción de los restos del trabajo de tallado (Figuras 4.1 y 4.2).

Figura 4.1 Máquina CNC con las protecciones y accesorios colocados.



Fuente: Autores.

Figura 4.2 Máquina CNC sin accesorios.



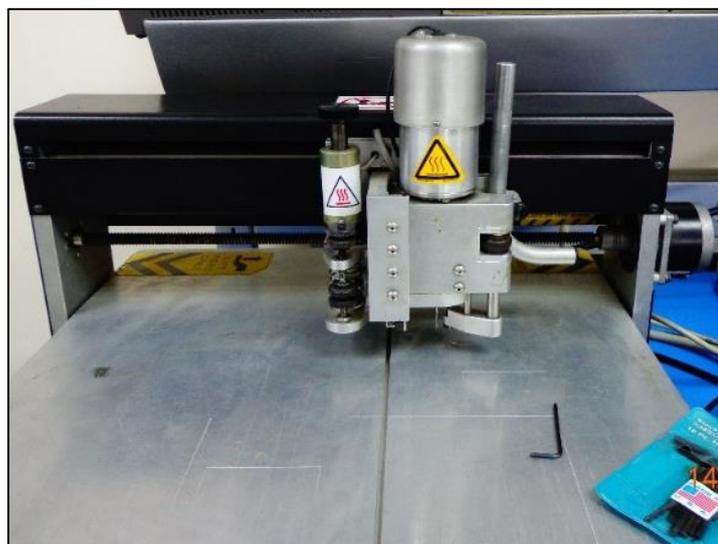
Fuente: Autores.

Los cambios estructurales necesarios en la máquina de exploración para que pueda realizar sus funciones sin ninguna clase de inconvenientes son:

4.1.1.1 Modificación del eje x mediante piezas de acople

La máquina constaba con un motor para el tallado de las pistas (Figura 4.3) que estaba acoplado a una pieza cuyo borde queda a 25 mm, el cual incomoda al colocar placas con elementos de tamaño considerable.

Figura 4.3 Máquina con motor de tallado.



Fuente: Autores.

Para solucionar este problema se diseñó una pieza que calce en la unión que conecta el brazo del movimiento del eje X con el del movimiento del eje Y (Figura 4.4).

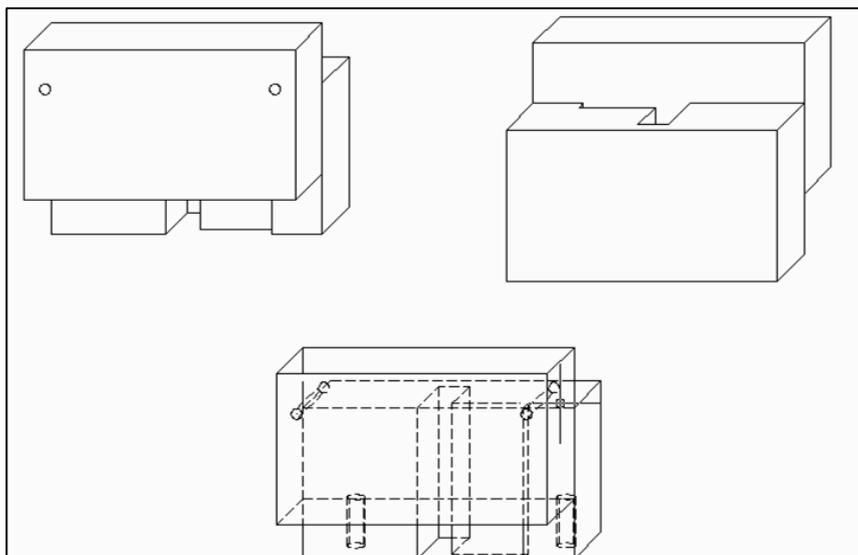
Figura 4.4 Unión de brazos de eje x - eje y.



Fuente: Autores.

La pieza diseñada tiene una elevación de 5 cm que va de acuerdo con el tamaño máximo de los elementos de las placas, los agujeros para los tornillos de sujeción calzan con los que la máquina consta y tienen la ranura que permitirá el paso del bus de datos y el cable del motor a pasos. Se muestra el diseño en *AutoCAD* (Figura 4.5) y la pieza construida en acero inoxidable de 10mm de espesor (Figura 4.6).

Figura 4.5 Diseño de piezas de acople.



Fuente: Autores.

Figura 4.6 Piezas de acople.



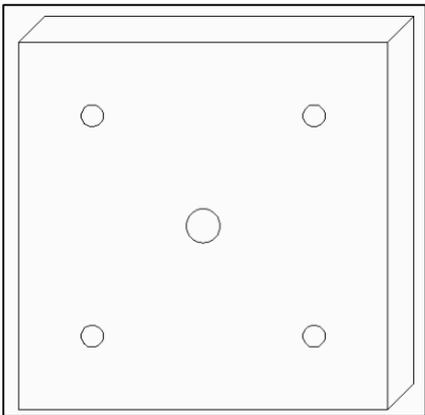
Fuente: Autores.

4.1.1.2 Pieza de acople de cámara

Con el objetivo de colocar la cámara se diseñó un soporte para sujetar la cámara a la estructura de la máquina, el soporte tiene que acoplarse a las medidas del espacio disponible para la máquina ya que en el espacio libre no puede ser modificado ya que esto comprometería la fortaleza estructural del brazo de la máquina.

La pieza tiene un tornillo central, de 7mm de diámetro, en el cual está sujeto la cámara y 4 tornillos, de 4 mm de diámetro, que tienen la función de sujetar la pieza de acople a la máquina (Figura 4.7).

Figura 4.7 Diseño pieza de sujeción de la cámara.



Fuente: Autores.

Figura 4.8 Pieza de sujeción con cámara.

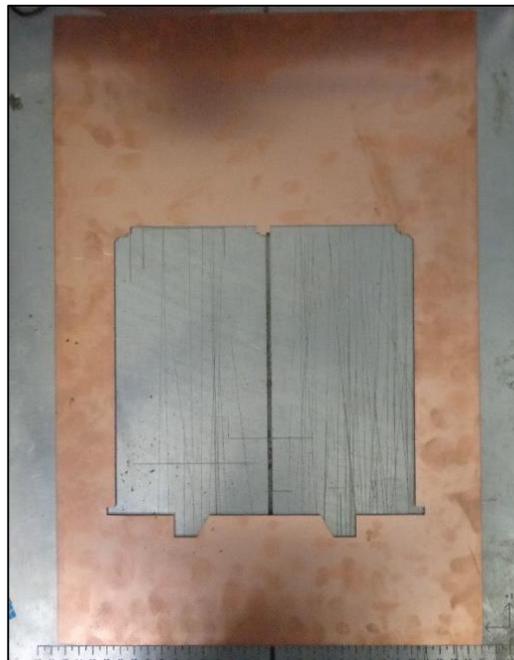


Fuente: Autores.

4.1.1.3 Plantilla de ubicación

Para asegurar que la captura de las imágenes sea siempre constante se construyó una plantilla de ubicación con la silueta de las placas, esta plantilla es funcional para la mayoría de las tarjetas ya que estas mantienen su forma estándar (Figura 4.9).

Figura 4.9 Plantilla de ubicación.



Fuente: Autores.

4.1.2 Sistema de control y comunicación

Para lograr la comunicación y el completo control de máquina se diseñó y construyó una placa electrónica adaptada específicamente a las necesidades del sistema, tanto en dimensiones como en programación. Esta tarjeta sirve de interfaz entre la computadora con el programa en *LabVIEW* y la máquina con su controlador.

4.1.2.1 Diseño de tarjeta

4.1.2.1.1 Diseño físico

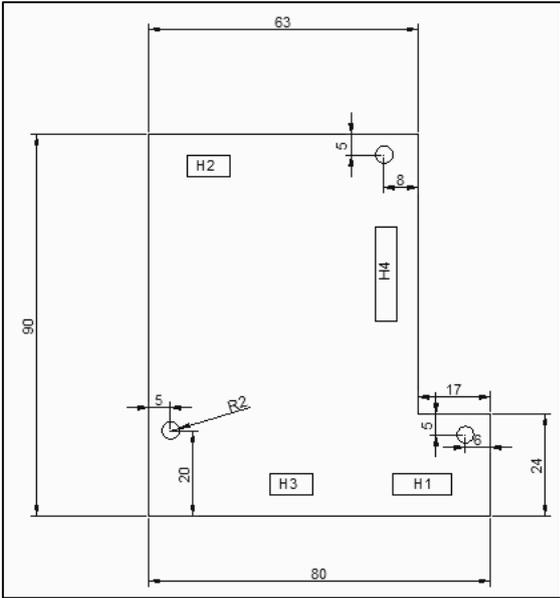
El diseño de la forma final de la placa se basó en el espacio disponible y la eficiencia de las conexiones (Figura 4.11), ubicando cada salida de manera que se eviten conexiones cruzadas entre los buses de datos, siendo estos: alimentación (H1), pulso de control del motor (H1), pulso de dirección (H1), datos de fin carreras (H3), puerto de transmisión y recepción (H2) (figura 4.10). El conector H4 (Figura 4.11) se dejó disponible para futuras conexiones que se puedan necesitar, en caso de implementar nuevas aplicaciones.

Figura 4.10 Circuito de potencia, marcado lugares de conexión.



Fuente: Autores.

Figura 4.11 Diseño de forma de placa de control.

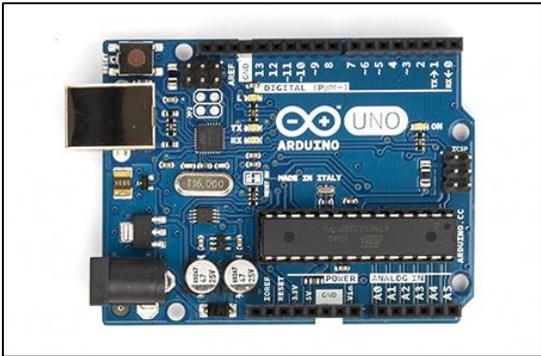


Fuente: Autores.

4.1.2.1.2 Diseño electrónico

La tarjeta electrónica utilizada está basada en la construcción de un *Arduino UNO r3* (Figura 4.12). La placa diseñada, así como el *Arduino UNO r3* tienen un microprocesador *ATmega 328P-PU*, la mayor diferencia entre un *Arduino UNO r3* y la placa diseñada es la ausencia del convertidor de comunicación serial a comunicación USB.

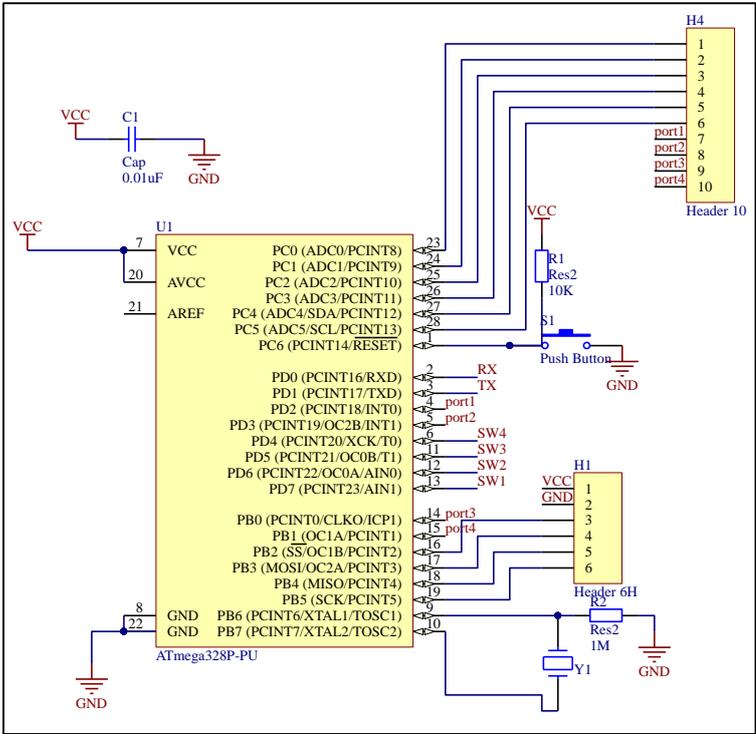
Figura 4.12 *Arduino UNO r3*.



Fuente: Arduino. [En línea]. [18 de abril de 2014].

Para asegurar el correcto funcionamiento del microprocesador se tienen que llevar a cabo varias conexiones (Figura 4.13) , una de ellas es la alimentación de +5v en los pines 7 y 20 y GND los pines 8 y 22, otra conexión es la de *reset* al pin 1, el cual con un cambio de nivel de 5 voltios a 0 voltios reinicia el microprocesador y la última de las conexiones importantes es la de un cristal oscilador de 16 MHZ en los pines 9 y 10 cuyos pulsos sirven para coordinar los ciclos de máquina del procesador. El restante de las entradas y salidas del microprocesador fueron conectadas a borneras para ser usadas a conveniencia conforme el diseño tenga que ser modificado.

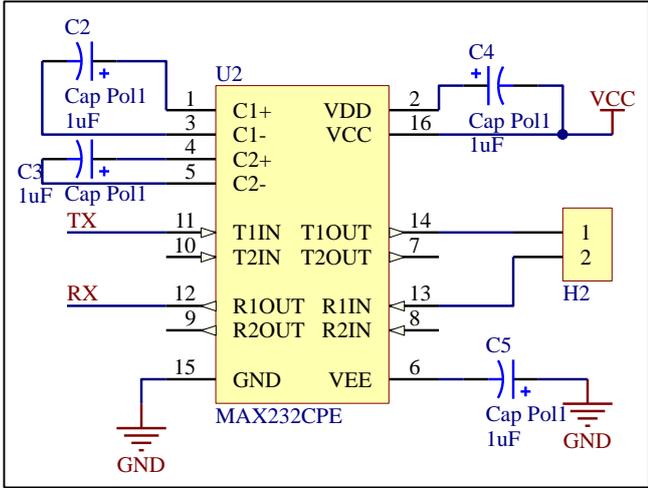
Figura 4.13 Circuito de control.



Fuente: Autores.

Para la comunicación serial del circuito con la computadora se ocupó el MAX232 en su configuración estándar (Figura 4.14) el cual cambia los niveles TTL a los niveles del RS-232 cuando se hace una transmisión, y cambia los niveles RS 232 a TTL cuando se tiene una recepción, ya que el microprocesador trabaja con 0 y 5 voltios, el MAX232 convierte esos valores de tensión en 15V como 1 lógico, y -15V como 0 lógico.

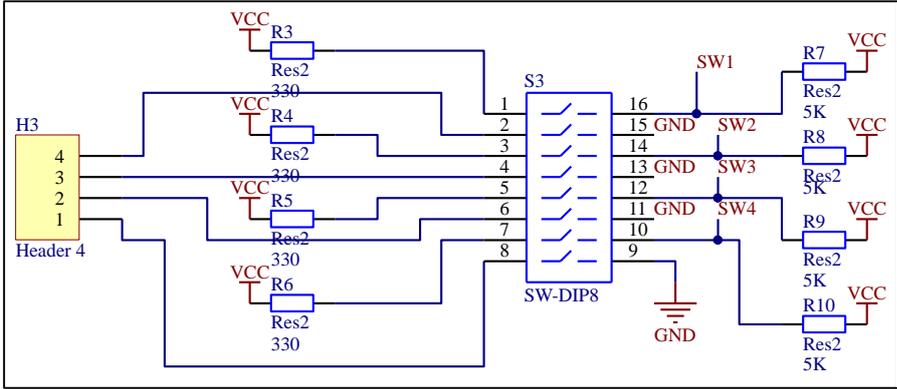
Figura 4.14 Circuito de comunicación.



Fuente: Autores.

En lo que respecta al circuito que capta las señales de los fin carrera, los cuales indican que la máquina llegó al tope máximo de su desplazamiento, se diseñó un circuito para captarlos, el circuito consta de un opto-transistor para aislar el ruido y sobre cargas proveniente de los mismos. En el diseño se utilizó el opto-transistor PS2501-4 (Figura 4.15), en cuyas entradas se conectaron las señales provenientes de los fin carrera, las mismas que al ser procesadas generan un pulso que es enviado al microcontrolador para realizar la acción correspondiente.

Figura 4.15 Circuito de protección de señales de fin carrera.



Fuente: Autores.

La placa finalizada (figura 4.16) se adaptó correctamente al espacio destinado a esta y permitió una fácil conexión a los puertos de control, para mejorar la sujeción y comodidad de la palca se retiró todos los componentes que se ubicaría debajo de esta.

Figura 4.16 Placa de control.



Fuente: Autores.

4.1.2.2 Programación de tarjeta

El programa de la tarjeta es el encargado de la comunicación entre la máquina prototipo y la computadora, siendo este el que recibe las ordenes y las traduce en movimiento, el programa se descompone en configuración, comunicación, y órdenes de movimiento.

4.1.2.2.1 Configuración de programa

Para el funcionamiento del programa se tienen que llevar a cabo las configuraciones correspondientes a las herramientas que se van a usar además de agregar la librería de comunicación serial de Arduino e inicializar las variables usadas en la programación en valores y formatos que se necesiten. En este programa la configuración de la comunicación serial solamente se la realiza estableciendo la tasa de baudios en 9600 ya que nuestro programa no consta con verificaciones de paridad o diferentes herramientas que ofrece la librería de comunicación serial de Arduino (Figura 4.17) al

final de la configuración el programa envía un OK para notificar que se encuentra listo para ejecutar el programa.

Figura 4.17 Configuración del programa.

```
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial mySerial(0, 1); // RX, TX
char var=0;
int swx1 = 7;
int swx1val =0;
int swy1 =6;
int swy1val =0;
int cont =0;
int cont1=0;|
//////////CONDICIONES INICIALES//////
void setup ()
{
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("ok");
  pinMode(13, OUTPUT);
  pinMode(12, OUTPUT);
  pinMode(11, OUTPUT);
  pinMode(10, OUTPUT);
}
```

Fuente: Autores.

4.1.2.2.2 Programa de comunicación

La estructura central del programa se mantiene en un bucle esperando un carácter, que llega mediante la comunicación serial, para compararlo con letras predeterminadas y seleccionar la orden finalmente ejecutándola una sola vez por carácter (Figura 4.18).

Figura 4.18 Bucle de comparación de carácter recibido.

```
if (Serial.available())
{
    var = Serial.read();
}

if (var == 'a') // control atrás
{
    arriba();
}

if (var == 'b') // control delante
{
    abajo();
}

if (var == 'd' ) // control derecha
{
    derecha();
}

if (var == 'i') // control izquierda
{
    izquierda();
}
```

Fuente: Autores.

La velocidad de las órdenes enviadas por el computador hacía la máquina, dependen de la velocidad de ejecución del bucle que toma las decisiones y genera las órdenes en LabVIEW. Una vez seleccionado a que comando pertenece el carácter, el programa salta y ejecuta la orden una sola vez, es decir genera un paso en el motor, lo que indica que en esta configuración se generen dos pulsos de control (Figura 4.19 y 4.20). Una vez ejecutados los pulsos el programa regresa al bucle central a la espera de una nueva orden.

Figura 4.19 Generación de dos pulsos para el control del motor.

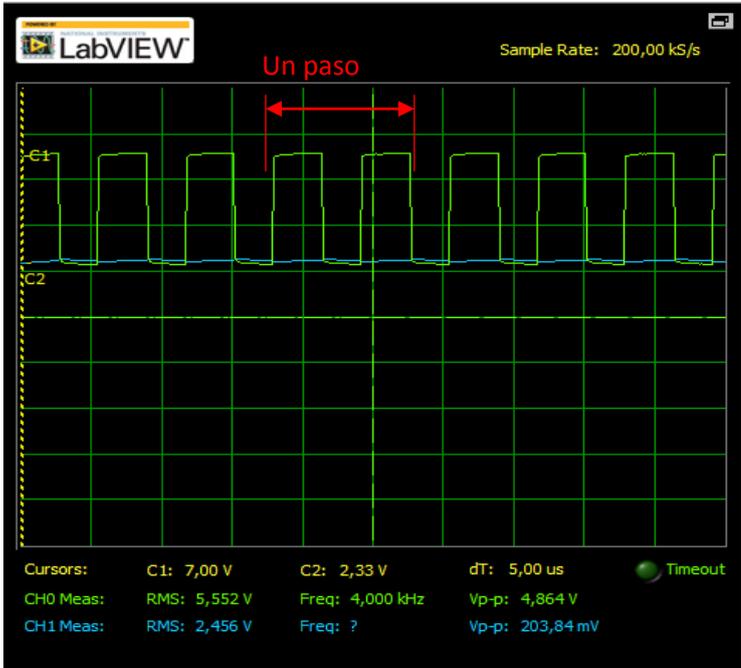
```
void arriba()
{
    digitalWrite(12, HIGH);
    digitalWrite(13, HIGH);
    delayMicroseconds(450); // Aproximadamente 10
    digitalWrite(13, LOW);
    delayMicroseconds(50);
    digitalWrite(13, HIGH);
    delayMicroseconds(450); // Aproximadamente 10
    digitalWrite(13, LOW);
    delayMicroseconds(50);

    var = 0;
}

void abajo()
{
    digitalWrite(12, LOW);
    digitalWrite(13, HIGH);
    delayMicroseconds(450); // Aproximadamente 10
    digitalWrite(13, LOW);
    delayMicroseconds(50);
    digitalWrite(13, HIGH);
    delayMicroseconds(450); // Aproximadamente 10
    digitalWrite(13, LOW);
    delayMicroseconds(50);
}
```

Fuente: Autores.

Figura 4.20 Pulso necesario para que motor de un paso.



Fuente: Autores.

4.1.2.2.3 Inicializaciones

Para lograr un chequeo efectivo de las tarjetas electrónicas la captura de la imágenes se debe llevar siempre desde la misma posición con la cámara, para esto se programó un comando de inicialización que coloca la cámara siempre en el mismo punto. Lo primero que realiza el programa es colocar los brazos en el punto cero, para esto el programa mueve los motores y testea los fin carrera así se pueda determinar cuándo se ha llegado a la posición deseada (Figura 4.21), una vez ubicado en el punto cero en el eje X y en el eje Y se cuenta un número predeterminado de pasos en cada dirección y se ubica la cámara en el sitio deseado para realizar la configuración (Figura 4.22).

Figura 4.21 Programa que ubica el actuador en el punto cero.

```
void iniciar()
{
    swxlval = digitalRead(swx1);
    swylval = digitalRead(swyl);

    while(swxlval == HIGH)
    {
        abajoi();
        swxlval = digitalRead(swx1);
    }
    while(swylval == HIGH)
    {
        derechai();
        swylval = digitalRead(swyl);
    }
    var=0;
    zero();
}
```

Fuente: Autores.

Figura 4.22 Programa que ubica el actuador en el punto inicial.

```

void zero()
{
    while(cont < 2000 )
    {
        arribai();
        cont ++;
    }
    while(cont1 < 2000 )
    {
        izquierdai();
        cont1 ++;
    }
    cont=0;
    cont1=0;
    var = '0';
}

```

Fuente: Autores.

4.2 Programa para adquisición y tratamiento de imágenes

Una vez analizadas y ejecutadas las técnicas para el rediseño de la máquina prototipo encargada de la revisión de tarjetas electrónicas, se describirán las técnicas empleadas en el desarrollo de la programación del software que controla las funciones del sistema de control, comunicación y mecanismo de funcionamiento, usando el software de programación gráfica LabVIEW.

El proceso de verificación de tarjetas electrónicas se realiza en dos partes. La primera consiste en la ejecución de un programa que se encarga de realizar la captura de imágenes de las tarjetas electrónicas base, que servirán como información en la base de datos al momento de realizar la revisión. Luego de generar la base de datos se puede dar inicio a la segunda parte, el proceso de revisión de las tarjetas.

Al tratarse de un proceso de revisión, este se conforma por etapas de programación que corresponden a los diferentes subprocesos que la máquina realiza a medida que el programa está funcionando.

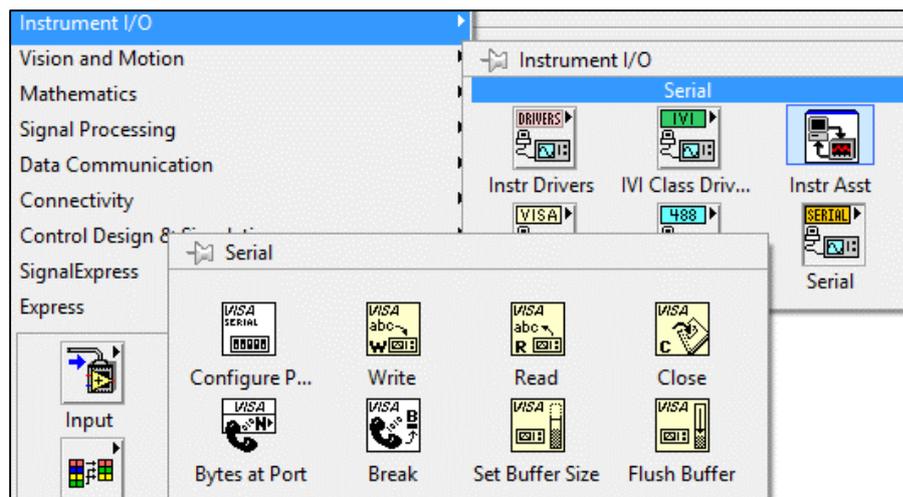
Las subprocesos funcionan de forma coordinada y se distribuyen así:

- Inicialización
- Captura de imágenes
- Análisis
- Resultados

4.2.1 Programa de sistema de comunicación

Basados en el diseño y construcción de la tarjeta que contiene el sistema de comunicación, la transmisión y recepción de información es de forma serial, es así que se usó las herramientas de la paleta *Instrument I/O* (Figura 4.23), del software de programación LabVIEW para el envío y recepción de datos.

Figura 4.23 *Instrument I/O*.



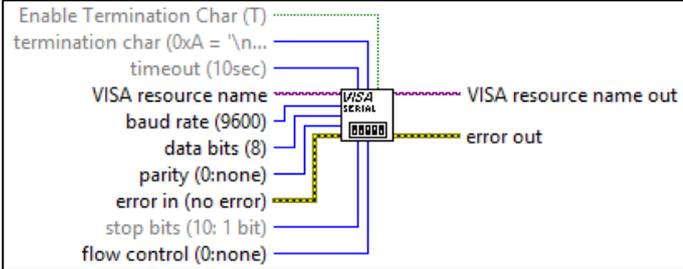
Fuente: Autores.

4.2.1.1 Configuración comunicación serial

Para lograr la comunicación serial máquina – PC, se debe realizar un proceso de configuración del medio por el que se va a realizar la transmisión y recepción de datos. Es así que se utilizó la herramienta *VISA Configure Serial Port* (Figura 4.24), que permite configurar el *COM* con el que se va a trabajar, teniendo en cuenta el nombre del mismo, la tasa de baudios, paridad y error. Dichos datos se configuraron de acuerdo

a las características de la tarjeta con la que se trabajó y el tipo de PC con la que se realizó el diseño y las pruebas de funcionamiento.

Figura 4.24 VISA Configure Serial Port.



Fuente: Autores.

Las configuraciones que se establecieron de acuerdo a las características antes mencionadas fueron:

Tabla 4-1 Configuración VISA Configure Serial Port

Configuraciones	Dato
VISA resource name	Depende del COM conectado
Tasa de baudios (baud rate)	9600
Bits de datos	8
Paridad	Ninguna

Fuente: Autores.

Las configuraciones adicionales que requiere la herramienta no se conectaron, ya que no se necesitó usar de forma específica, si no por defecto.

4.2.1.2 Transmisión y recepción de datos

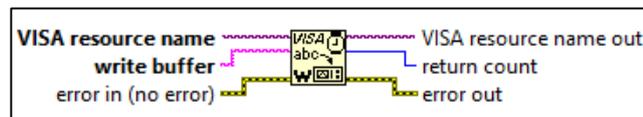
Al ser un sistema que recibe y envía datos para realizar e indicar el estado de procesos que se ejecutan, es indispensable realizar la configuración para el envío y recepción de datos.

Luego de realizar las configuraciones que cumplen con los requerimientos para el programa que se diseñó y que se indicaron anteriormente, se continúa con la programación para el envío y recepción de datos mediante comunicación serial.

4.2.1.2.1 Transmisión de datos

El sistema prototipo se diseñó y construyó para transmitir datos empleando la herramienta VISA Write (Figura 4.25), a través del puerto serial conectado al equipo.

Figura 4.25 VISA Write.



Fuente: Autores.

La herramienta requiere de conexiones para poder funcionar, tal como se indica en la figura 4.25:

VISA resource name → Identifica el *port*
Write buffer → Corresponde al texto que se enviará

Una vez configurados y conectados estos valores, la información se envía dependiendo de la lógica de programación que se aplique. En el caso específico del sistema de comunicación para la verificación de tarjetas electrónicas, la información se envía únicamente cuando se requiere que la máquina realice un movimiento, o se inicialice en el punto cero de la máquina.

Las instrucciones son enviadas en caracteres, configurados de forma que la tarjeta de control los interprete y ejecute. Para relacionar los movimientos con los datos que se envían se tomó una letra de cada dirección:

Tabla 4-2 Comandos VISA Write.

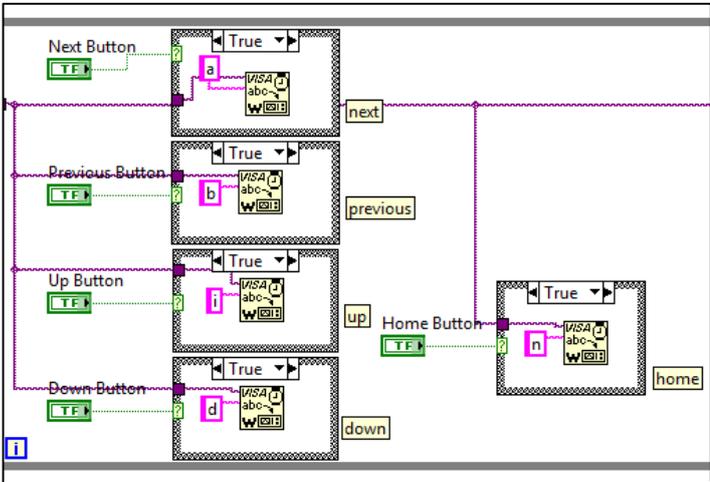
Dirección	Código
Arriba	a
Abajo	b
Izquierda	i
Derecha	d
Inicialización (Home)	n

Fuente: Autores.

De la misma manera para posicionar la máquina en los lugares específicos para realizar la captura de imágenes de la tarjeta que se revisa, se asignaron caracteres que los identifiquen.

Ya que cada movimiento se realiza en un momento específico indicado por los datos que se envían, dependiendo de la dirección en la que se debe desplazar el sistema de exploración de la máquina; cada transmisión es independiente, se envía únicamente el dato que haya sido activado. En la figura 4.26 se muestra un esquema del proceso de transmisión de datos, comandado por estados lógicos que al ser activados su estado cambia de *false* a *true* y se realiza la transmisión de caracteres.

Figura 4.26 Transmisión de datos – Visa Write.



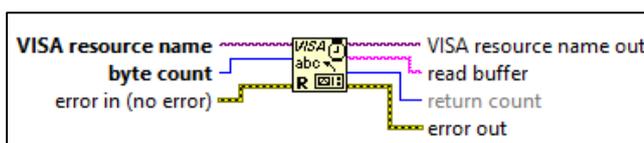
Fuente: Autores.

Cada dirección de movimiento está dentro un *Case Structure*, lo que permite enviar únicamente el dato que activa cada proceso. Asegurando de esta forma que los movimientos que se realizan sean los indicados.

4.2.1.2.2 Recepción de datos

De forma similar a la transmisión de datos, para realizar la recepción se realizó con la herramienta *VISA Read* (Figura 4.27), que también requiere datos de configuración como el nombre del *port*, y a diferencia del *VISA write* necesita un contador de bytes que limita el tiempo que la herramienta realiza la lectura del *port* y lo libera para nuevos procesos. Además cuenta con una salida, que permite visualizar la información que se recibe.

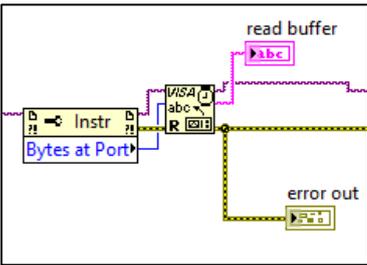
Figura 4.27 *VISA Read*



Fuente: Autores.

La comunicación serial que se emplea en el sistema de verificación se establece mediante un canal *half - dúplex*, es por esto que al realizar las pruebas iniciales de recepción de información se presentaron problemas, ya que al no establecer un tiempo máximo de lectura el canal se ocupaba y no se podía realizar una nueva transmisión. Se buscó una herramienta que permita realizar la lectura de datos únicamente cuando estos lleguen a través del canal, y se encontró que LabVIEW ofrece herramientas denominadas *property node* que permiten configurar diferentes características de diversas herramientas, y es así que usando el *property node (Bytes at port)*, el cual permitió a la herramienta *VISA Read* (Figura 4.28), leer únicamente la cantidad de bytes que llegan al puerto, evitando así que el puerto se mantenga ocupado a la espera de más datos, o se desborde por la cantidad de los mismos, logrando así realizar de forma exitosa la transmisión y recepción de datos mediante comunicación serial.

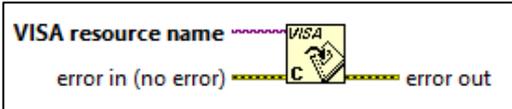
Figura 4.28 Configuración VISA Read.



Fuente: Autores.

Para finalizar el proceso de TX y RX de datos empleando las herramientas de comunicación serial que ofrece LabVIEW, es necesario cerrar la sesión que permitió inicializar el *port* por el que se transmiten y envían los datos. La herramienta que permite realizar este proceso se denomina *VISA Close*.

Figura 4.29 VISA Close.



Fuente: Autores.

Luego de establecer las respectivas conexiones entre las herramientas de configuración, escritura, lectura y cerrar sesión, se puede decir que el código para la comunicación serial está completo. Estará sujeto a variaciones dependiendo del tipo de códigos de dirección y la forma que se controlará la activación para el envío de un código específico que se establecerá adelante cuando se realice la programación para el procesamiento de imágenes y control del mecanismo de exploración.

4.2.2 Sistema de adquisición de imágenes

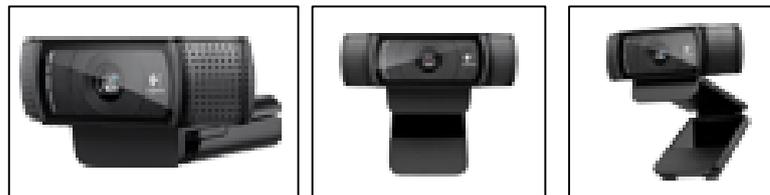
Una vez completada la programación para realizar la comunicación máquina – PC, la etapa que se describirá es la programación para la adquisición de imágenes, tomando en cuenta factores indispensables al momento de realizar este proceso, como la cámara con la que se trabajará y el programa en sí, que se encargará de realizar la captura de imágenes y almacenamiento de información en una base de datos, que en la siguiente etapa servirá como referencia para la revisión de las tarjetas electrónicas.

4.2.2.1 Cámara

Tras analizar en el capítulo 3, las características básicas que debe contener la cámara con la que se trabajará, se optó por la Logitech HD Pro Webcam C920 (Figura 4.30), puesto que brinda mayor velocidad de transmisión de datos, además de mayor resolución y ángulo de visión; lo que permite que el proceso de revisión se realice con menos imágenes, ya que con pocos movimientos del mecanismo de exploración se puede abarcar de forma más eficiente el área de la tarjeta que está siendo revisada.

Adicional es una cámara que se conecta a través de USB 2.0 y es también compatible con USB 3.0. Al trabajar en un sistema prototipo, la cámara que se seleccionó es también una cámara prototipo, si en algún punto la Armada del Ecuador decide implementar el sistema de revisión de forma permanente, la cámara deberá ser remplazada por una cámara industrial.

Figura 4.30 Vistas Logitech HD C920.

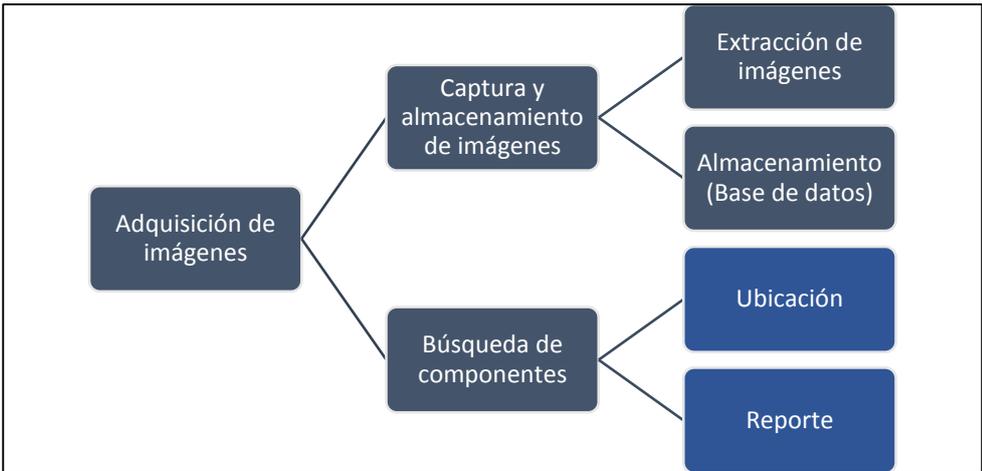


Fuente: Logitech. [En línea]. [22 de abril de 2014]

4.2.2.2 Programa de adquisición de imágenes

Como se había mencionado, el funcionamiento del programa de revisión de tarjetas electrónicas se divide en dos partes, la primera para la captura y almacenamiento de información en la base de datos y la segunda en la búsqueda y revisión de componentes (Figura 4.31). Tanto en el proceso de captura y almacenamiento de imágenes, como en el proceso de búsqueda se realizó procesos de adquisición de imágenes, que siguen la misma lógica para la inicialización.

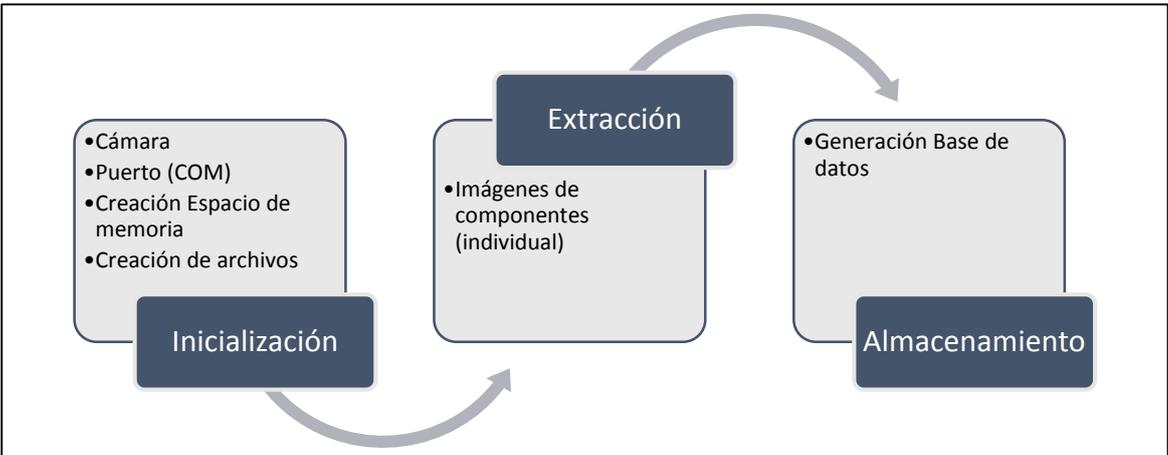
Figura 4.31 Esquema del programa de adquisición de imágenes.



Fuente: Autores.

En el primer programa diseñado para la captura y almacenamiento de imágenes, luego de la inicialización de las herramientas, se desarrolló un código para realizar la extracción de las imágenes individuales de cada componente y almacenamiento de los mismos en una base de datos (Figura 4.32). Al momento que el sistema prototipo entre a operar este programa será ejecutado únicamente cuando se ingrese un nuevo tipo de tarjeta, o cuando se realicen modificaciones que alteren la estructura con la que fue ingresada originalmente una tarjeta base. Caso contrario el programa que se estará ejecutando continuamente será el encargado de la búsqueda de los componentes.

Figura 4.32 Adquisición y almacenamiento de imágenes.



Fuente: Autores.

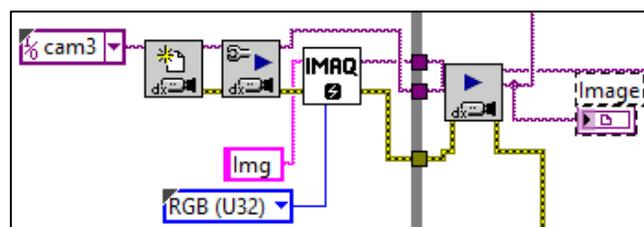
4.2.2.2.1 Inicialización

Para adquirir las imágenes, se debe definir inicialmente diferentes características que determinaran el desarrollo del proceso que viene a continuación de esta etapa. Es así que en el proceso de inicialización se trabaja en las configuraciones para los elementos de adquisición de imágenes, además de los que permiten la creación o modificación de archivos que formarán parte de la base de datos.

Como se dijo en el capítulo 3 la programación es en bajo nivel, es por esto que el primer paso a dar es la configuración del inicio de sesión de la cámara usando las herramientas IMAQdx *Open Camera* e IMAQdx *Configure Grab*, creación del espacio de memoria haciendo uso de IMAQ *Create* y la configuración del tipo de imagen (color, video o fotografía).

Al tratarse de un sistema que captura imágenes a partir de un video se decidió trabajar con imágenes tipo RGB (Figura 4.33), que se muestran en un *Image display*. La visualización del video debe ser continua es por esto que se utiliza una estructura *While loop*, la misma que permite la visualización del video a lo largo del proceso o hasta que el usuario decida finalizar la ejecución del programa.

Figura 4.33 Configuración Cámara.



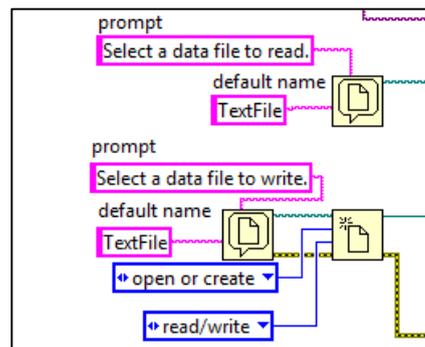
Fuente: Autores.

De forma paralela en esta etapa también se realiza la configuración e inicialización de las herramientas que permiten crear y modificar los archivos que serán parte de la base de datos de las imágenes de los componentes. Para esto se usa las herramientas de la paleta *File I/O* de LabVIEW.

Se inicia con la herramienta *File Dialog*, que permite escribir el mensaje que se muestra al momento de generar o abrir un archivo, además de establecer el tipo de archivo que se desea obtener. Estos datos se configuraron como constantes, ya que se mantendrá de forma estándar los archivos de texto (Figura 4.34). Luego se configura la opción que se aplica al archivo que se genera, estas opciones pueden ser abrir, crear o reemplazar.

En el programa de adquisición de imágenes se configura la herramienta para que genere un archivo, lo abra y se permita su escritura y lectura (Figura 4.34). Así mismo se configura otro archivo para ser leído, este archivo consiste en una hoja de datos que contiene las especificaciones de los componentes y sirven para relacionar el nombre del componente con su respectiva captura de imagen.

Figura 4.34 Configuración Archivos.



Fuente: Autores.

De forma adicional estas herramientas permiten que el usuario establezca el nombre y la ubicación del archivo que se va a escribir y leer.

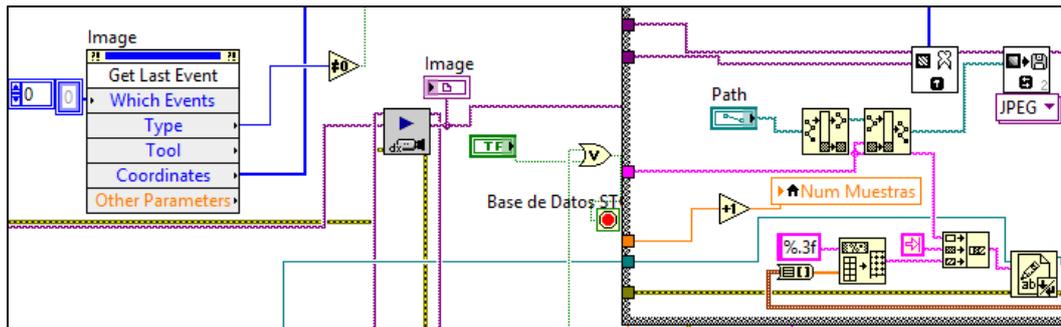
4.2.2.2.2 Extracción de imágenes

La extracción de imágenes hace referencia al programa para la captura y almacenamiento de imágenes, que a lo largo del proceso de revisión se requieren. Para realizar este proceso se inicia con la adquisición partiendo de una entrada tipo video. Luego de determinar el componente que se va a capturar, se procede a realizar un extracto de la imagen, mediante un *Invoke node (Get last event)* del *display Image*, que

permite obtener las coordenadas del último movimiento que se ha realizado sobre el video que se está tomando de la tarjeta electrónica (Figura 4.35).

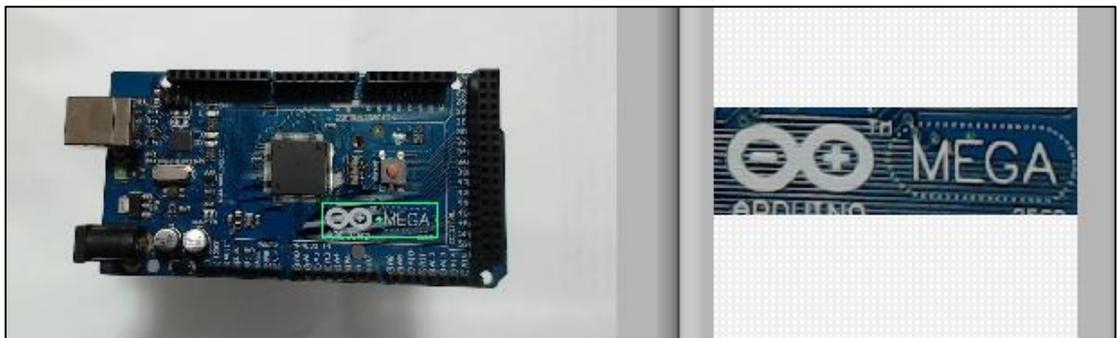
Una vez obtenidas las coordenadas de la imagen extraída, estas son enviadas a la herramienta *extract*, que tal como se describió en el capítulo 3 se encarga de obtener un extracto de la imagen de acuerdo con las coordenadas entregadas (Figura 4.36).

Figura 4.35 Programa para extracción de imágenes.



Fuente: Autores.

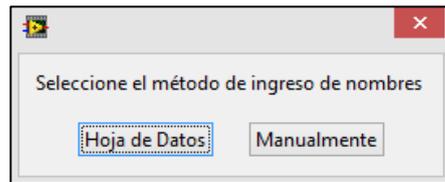
Figura 4.36 Extracto de imagen.



Fuente: Autores.

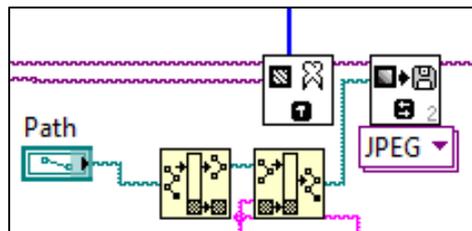
Obtenida la imagen del componente especificado, esta va a ser almacenada en la base de datos que se genera a partir del nombre del componente y su ubicación. El nombre puede estar generado de forma automática de acuerdo con las especificaciones de una hoja de datos que se ingresa al sistema, o puede ser digitado por el operador del programa dependiendo de la selección realizada al inicio de la ejecución del programa.

Figura 4.37 Selección método de ingreso.



Fuente: Autores.

Para almacenar la imagen se usa la herramienta IMAQ *Write File 2*, conectando a su entrada la imagen original, un nuevo espacio de memoria y las coordenadas de la imagen, además de un *path* o dirección donde se almacenará.

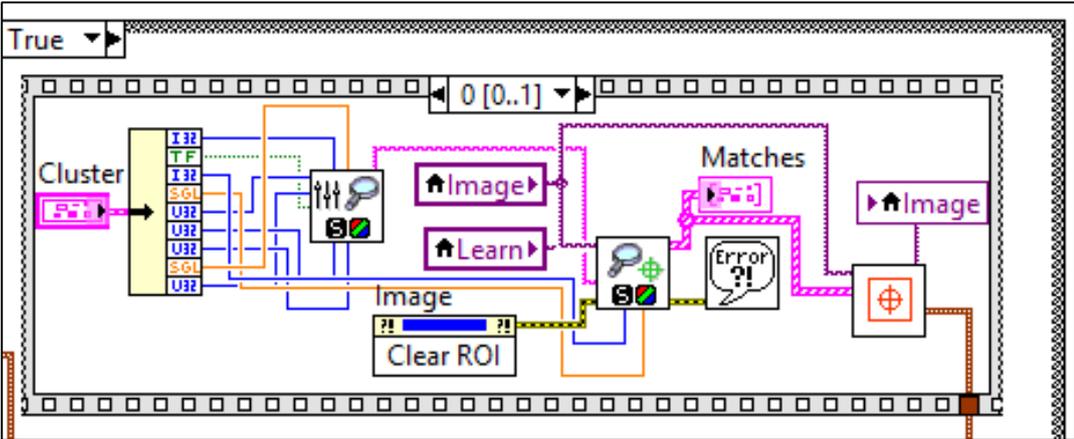
Figura 4.38 *Extract - IMAQ Write File 2*.

Fuente: Autores.

4.2.2.2.3 Programa de base de datos

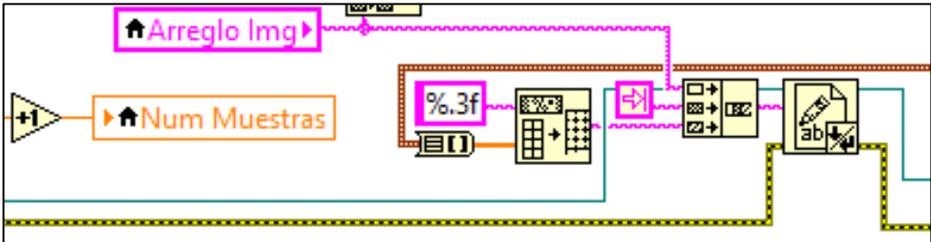
Luego de almacenar la imagen del componente, esta se aprendida mediante la herramienta IMAQ *Learn Color Pattern* y se obtiene la información, en este caso las coordenadas del extracto en la imagen original. Las coordenadas son obtenidas a partir del SubVI *Overlay Matches Position Color* (Figura 4.39) y enviadas a un *Array Spreadsheet String* para convertir los datos de las coordenadas a *strings* separados por tabulaciones, que a su vez se concatenan con el nombre de la imagen del componente, dando forma así a la base de datos del componente (Figura 4.40), que se genera en un archivo único para cada tarjeta que está siendo escaneada.

Figura 4.39 Análisis de imagen aprendida y obtención de coordenadas.



Fuente: Autores.

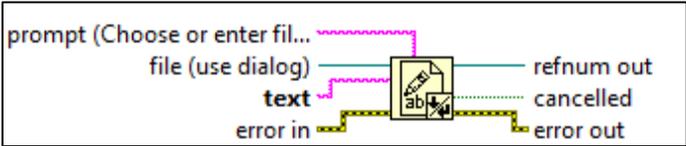
Figura 4.40 Concatenate String y escritura de archivo.



Fuente: Autores.

Los datos son almacenados en el archivo de texto a través de la herramienta *Write to text file* (Figura 4.41), luego de que se realiza la concatenación del nombre del componente, las coordenadas *X* y *Y* (Figura 4.42), estos son enviados como entrada a la herramienta para escribir el archivo, además del *path* donde este se almacenará.

Figura 4.41 Write to text file.



Fuente: Autores.

Figura 4.42 Datos almacenados en la base de datos.

A0.JPEG	257,000	469,000
A1.JPEG	1764,000	338,000
A2.JPEG	1830,000	383,000

Fuente: Autores.

Cada vez que se ejecute el programa de adquisición de imágenes, debe finalizarse la sesión de la cámara y cerrar los archivos que se abrieron. Para cada una de estas acciones se utilizaron las herramientas IMAQdx *Close camera* y *Close file* respectivamente.

Figura 4.43 IMAQdx *Close camera* – *Close file*

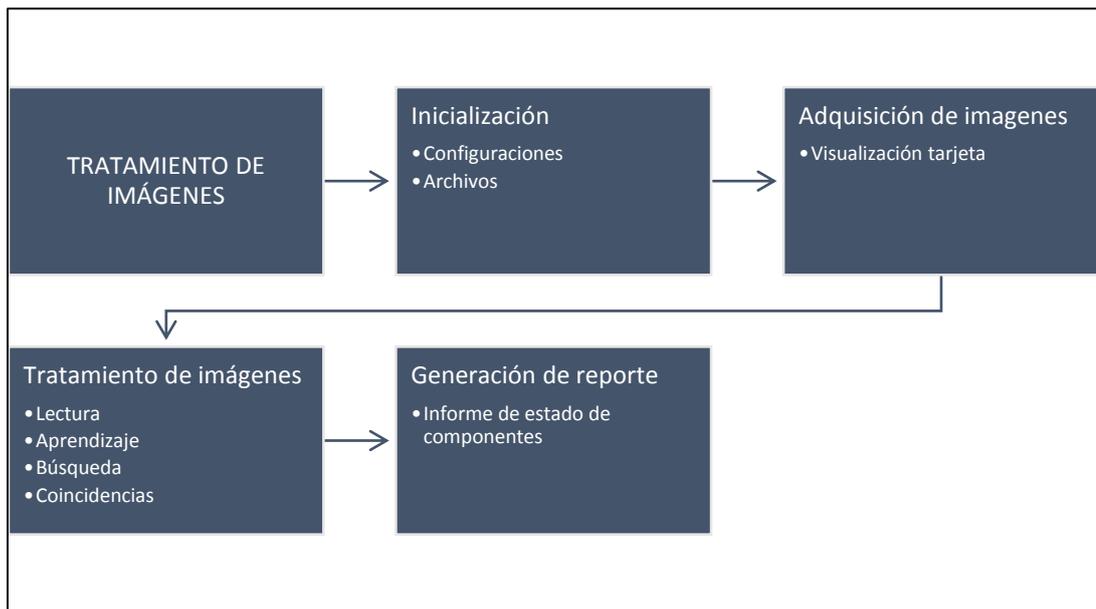


Fuente: Autores.

4.2.3 Programa de tratamiento de imágenes

Como segunda etapa del proceso se procedió a diseñar la programación para el estudio y obtención de resultados a partir de las imágenes. Inicialmente se determinó la lógica que tendría este programa. Obteniendo así una secuencia que empieza con la inicialización de componentes (cámara, archivos, etc.). Luego se procedió a realizar la captura de imágenes a partir de la tarjeta que está siendo revisada, para que mediante la lectura de características y aprendizaje de las mismas, se proceda a la búsqueda de coincidencias en la misma, basados en los datos que se extraen del archivo de bases de datos correspondiente a la tarjeta que se está escaneando en el momento de la ejecución del programa.

Figura 4.44 Proceso de tratamiento de imágenes



Fuente: Autores.

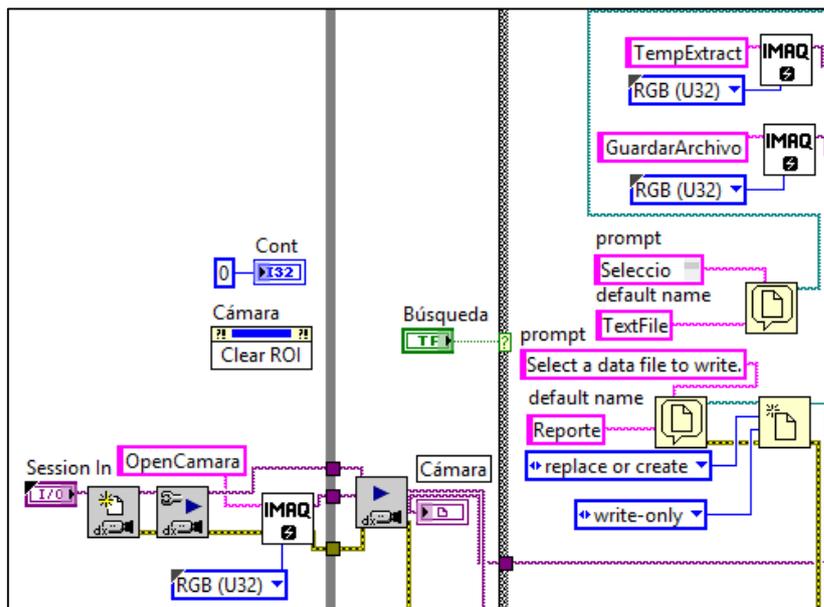
Y así finalmente se genera un archivo de reporte que señala los resultados que se obtuvieron en el proceso de revisión.

Este proceso contiene etapas como la inicialización de herramientas, adquisición de imágenes, que se desarrollaron la primera parte del programa que corresponde a la creación de la base de datos. Es así que se emplean elementos que ya se estudiaron y describieron anteriormente.

4.2.3.1 Inicialización

En esta etapa del programa se realizó una programación similar para la inicialización de las herramientas, con pequeñas variaciones dependiendo de la función para la cual cada herramienta fue programada. En esta fase fue necesario configurar la cámara en modo video, espacios de memoria, además de archivos que en este caso necesitaban ser creados para reportes y otros para ser leídos a partir de la base de datos (Figura 4.45).

Figura 4.45 Inicialización de herramientas.



Fuente: Autores.

Es así que se configuró dos archivos independientes que corresponden a la lectura de la hoja de especificaciones generada anteriormente en la base de datos, y al archivo que servirá para escribir un reporte acerca del estado de los componentes al final de la revisión de las tarjetas. Para esto al momento de iniciar con el proceso de búsqueda la interfaz permite buscar la hoja de datos correspondiente a la base de datos de la tarjeta que se revisará además de señalar la ubicación del archivo reporte.

4.2.3.2 Adquisición de imágenes

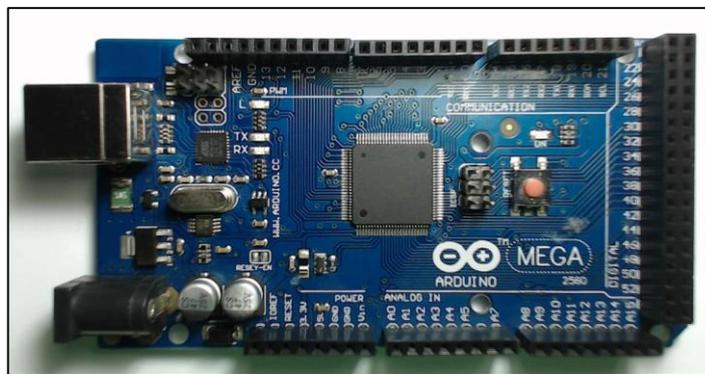
Una vez configuradas e inicializadas las herramientas, se procedió a realizar la adquisición de imágenes de la placa que está siendo revisada, ya que en base a cada imagen se realiza la búsqueda de los componentes en la misma. El número de imágenes que se adquieran dependerá del tamaño de la tarjeta, además del ángulo de captura de la cámara. Al momento del desarrollo del prototipo se contó con la cámara web Logitech C920 que permite un mayor ángulo de visión a diferencia de las usadas anteriormente. El tamaño promedio de las tarjetas electrónicas que se usaron en las pruebas del prototipo, permitió que se abarque el área total de la tarjeta en 6 capturas de imágenes.

Las imágenes que se adquieren de la tarjeta son temporales, ya que sirven para realizar la búsqueda de las imágenes que constan en la base de datos, pero al finalizar el proceso estas son eliminadas, de manera que se ocupe el menor espacio de memoria posible, porque al trabajar con imágenes un gran inconveniente es la memoria que se emplea.

Al activar el método que se encarga de la búsqueda de coincidencias, inicia el proceso de adquisición de las imágenes, seguido por el proceso de tratamiento y análisis de las mismas. La captura de cada imagen se realiza luego de que se haya realizado la búsqueda en la imagen anterior, ya que al ser imágenes temporales, al finalizar la revisión son eliminadas.

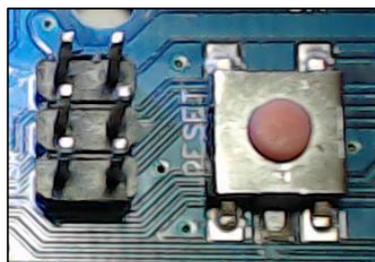
El proceso de adquisición es similar al que se empleó en la primera etapa del sistema (Figura 4.45), a diferencia de este las imágenes que se capturan en este caso son imágenes completas del área que cubre la cámara, no así en la primera etapa, que se realizaba la captura de extractos de imágenes que correspondían a los componentes de la tarjeta y sirven como base de datos de la misma.

Figura 4.46 Imagen adquirida (Parte II).



Fuente: Autores.

Figura 4.47 Imagen adquirida (Extracto- Parte I).

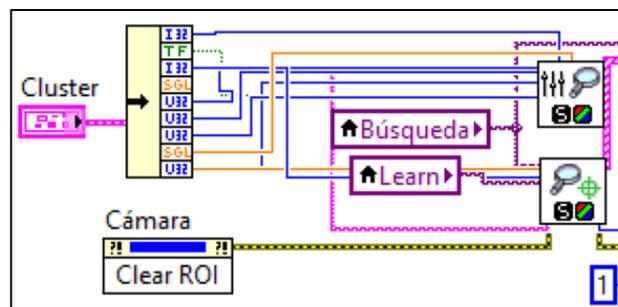


Fuente: Autores.

4.2.3.3 Tratamiento de imágenes

Luego de obtener la imagen de la tarjeta que se está revisando, inicia el proceso de tratamiento de las imágenes. La imagen adquirida se lee desde el archivo donde se almacenó temporalmente y se conecta a las herramientas que permiten el análisis de coincidencias en dicha imagen: *IMAQ Setup Match Color Pattern* e *IMAQ Match Color Pattern* (Figura 4.48). De forma adicional a estas herramientas se conectan controles que permiten realizar las configuraciones para los procesos de búsqueda.

Figura 4.48 *IMAQ Setup Match Color Pattern – IMAQ Match Color Pattern*.

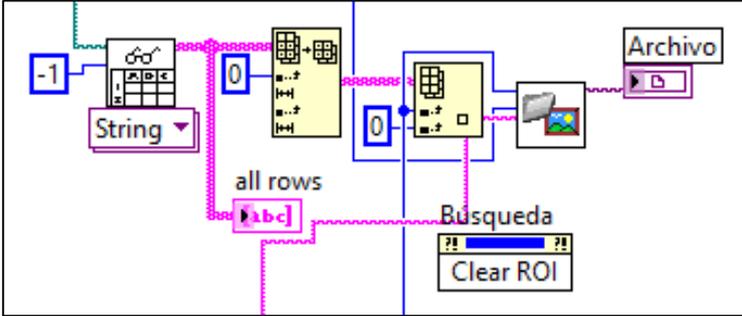


Fuente: Autores.

A dichas herramientas también llega una imagen adicional que es extraída a partir de los registros de la base de datos que se generó anteriormente y es aprendida de manera que se convierte en un patrón de búsqueda en la imagen que se adquirió de la tarjeta. Para acceder a las imágenes patron correspondiente de la tarjeta que se está escaneando, se parte del archivo de base de datos que se selecciona al inicio de la ejecución del programa.

El archivo está compuesto por el nombre del componente (nombre de la imagen) y las coordenadas de la base de datos; este se lee a través de una herramienta denominada *Read from spreadsheet file* (figura 4.49), la misma que devuelve una matriz de elementos. Es así que con el uso de herramientas que permiten trabajar con arreglos de n dimensiones se extrajo el nombre de los componenets, uno a uno.

Figura 4.49 Lectura de base de datos.

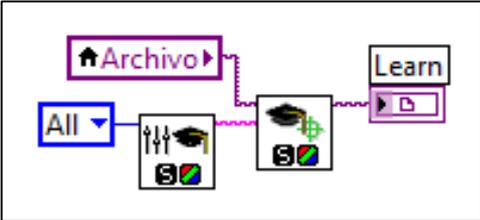


Fuente: Autores.

La lectura de cada elemento se realizó mediante iteraciones, haciendo uso de una estructura *For loop*, la misma que permite que se realice un número limitado de búsquedas, sujeto a la cantidad de archivos existente en la base de datos. Cada vez que se realiza una iteración en la estructura *for loop*, mediante el uso del SubVI Extracción de imágenes se accede a la base de datos de las imágenes, es decir al lugar donde estas se almacenaron al momento de realizar la base de datos.

Este SubVI se encarga de extraer la imagen y conectarla a la herramienta IMAQ *Learn Color Pattern* (Figura 4.50), que se encarga del aprendizaje de la misma y su conexión para que la herramienta que realiza la búsqueda de coincidencias ejecute su función (Figura 4.48).

Figura 4.50 Aprendizaje de patrones.

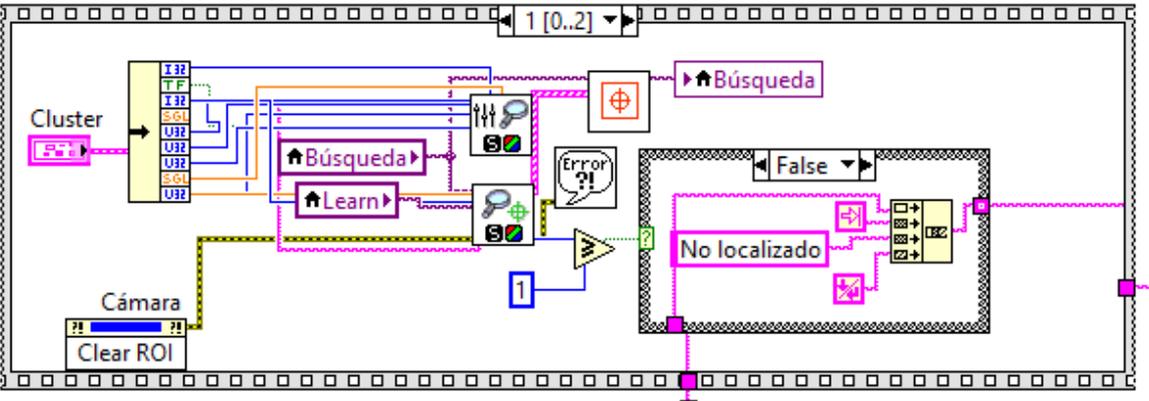


Fuente: Autores.

4.2.3.3.1 Proceso de Búsqueda

Una vez obtenidos y aprendidos los patrones de las imágenes esto son buscados en la imagen de la tarjeta que se está escaneando, a través de las herramientas IMAQ *Setup Match Color Pattern* e IMAQ *Match Color Pattern*, las mismas que generan un número de coincidencias que indica al usuario que el patrón fue localizado o no en la imagen base de la tarjeta.

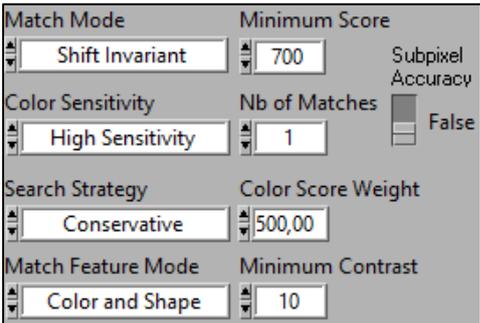
Figura 4.51 Búsqueda de coincidencias.



Fuente: Autores.

Para buscar las coincidencias en la imagen se puede configurar diferentes parámetros como: sensibilidad, búsqueda de color y forma, número de coincidencias, etc. tal como se muestra en la figura 4.52. Al definir las configuraciones de búsquedas los resultados se verán limitados dependiendo de lo que se requiere, haciendo que este proceso sea más minucioso y el porcentaje de error disminuya al momento de buscar las coincidencias.

Figura 4.52 Clúster de configuraciones.



Fuente: Autores.

Adicionalmente se usó también el SubVI *Overlay Matches Position Color*, para que se muestre en la imagen el lugar donde se ubica la coincidencia encontrada, para que el resultado sea un más visual.

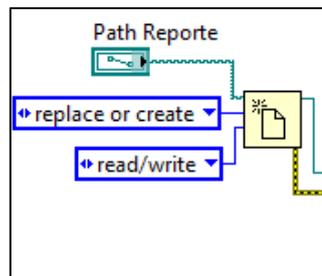
Este proceso de tratamiento de imágenes se realiza tantas veces como archivos existan en la base de datos correspondiente a la tarjeta electrónica que se está revisando.

4.2.3.3.2 Generación de reporte

Al realizar la revisión de cada componente, se genera o no una coincidencia del mismos con su imagen correspondiente en la base de datos. Es así que luego de realizar la búsqueda de los componentes en cada una de las posiciones señaladas se genera un archivo reporte, usando las iteraciones de una estructura for loop que permiten escribir el estado de componente. Este es un archivo de texto que al inicio de la ejecución de programa debe ser generado en el lugar especificado por el usuario (Figura 4.53).

Al final del proceso de revisión y búsqueda de componentes el archivo reporte generado contiene los datos de los componentes que a lo largo del proceso no fueron localizados.

Figura 4.53 configuración Archivo – Reporte.



Fuente: Autores.

CAPÍTULO V

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Una vez diseñado y construido el sistema prototipo propuesto, es indispensable realizar pruebas que demuestren su funcionamiento, para en base a los resultados poder complementar el trabajo o corregir errores en caso de existir, obteniendo un sistema de verificación de tarjetas electrónicas que genere un archivo reporte que indica el resultado del trabajo de revisión, con el propósito de disminuir el tiempo de ejecución de este proceso. Es así que en este capítulo se muestran los resultados que se obtuvieron a partir de las pruebas de funcionamiento de la máquina prototipo para la verificación de tarjetas electrónicas usando visión artificial. Además de concluir con recomendaciones acerca del trabajo que se ha realizado hasta el momento como parte del prototipo propuesto, que se entregó y queda como plataforma de desarrollo en las instalaciones del departamento de innovación de la Armada del Ecuador.

5.1 Funcionamiento general

Luego de realizar el código que controla el funcionamiento de la máquina y el proceso de visión artificial aplicado para la revisión de tarjetas electrónicas, se integró ambos procesos y se logró obtener una máquina que funciona en base a un software diseñado a partir de LabVIEW y Arduino. La máquina está diseñada de manera que al iniciar un proceso de revisión o creación de base de datos, el sistema mecánico se desplace a lo largo del área de los ejes, según los requerimientos que son configurados.

El programa tiene que controlar la máquina modificada mediante una interfaz de comunicación adaptada a la placa de control del mecanismo, la que nos permite el completo mando de sus dispositivos y la monitorización de sus sensores. El trabajo vinculado de la máquina modificada, los medios de interfaz y el programa control tienen como fin un reporte el cual es el resultado de la inspección, siendo esto usado

por el operador de la máquina prototipo para llevar a cabo un mantenimiento a la placas, si es que estas lo necesitaran.

Es así que se describirá el funcionamiento de la máquina prototipo, ejecutando el programa de control de movimientos del mecanismo de exploración y el proceso de búsqueda de componentes, al mismo tiempo como parte de la etapa final que se propuso en este sistema prototipo, para obtener finalmente resultados.

En capítulos anteriores se había dicho que el funcionamiento del sistema prototipo se realiza en dos etapas: la primera es una fase de inicialización que consiste en la creación de un archivo de base de datos correspondiente a la placa base, el mismo que servirá como referencia para el proceso de búsqueda que corresponde a la segunda etapa. El proceso de búsqueda se realiza a partir de la selección de la tarjeta, buscando coincidencias y generando un reporte.

A medida que se realizan ambos procesos de forma individual, el software diseñado se encarga también de controlar los movimientos del mecanismo de exploración de la máquina, lo que permite que se puedan realizar dichos procesos, convirtiéndose así en un sistema que funciona en base a movimientos del mecanismo, ejecución de un software de control y búsqueda de componentes. Para lograr un mayor conocimiento acerca del funcionamiento del sistema prototipo, a continuación se describe el funcionamiento general de la máquina y el software.

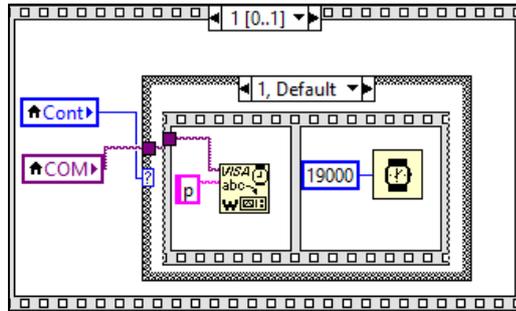
5.1.1 Funcionamiento Mecánico

Como se mostró en el capítulo 4 la máquina está dividida en dos ejes de movimiento X y Y, los mismos que están controlados por el funcionamiento de motores a pasos, que a su vez son comandados mediante el software de control diseñado en LabVIEW.

Para controlar los movimientos de los ejes del mecanismo de exploración, a través de la comunicación serial establecida entre la máquina y la PC, se envían caracteres que permiten el control de movimientos en base a la programación desarrollada con código Arduino. Al ser un programa que funciona de forma paralela, el movimiento de los ejes está sujeto a los procesos que el software de control esté realizando, en este caso

el proceso de creación de base de datos y búsqueda de componentes. Cuando el sistema finaliza un proceso de búsqueda, envía un código que es interpretado como movimiento a una posición específica, la misma que al ser establecida permitió que los procesos de búsqueda se realicen de forma precisa (Figura 5.1).

Figura 5.1 Control de movimientos – LabVIEW.



Fuente: Autores.

Los comandos programados para realizar los movimientos del mecanismo de exploración de forma automática, para cubrir el área de las tarjetas, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5-1. Comandos de control de movimiento (automático).

Comando	Movimiento
P	Área 1
O	Área 2
L	Área 3
K	Área 4

Fuente: Autores.

Haciendo referencia al tipo de placa que se usaron para realizar el proceso de desarrollo del sistema prototipo, se abarco el área de búsqueda en 4 movimientos, los mismos que fueron programados como movimientos automáticos durante el proceso de búsqueda (Figura 5.2).

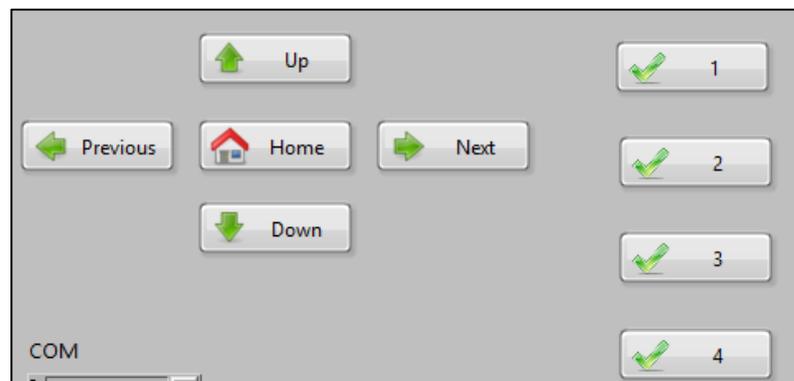
Figura 5.2 Áreas de búsqueda.



Fuente: Autores.

Adicionalmente se creó un control que permita al operador del programa mover la máquina de forma manual, ya que puede requerirse realizar un movimiento diferente al que se programó como específico (Figura 5.3). Así mismo se añadió un botón que permita inicializar la máquina, con el objetivo de poner en cero ambos ejes y asegurar que el posicionamiento del mecanismo de exploración sea el correcto.

Figura 5.3 Control de movimientos.



Fuente: Autores.

5.1.2 Funcionamiento Software

Luego de conocer el funcionamiento del mecanismo de exploración a partir del control mediante software se describen los procesos que este realiza de forma simultánea, para los procesos donde se aplica las técnicas de visión artificial.

5.1.2.1 Creación base de datos

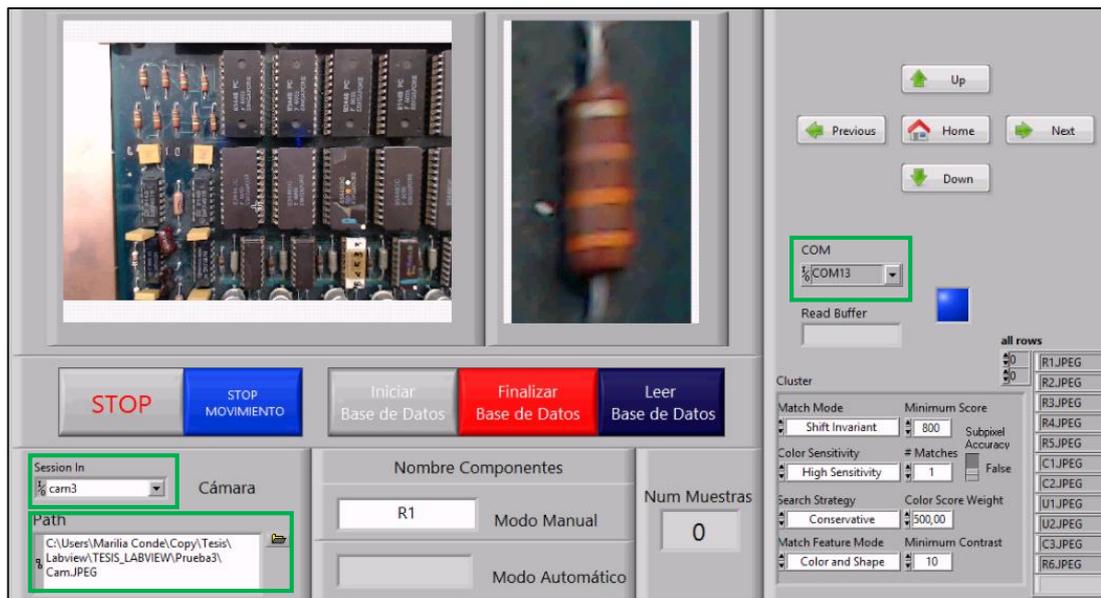
Como fase inicial del proceso, el programa dedicado a la creación de la base de datos es el primero en ejecutarse, para obtener así un registro de imágenes y datos, que permitan realizar las siguientes etapas que comprenden el sistema prototipo de revisión de tarjetas electrónicas.

El programa inicia con la configuración de los parámetros necesarios para el funcionamiento del mismo: Puerto COM, Nombre de la cámara, Dirección de almacenamiento de archivos en el panel frontal del archivo Creación Base de Datos.vi (Figura 5.4). Una vez realizadas las configuraciones, se da inicio a la ejecución del programa, el mismo que muestra una ventana al usuario donde pregunta si desea realizar el ingreso de los nombres de los componentes de forma manual o de forma automática a partir de una hoja de datos que se debe seleccionar cuando el programa lo requiere.

Establecido el método de ingreso de los componentes, el siguiente paso es realizar el extracto de los componentes a partir de la placa que se está escaneando. Tal como se acordó el área de revisión se abarca en cuatro movimientos programados, que pueden ser activados mediante los botones del panel frontal (Figura 5.3); existe también la posibilidad que el usuario pueda leer el progreso de la base de datos pulsando la opción Leer base de datos en el mismo panel.

Luego que el usuario considere que la creación de base de datos está realizada, debe finalizar la misma. Obteniendo al final de este proceso una carpeta que contiene un archivo que almacena los nombres de los componentes y las imágenes de los mismos.

Figura 5.4 Panel Frontal – Creación Base de Datos.vi.



Fuente: Autores.

El archivo que contiene los nombres se crea con tres columnas, la primera indica el nombre del componente y nombre de la imagen, y las dos siguientes las coordenadas del mismo en la imagen del área donde se encuentra.

Figura 5.5 Archivo Base de datos.

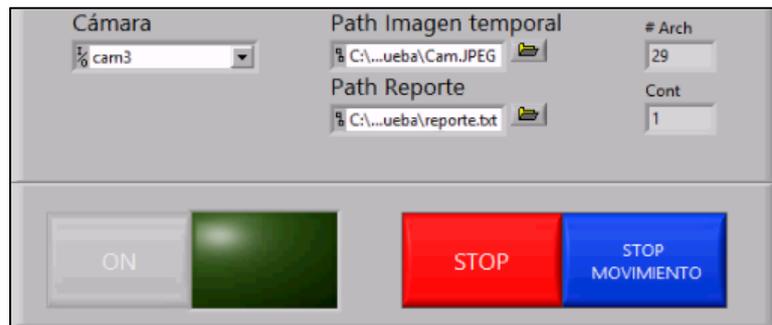
Componente	Coordenada X	Coordenada Y
C1.JPG	1031,000	1040,000
C2.JPG	1154,000	1043,000
T1.JPG	873,000	905,000
S1.JPG	827,000	403,000
U1.JPG	1481,000	931,000
L1.JPG	1180,000	601,000
Arduino_Logo.JPG	1338,000	561,000

Fuente: Autores.

5.1.2.2 Búsqueda de componentes

Por otra parte el programa que se diseñó para la búsqueda de componentes, trabajará en base al archivo de base de datos generado, además de los extractos de imágenes de los componentes. Para asegurar estos parámetros en el panel frontal existen controles (Figura 5.5 y 5.6), que el usuario necesita configurar antes de iniciar el proceso de revisión.

Figura 5.6 Controles panel frontal – Visión artificial.

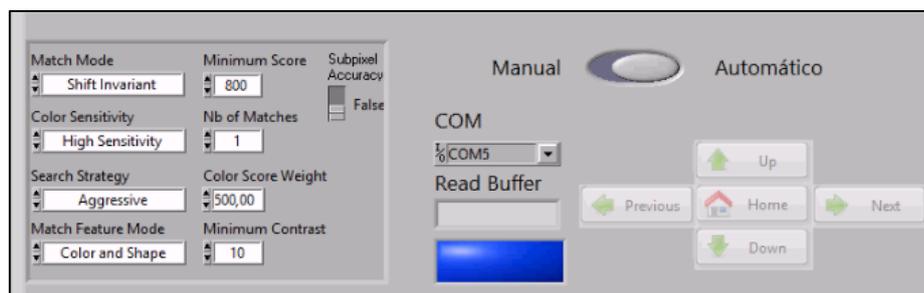


Fuente: Autores.

Los parámetros indispensables que necesitan ser configurados antes de dar inicio al programa de búsqueda son el puerto COM, nombre de la cámara, la dirección donde se almacenarán las imágenes temporales que se toman a la placa escaneada y la dirección donde se almacenará el archivo reporte.

Adicionalmente existen controles que permiten al usuario desplazarse a lo largo del área de trabajo de forma manual (figura 5.6), así también un botón que le permite inicializar la máquina en caso de ser necesario. Para evitar movimientos no programados el control de movimiento únicamente funciona si el operador decide configurarlo así.

Figura 5.7 Controles Panel frontal – Movimiento.



Fuente: Autores.

Listas las configuraciones se da inicio al proceso de búsqueda y de forma inmediata la máquina es inicializada y espera órdenes para iniciar el proceso de búsqueda. El usuario también puede configurar algunos parámetros que influirán este proceso

(Tabla 5.1). La búsqueda inicia con el posicionamiento del mecanismo de exploración en la primera área a revisar, extrae los componentes desde la base de datos, busca coincidencias en la imagen que está captando y continua así hasta descartar todas las posibilidades.

Tabla 5-2 Configuraciones – Búsqueda de componentes.

Match Mode	Shift Invariant	Rotation Invariant	
Color Sensitivity	High	Medium	Low
Search Strategy	Aggressive	Balanced	Conservative
Match Feature Mode	Color and Shape	Color	Shape

Fuente: LabVIEW

La búsqueda de componentes se realiza acorde a lista que se extrae desde el archivo base de datos. Uno a uno los elementos son revisados en cada área programada en modo automático, si un elemento no es localizado, el programa lo deja en la lista de búsqueda para extraerlo en la siguiente posición. Este proceso se repite a lo largo del área configurada para la exploración y al finalizar detiene el programa de búsqueda de componentes, esperando por la finalización completa por parte del usuario.

El reporte se genera automáticamente en la dirección que el usuario configuró inicialmente y contiene el nombre de los componentes que no fueron localizados en el proceso de búsqueda.

El panel frontal del VI Búsqueda de componentes, integra también una tabla que permite visualizar el nombre de los componentes que se buscarán, además de pantallas que muestra el componentes que en el momento está siendo aprendido y buscado en la tarjeta.

Figura 5.8 Panel frontal – Búsqueda de componentes.vi.



Fuente: Autores.

5.2 Pruebas

Con el propósito de asegurar el correcto funcionamiento de la máquina, se llevaron a cabo una serie de pruebas para testear la calidad de los componentes y obtener datos de confiabilidad.

5.2.1 Pruebas de resistencia de componentes

Esta prueba se realizó con la finalidad de testear la calidad de los componentes que están involucrados en el movimiento de la máquina, ya que al modificar la estructura se agregó peso y se pudo modificar el ajuste original de las piezas, generando presión mecánica sobre los motores, pudiendo causar sobrecalentamientos en los componentes.

Se llevó a cabo la prueba realizando una programación específica para que la máquina realice un movimiento repetitivo durante 30 minutos y tomando datos de temperatura en lapsos de 10 minutos, como referencia se tomaron las temperaturas iniciales de los componentes que se muestran a continuación con los resultados:

Tabla 5-3 Resultados de pruebas de temperatura.

	Temperatura placa de control (°C)	Temperatura fuente (°C)	Temperatura drivers (°C)	Temperatura motores (°C)	Humedad
Condiciones iniciales	28	29	29	29	60%
10 minutos	29	30	36	34	60%
20 minutos	30	29	38.5	35	60%
30 minutos	29.5	29	40	35	60%

Fuente: Autores.

5.2.2 Pruebas de confiabilidad

La confiabilidad se define como la capacidad para suministrar largos periodos de operación sin fallas durante el proceso. Para establecer la confiabilidad del prototipo se llevaron a cabo varias pruebas, en las que constaban varios procesos de revisión sobre un mismo modelo placa.

Las placas que se utilizaron para las revisiones fueron de 3 tipos, considerando las condiciones en las que se encontraban sus componentes.

La primera placa que se revisó es una tarjeta arduino modelo UNO R3 relativamente nueva, cuyos componentes estaban en perfecto estado.

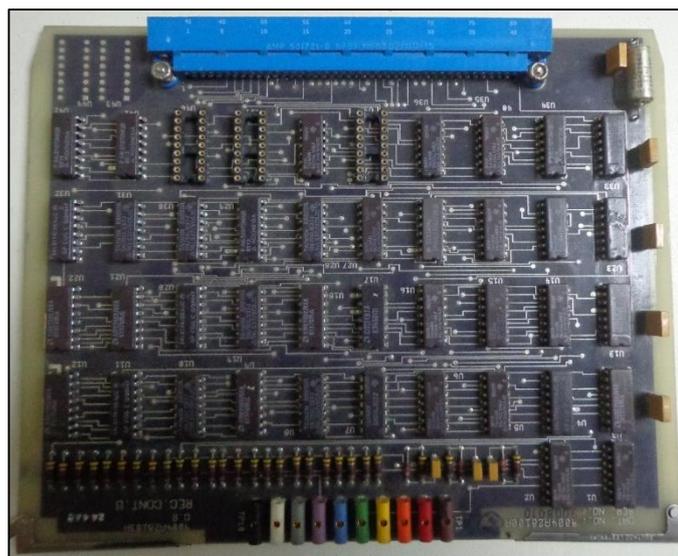
Figura 5.9 Tarjeta modelo arduino UNO.



Fuente: Autores.

La segunda era una placa modelo 9008010, debido al uso que presentaba, sus componentes estaban en un estado intermedio.

Figura 5.10 Tarjeta modelo 9008010



Fuente: Autores.

La tercera placa escaneada es un modelo SELENIA, la cual debido a su largo tiempo de uso en los buques ha recibido varios mantenimientos, sus componentes no son estándar y no se encuentran en óptimas condiciones, siendo la que se encontraba en condiciones más desfavorables al momento de ser analizada.

Figura 5.11 Tarjeta modelo SELENIA.



Fuente: Autores.

En las pruebas, para reducir el tiempo de verificación, se seleccionaron un grupo de elementos al azar y se buscaron en las placas.

Las pruebas se llevaron a cabo en condiciones casi constantes de iluminación ya que no se tenía el control completo de la luz incidente de fuentes naturales. Los resultados se muestran a continuación:

Tabla 5-4 Resultados de pruebas de confiabilidad.

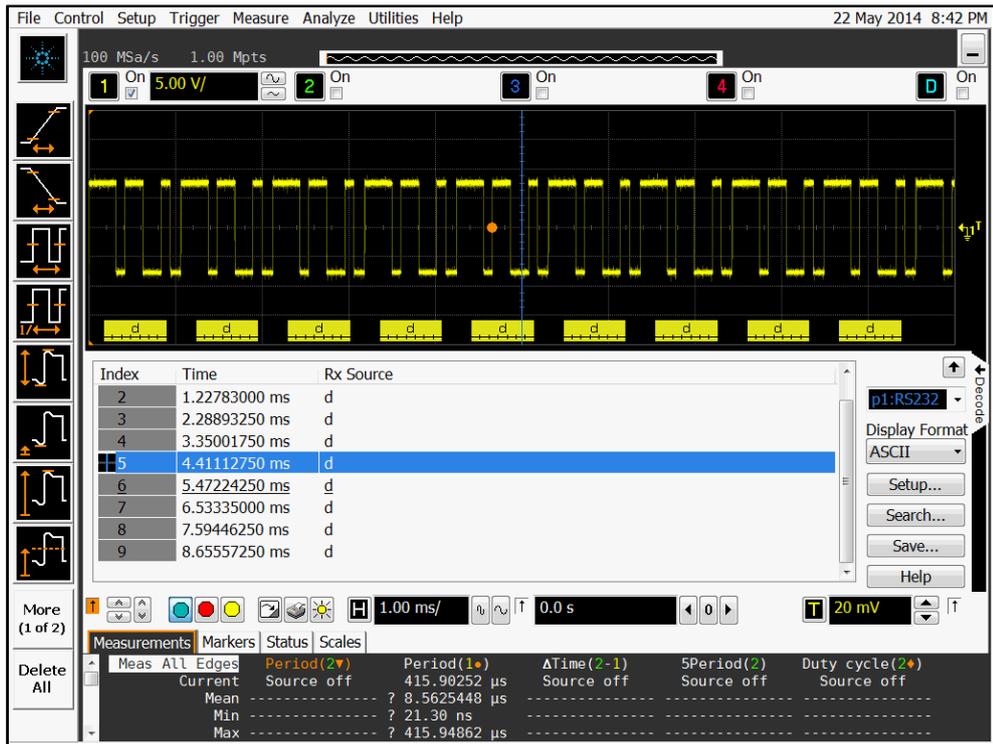
Modelo de tarjeta	Número de componentes buscados	Número de componentes encontrados		Porcentaje de componentes encontrados
SELENIA	29	Búsqueda 1	20	66.66%
		Búsqueda 2	25	
		Búsqueda 3	13	
9008010	12	Búsqueda 1	11	91.66%
		Búsqueda 2	11	
Arduino UNO	7	Búsqueda 1	7	92.85%
		Búsqueda 2	6	

Fuente: Autores.

5.2.3 Pruebas de comunicación

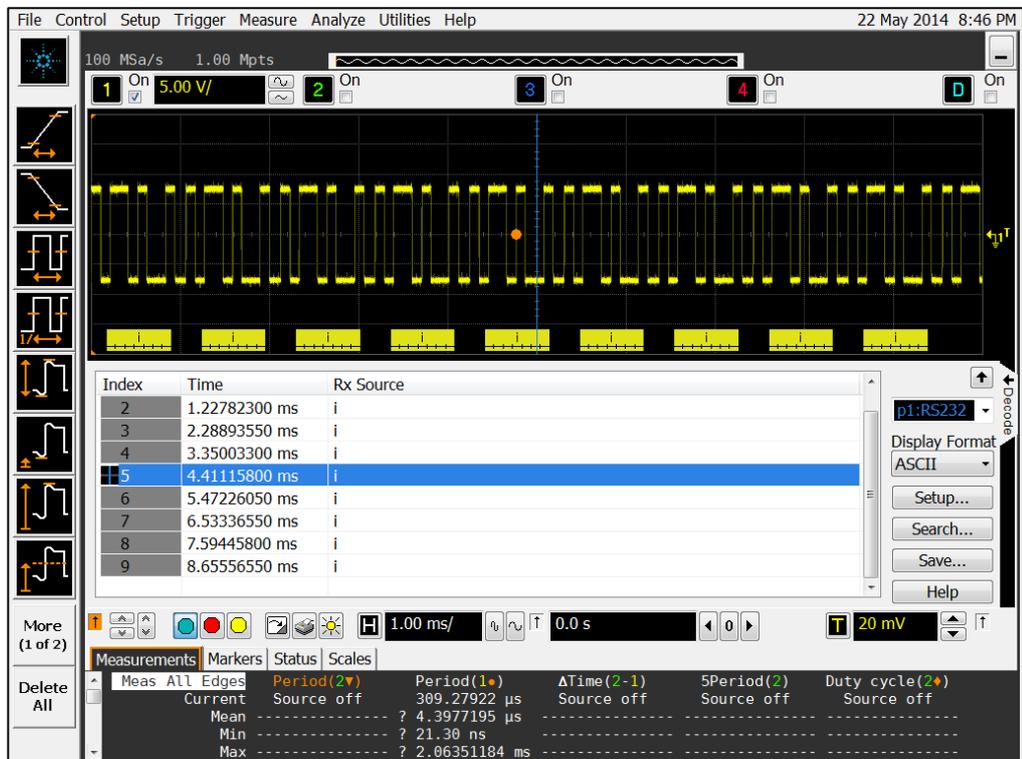
Para verificar la comunicación de la computadora con la máquina se captaron las tramas de comunicación serial, decodificándola y comprobando si sus caracteres son correctos dependiendo de la orden enviada. A continuación se ven los resultados en las figuras 5.12, 5.13, 5.14 y 5.15

Figura 5.12 Trama de comunicación con orden derecha.



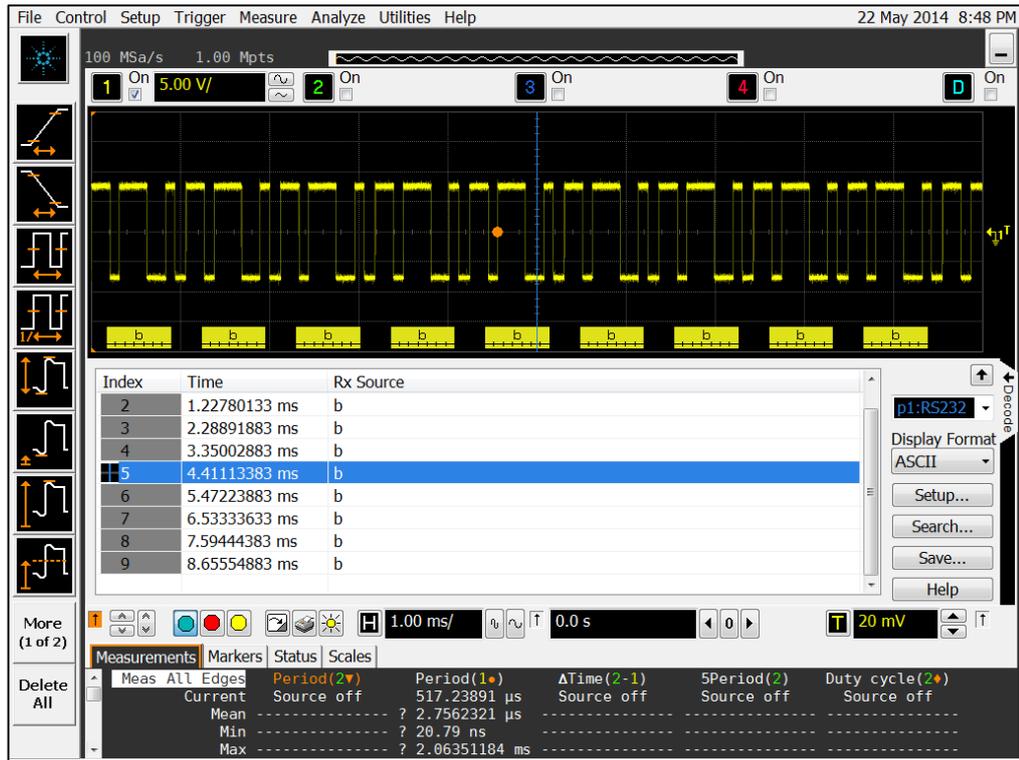
Fuente: Autores.

Figura 5.13 Trama de comunicación con orden izquierda.



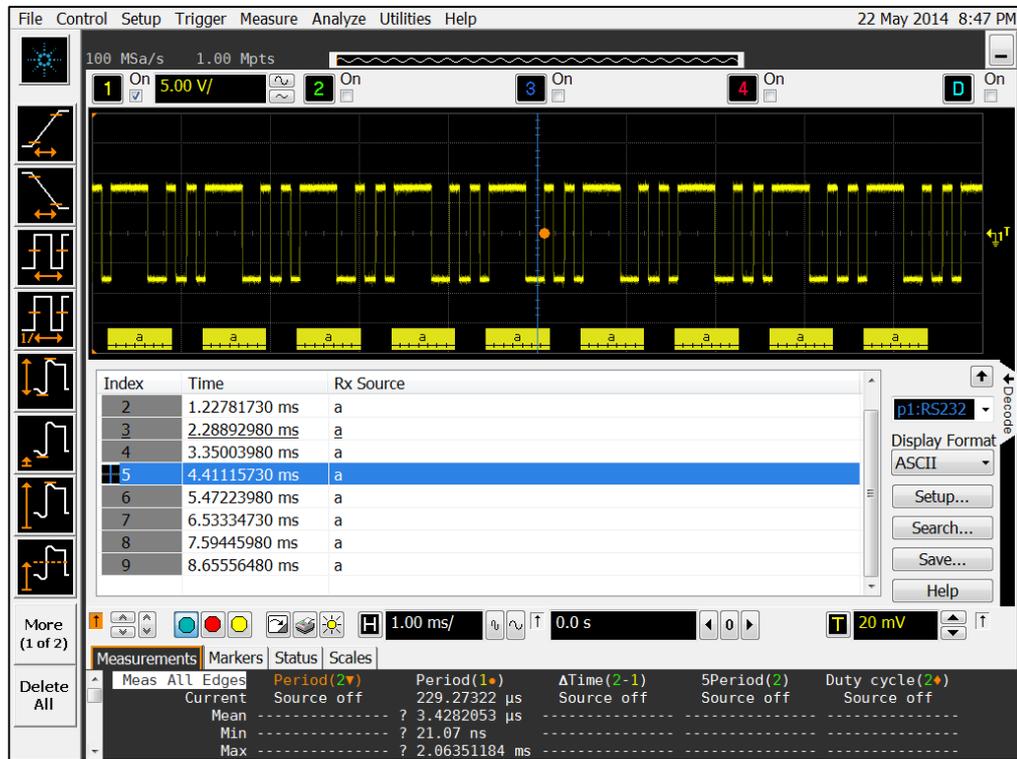
Fuente: Autores.

Figura 5.14 Trama de comunicación con orden abajo.



Fuente: Autores.

Figura 5.15 Trama de comunicación con orden arriba.



Fuente: Autores.

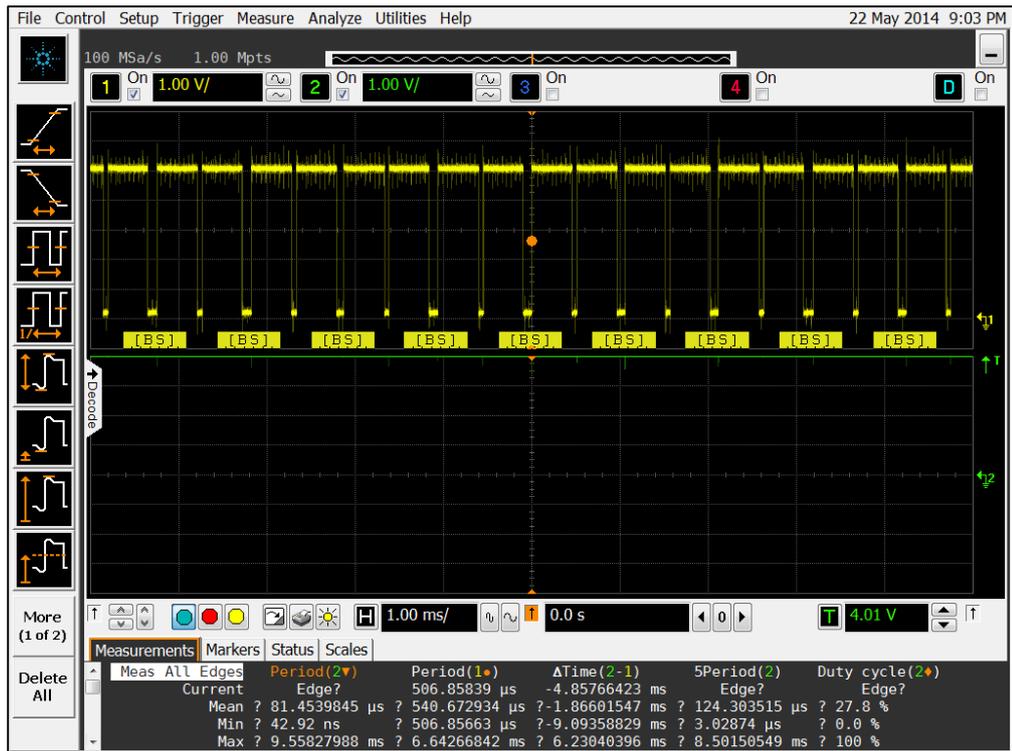
En cada una de las figuras desde la 5.12 a la 5.15, se observan las tramas decodificadas y obtenidas desde la comunicación serial. Se enviaron comandos de movimiento para controlar el mecanismo de exploración y verificar si los datos decodificados coincidían con los que se enviaron inicialmente.

En el primer proceso se dio la orden de desplazamiento hacia la derecha y como se muestra en la figura 5.12 la trama decodificada contiene el carácter 'd', y de la misma manera con las siguientes imágenes y los respectivos movimientos: izquierda, abajo y arriba. Lo que demuestra que la comunicación serial máquina – PC es exitosa.

5.2.4 Pruebas de pulso de control

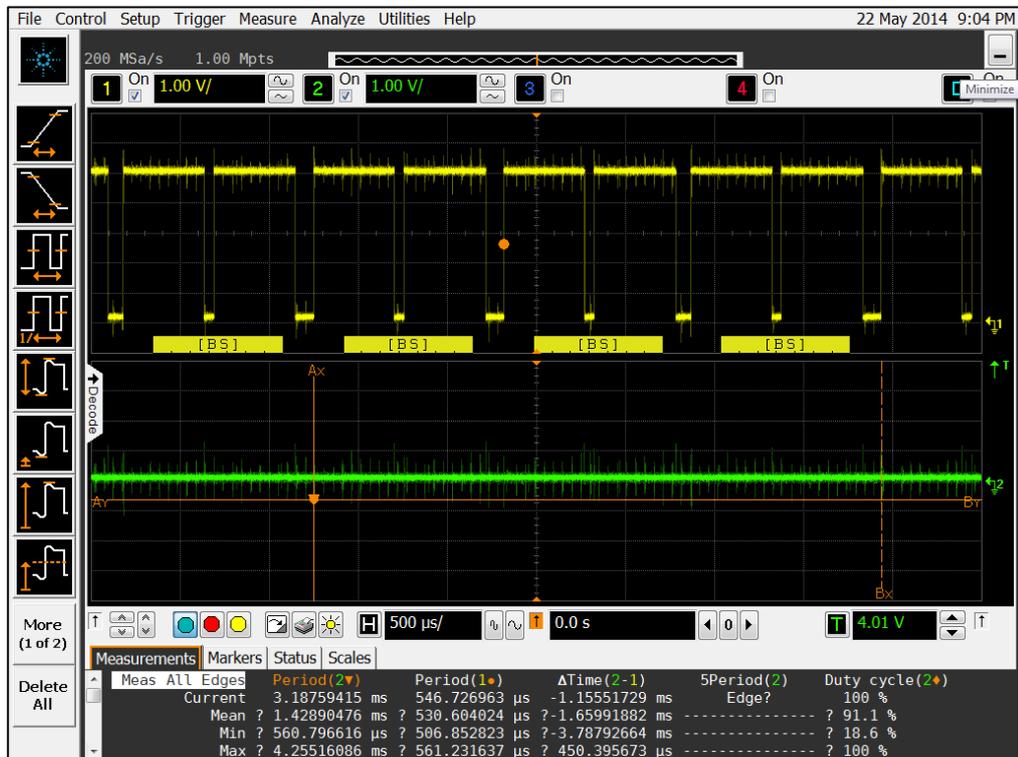
El control del movimiento de los motores a pasos se lleva a cabo con dos pulsos, uno de control y otro de dirección. Estos pulsos se verificaron cuando la máquina estaba funcionando normalmente, en las figuras 5.16 y 5.17 se puede observar las gráficas de los pulsos adquiridos, los mismos que son similares a los pulsos obtenidos en proceso de levantamiento de información. Lo que demuestra que se logró el control de los drivers originales de la máquina, generando nuestra propia señal.

Figura5.16 Pulso de control (amarillo), dirección 1 (verde).



Fuente: Autores.

Figura 5.17 Pulso de control (amarillo), dirección 2 (verde).



Fuente: Autores.

5.3 Resultados

5.3.1 Pruebas de temperatura

Dados los resultados en la tabla 5.3, la temperatura en movimiento constante de larga duración no es elevada. Además al momento de un proceso de revisión estándar la máquina realiza movimientos de aproximadamente un minuto de duración con intervalos de descanso de 3 a 7 minutos. Lo que muestra que durante el proceso de funcionamiento la máquina no sufrirá sobrecalentamientos y que las modificaciones físicas, además del peso extra, tampoco afectan al funcionamiento nominal de los motores a pasos.

5.3.2 Pruebas de confiabilidad

5.3.2.1 Placa arduino UNO

En las pruebas con la placa arduino UNO, se utilizó una en perfecto estado como referencia para la búsqueda. En este proceso se utilizaron dos placas diferentes del mismo modelo; dando como resultado que en la primera búsqueda en la cual se utilizó la placa de referencia, el porcentaje de elementos encontrados fue del 100% y en la segunda búsqueda en la que se utilizó la otra tarjeta, no se localizó un componente ya que este tenía un color diferente generado por el óxido, que impedía compararlo correctamente.

5.3.2.2 Placa SELENIA

Con esta placa se realizaron tres búsquedas, todas en la de referencia. Las dos primeras se dieron de manera satisfactoria, encontrando un 77.7% de los componentes. Pero al momento de realizar la tercera búsqueda resultó con un porcentaje de 44.88% de elementos encontrados, siendo el causante una obstrucción cerca del lente de la cámara, el cual provocó un desenfoque, lo que impidió la captura en el correcto enfoque de los elementos.

5.3.3 Pruebas de comunicación

Al momento de mover la máquina en determinadas direcciones se extrajo la trama de la comunicación serial. Como se observa en las figuras 5.12, 5.13, 5.14 y 5.15, al decodificar las tramas, los comandos de movimiento capturados son correctos en cada uno de los casos de la orden enviada, ya que como se estableció en capítulos anteriores cada comando se traduce en un paso, siendo esto muy relevante para poder mover la máquina en distancias exactas.

CONCLUSIONES

- Como se propuso al inicio de este proyecto se logró rediseñar y construir un sistema prototipo para revisión de tarjetas electrónicas aplicando visión artificial, partiendo de un equipo que era funcional y se encontraba en desuso.
- Para entregar un sistema eficiente, se empleó técnicas de programación tanto en el control de la máquina como en el proceso de revisión de imágenes que cumplan con los requerimientos establecidos al inicio del proyecto.
- El primero de los objetivos fue controlar la máquina a partir de un software independiente, que permita al programador realizar modificaciones y control de la misma de una manera sencilla y eficaz. Ya que cuando se levantó la información, su protocolo de comunicación y control era complicado de reproducir, puesto que funcionaba en base a un software propio de la máquina. Adicionalmente se logró obtener un mecanismo completamente funcional, luego de las modificaciones físicas a las que se sometió para asegurar la altura correcta del brazo mecánico con respecto a las placas que se escanearon.
- En cuanto al sistema de comunicación máquina – PC propuesto, se puede decir que fue un sistema serial exitoso. Ya que la máquina fue completamente controlada a partir de este sistema, además de contar con los resultados positivos en las pruebas de comunicación.
- Haciendo referencia al programa de tratamiento de imágenes propuesto, se adquirió, proceso, comparó las imágenes de tarjetas electrónicas aplicando técnicas de visión artificial. Con los resultados obtenidos (Tabla 5-4), se puede establecer que la máquina encontrando componentes en una búsqueda tiene una efectividad de 83.72%, es decir que en una tarjeta estándar de 170 componentes encontraría 140.
- Basados en los porcentajes obtenidos, el sistema funcionó efectivamente en proceso de búsqueda donde las placas revisadas fueron relativamente nuevas. Ya que estos

sistemas de revisión están enfocados a procesos de calidad de tarjetas electrónicas completamente nuevas.

- Finalmente se puede decir que el sistema tal como se propuso se encuentra desarrollado y funcional en las instalaciones del departamento de Innovación de la Armada del Ecuador mejorando el resultado en los procesos de reparación de tarjetas electrónicas, puesto que el porcentaje de componentes que el sistema localiza permite que la revisión visual que se llevaba a cabo, sea de menor tiempo y mayor eficiencia.
- El sistema prototipo fue entregado jefe el departamento de innovación de la Armada del Ecuador. Quedando como un sistema base para desarrollo de nuevas aplicaciones, que van de la mano con necesidades existentes en los laboratorios del departamento.

RECOMENDACIONES

- El objetivo del desarrollo de un prototipo, es crear una base que sirva como referencia para la creación de un sistema más robusto. Ya que a través del prototipo se analizan la factibilidad y las deficiencias del mismo.
- A lo largo del desarrollo del sistema se presentaron algunos inconvenientes que a continuación se pondrán a consideración, para ser tomados en cuenta en una siguiente fase de desarrollo.
- La cámara con la que se trabajó tiene la característica de autoenfoco, lo que al momento de realizar la captura de imágenes a la menor variación de luz, provoca desenfoco de los componentes, impidiendo que se pueda realizar la búsqueda de forma correcta. Es por esto que se recomienda para futuras aplicaciones el uso de una cámara con enfoque manual o que brinde control del enfoque.
- En cuanto al sistema de iluminación en este diseño, no se construyó ya que al momento de aplicarlo en pruebas, los resultados no aportaban ningún tipo de beneficio al sistema. En el caso de querer integrar un sistema de iluminación se debería escoger un sistema de iluminación directa, además de la construcción de una cubierta que impida el ingreso de luz de fuentes externas, para asegurar condiciones constantes de operación.
- El área de trabajo del sistema debe ser de colores mate, de manera que no genere reflejos al momento de realizar la adquisición de imágenes, para asegurar la eficiencia del proceso de revisión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **CRUZ TERUEL, Francisco.** Control numérico y programación: Marcombo, 2005. ISBN 84-267-1359-9.
- **National Instruments.** *NI Vision Concepts Manual* [en línea]. National Instruments. Austin: 2005.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

- Acceso directo a memoria < http://es.wikipedia.org/wiki/Acceso_directo_a_memoria> [Consultado 18 de noviembre del 2013].
- Cámaras 3D < <http://www.infaimon.com/catalogo-industria/camaras-vision-artificial/camaras-3d-578.html>> [Consultado 06 de noviembre del 2013].
- Controlador de motores a pasos bipolares GS-d200s
<<http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/SGSThompsonMicroelectronics/mXvszty.pdf>> [Consultado 27 de octubre del 2013].
- Distancia focal < http://es.wikipedia.org/wiki/Distancia_focal> [Consultado 06 de noviembre del 2013].
- LabVIEW < <http://es.wikipedia.org/wiki/LabVIEW>> [Consultado 18 de noviembre del 2013]
- Max232
<<http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/texasinstruments/max232.pdf>> [Consultado 18 de noviembre del 2013].
- Microcontrolador ATmega328p-pu < <http://www.atmel.com/Images/8161s.pdf>> [Consultado 18 de noviembre del 2013].
- NI Vision Concepts Manual < <http://www.ni.com/pdf/manuals/372916e.pdf>> [consultado 12 de enero del 2014].
- Profundidad de campo < http://es.wikipedia.org/wiki/Profundidad_de_campo> [s.f.].
- PS2501-4 < <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/nec/PS2501L-2.pdf>> [Consultado 18 de noviembre del 2013].

- Que es la luz
<http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/073/htm/sec_6.htm> [Consultado 05 de noviembre del 2013].
- SN74LS126 <http://pdf.datasheetcatalog.net/datasheets/270/332119_DS.pdf> [Consultado 27 de octubre del 2013].
- TLP 621-4 <<http://www.datasheets360.com/pdf/-6494834950783810402>> [Consultado 27 de octubre del 2013].
- Visión Artificial una tecnología industrial
http://www.jcee.upc.edu/JCEE2010/pdf_ponencias/PDFs/09_12_10/Vision%20Artificial%20UNI%20TERRASSA%202010.pdf [Consultado 06 de noviembre del 2013].
- Aplicaciones de Vision artificial. <<http://web.infopl.com/noticias/item/101084-cognex-presenta-un-sistema-de-visi%C3%B3n-para-aplicaciones-sencillas-de-color/101084-cognex-presenta-un-sistema-de-visi%C3%B3n-para-aplicaciones>> [Consultado 17 de marzo de 2014].
- The laser video experience. <<http://www.tlvexp.ca/2013/09/field-view-dreams-matter-hosed/>> [Consultado 06 de noviembre de 2013].
- Distancia focal. <<http://www.opticas-colmenarejo-madrid.es/en/photos/7/>> [Consultado 06 de noviembre de 2013].
- JCEE.<http://www.jcee.upc.edu/JCEE2010/pdf_ponencias/PDFs/09_12_10/Vision%20Artificial%20UNI%20TERRASSA%202010.pdf> [Consultado 6 de noviembre de 2013].
- FireWire. <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:FireWire_gniazdo.jpg> [Consultado 18 de noviembre de 2013].
- Conexión GigE. <<http://www.adept.net.au/news/newsletter/200610-october/TM6740GE.shtml>> [Consultado 18 de noviembre de 2013].
- Camera Link.
<http://www.ptgrey.com/PRODUCTS/gazelle/gazelle_camera_link.asp> [Consultado 18 de noviembre de 2013].
- USB 2.0 Camera. <<http://www.vision-doctor.co.uk/usb2.html>> [Consultado 18 de noviembre de 2013].

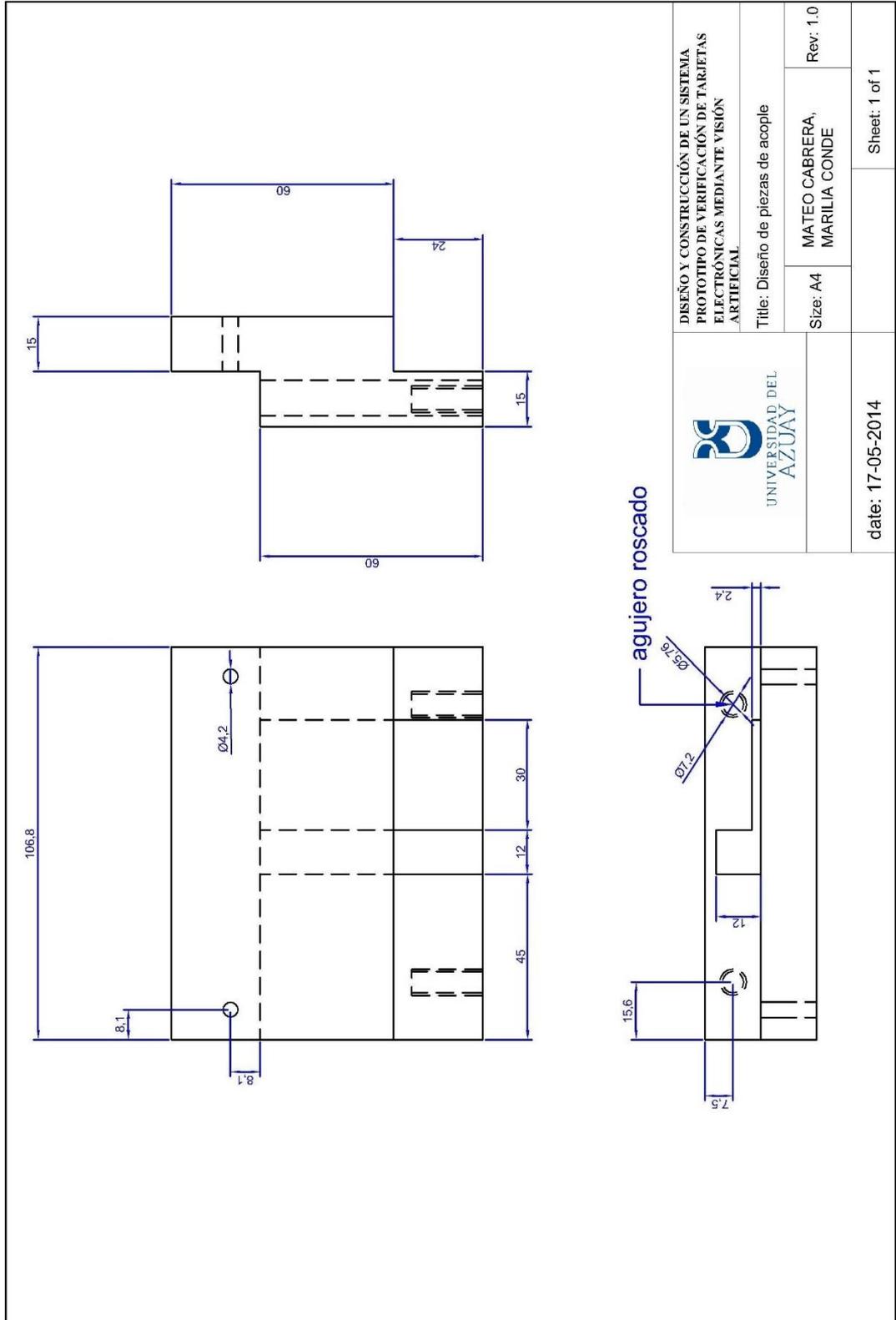
- Estándar USB 3.0. <<https://www.framos.com/en/news/news/single-view/article/alysium-tech-microusb-30-xxtended.html>> [Consultado 18 de noviembre de 2013].
- Iluminación frontal. <<http://www.infaimon.com/catalogo-industria/iluminacion/fibra-optica/iluminacion-frontal-puntual-721.html> > [Consultado 6 de noviembre de 2013].
- Ferrecasa. <http://www.ferrecasa.com/category.php?id_category=198> [Consultado 6 de noviembre de 2013].
- Heraeus-Noblelight.]. <http://www.heraeus-noblelight.com/es/divisions/arcflashlamps/affurtherinformation/af_samplesfortesting/af_samplesfortesting_1.aspx> [Consultado 6 de noviembre de 2013].
- Iluminación Anular. <<http://www.directindustry.es/prod/photonic-optics-gesmbh-cokg/iluminacion-anular-led-vision-industrial-58903-1269949.html>> [Consultado 6 de noviembre de 2013].
- Aplicación práctica de la visión artificial. Conocimientos básicos de visión artificial.
<http://infoplcn.net/files/documentacion/vision_artificial/infoPLC_net_Conocimientos_vISIONARTIFICIAL.pdf >[Consultado 6 de noviembre de 2013]
- THK. <<http://www.thk.com/?q=mexico/node/7519>> [Consultado 19 de noviembre de 2013]
- Hybridstepper-motors <<http://spanish.hybridstepper-motors.com/>> . [Consultado 19 de noviembre de 2013].
- Direct industry. <<http://www.directindustry.es/prod/groschopp/servomotores-electricos-ac-brushless-7205-262647.html>> [Consultado 19 de noviembre de 2013].
- Motores lineales.
<https://www.interempresas.net/Electricidad_Electronica/Articulos/26036-Motores-lineales-para-Mecanizado-de-Alta-Velocidad.html> [Consultado 19 de noviembre de 2013].
- Datasheet 74ls126.
<http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/7/4/L/S/74LS126.shtml>. [Consultado 31 marzo de 2014]

- Datasheet GS-D200S.
<<http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/stmicroelectronics/2666.pdf>>
[Consultado 22 marzo de 2014].
- Laptop accessories now. <<http://laptopaccessoriesnow.com/uncategorized/klip-xtreme-kdc-580-xcam-2100-2/>> [Consultado 3 abril de 2014].
- Arduino. <<http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno> > [Consultado 18 de abril de 2014].
- Logitech. <<http://www.logitech.com/es-roam/product/hd-pro-webcam-c920?crd=34>> [Consultado 22 de abril de 2014].
- Etitudela. Visión Artificial. [En línea]. [5 de noviembre del 2013]. <<http://www.etitudela.com/celula/downloads/visionartificial.pdf2013>>.
- Ruiz Cabeza, Héctor. Visión artificial aplicada a la industria. <http://www.jcee.upc.edu/JCEE2010/pdf_ponencias/PDFs/25_11_10/INFAIMON-Vision%20artificial.pdf >. [Consultado 05 de noviembre del 2013].
- Gobierno de España, Ministerio de Educación. Visión Artificial. Aplicación práctica de la visión artificial en el control de procesos industriales. [En línea]. <http://visionartificial.fpcat.cat/wp-content/uploads/UD_1_didac_Conceptos_previos.pdf >. [Consultado 18 de noviembre de 2013].
- Loayza, Emiliano. Manejo y programación de una máquina fresadora con control numérico computarizado. [En línea]. <http://www.unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes_Finales_Investigacion/Abril_2011/IF_LOAYZA_FIME/CAPITULO%20II.PDF >. [consultado 5 de noviembre de 2013].
- Bergen County Academies. Computer Numerical Control Tutorial. [En línea]. <<http://users.bergen.org/jdefalco/CNC/> >. [Consultado 17 de noviembre de 2013]
- Historia de visión artificial
<<http://www.computervisionbytecnalia.com/es/2013/01/historia-de-la-vision-artificial-1-control-de-acumuladores-de-energia-de-principios-de-los-90/>>
[Consultado 07 de noviembre del 2013]
- Infaimon. Camaras inteligentes<<http://www.infaimon.com/es/camaras-inteligentes>> [Consultado 06 de noviembre de 2013]

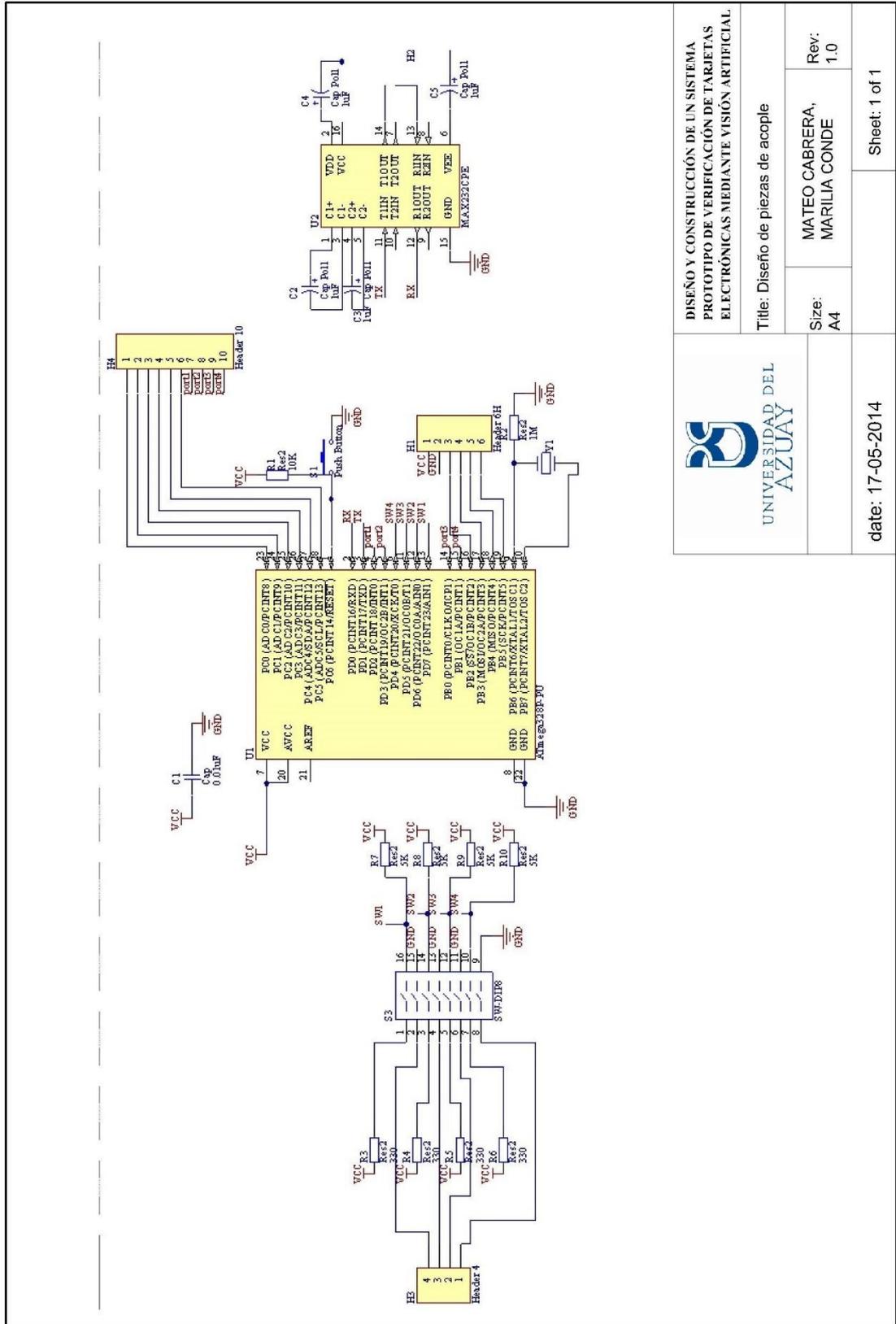
- Infaimon. Camaras lineales <<http://www.infaimon.com/es/camaras-lineales>> [Consultado 05 de noviembre de 2013]
- Infaimon. Camaras Matriciales <<http://www.infaimon.com/es/camaras-matriciales>> [Consultado 06 de noviembre de 2013]
- Distancia Mínima. <<http://www.thewebfoto.com/2-hacer-fotos/202-apertura-de-diafragma>> [Consultado 06 de noviembre de 2013]
- Angulo de visión <http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81ngulo_de_visi%C3%B3n> [Consultado 05 de noviembre de 2013]
- Resolución de imagen. <http://es.wikipedia.org/wiki/Resoluci%C3%B3n_de_imagen> [Consultado 07 de noviembre de 2013]
- FireWire <http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_1394> [Consultado 06 de noviembre de 2013]
- GigE Vision <http://en.wikipedia.org/wiki/GigE_Vision> [Consultado 06 de noviembre de 2013]
- Camera link <http://en.wikipedia.org/wiki/Camera_Link> [Consultado 06 de noviembre de 2013]
- USB2 <http://es.wikipedia.org/wiki/Universal_Serial_Bus> [Consultado 06 de noviembre de 2013]
- USB3 <http://es.wikipedia.org/wiki/USB_3.0> [Consultado 06 de noviembre de 2013]
- Ochoa & Hernández. Control difuso y construcción de un mecanismo capaz de golpear con distintos efectos una bola de billar. Motores a pasos. [En línea]. <http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/hernandez_b_ii/capitulo3.pdf>. [Consultado 18 de noviembre de 2013].
- Salbaza & Uribe. Motores lineales para Mecanizado de Alta Velocidad. [En línea]. <http://www.interempresas.net/Electricidad_Electronica/Articulos/26036-Motores-lineales-para-Mecanizado-de-Alta-Velocidad.html>. [Consultado 7 de noviembre de 2013]

ANEXOS

ANEXO 1: Diseño de pieza acople



ANEXO 2: Diseño de Circuito de placa de interfaz



 UNIVERSIDAD DEL AZUAY		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PROTOTIPO DE VERIFICACIÓN DE TARJETAS ELECTRÓNICAS MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL	
Title: Diseño de piezas de acople			
Size: A4	MATEO CABRERA, MARILIA CONDE	Rev: 1.0	
date: 17-05-2014			Sheet: 1 of 1