

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“Aplicación de visión con LabView para la detección de frascos
sin tapa”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

Presentado por:

Freddy Israel Mata Zavala

Leandro Danilo Macías Loza

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2009

A G R A D E C I M I E N T O

A Dios todo poderoso por cuidarme, ser mi fortaleza y guiarme por el camino correcto.

Mis padres por su comprensión y aliento en el transcurso de nuestras vidas.

Mis amigos por su ayuda desinteresada. Ing. Carlos Valdivieso por su apoyo incondicional en todo aspecto técnico y personal.

Leandro Macías

A G R A D E C I M I E N T O

A Dios por llenar mi vida de dicha y bendiciones.

A los amigos por haberme brindado su confianza y lealtad.

Al Ing. Carlos Valdivieso por darme su disposición y ayudada brindada.

Freddy Mata

DEDICATORIA

A mi padre Danilo Bolívar Macías González
A mi madre Cleopatra Maritza Loza Barahona
A mis hermanas Karla y Maryam Macías Loza
A mis abuelas Bertha y María Barahona Díaz

Porque me enseñaron que la vida
Se la construye día a día con trabajo
Se la alimenta con tiernos sueños de familia
Y se la ama, sea triunfo sea fracaso

Leandro Macías

DEDICATORIA

Dedico este proyecto y toda mi carrera universitaria a Dios por ser quien ha estado a mi lado en todo momento dándome las fuerzas necesarias para continuar luchando día tras día y seguir adelante rompiendo todas las barreras que se me presenten.

Le agradezco a mis padres ya que gracias a ellos soy quien soy hoy en día, fueron los que me dieron ese cariño y calor humano necesario, son los que han velado por mi salud, mis estudios, mi educación alimentación entre otros, son a ellos a quien les debo todo.

Freddy Mata

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Jorge Aragundi
SUBDECANO DE LA FIEC

Ing. Carlos Valdivieso
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Carlos Salazar
MIEMBRO PRINCIPAL

Ing. María Alvarez V.
MIEMBRO PRINCIPAL

DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Leandro Macías Loza

Israel Mata Zavala

RESUMEN

El proyecto se enmarca en la asignatura de Microcontroladores, la misma que brinda los conocimientos básicos para adquirir destrezas en la elaboración de sistemas de visión artificial.

El presente trabajo describe el estudio y diseño de un proceso de visión computarizada para la inspección de frascos sin tapas.

La implementación se llevo a cabo con la disposición de una cámara *USB*, un brazo robótico que actuara como soporte de la cámara, un brazo empuja frascos, una banda transportadora de frascos como instrumento de laboratorio que concede la simulación de procesos industriales para la aplicación de visión computarizada, cuatro tarjetas controladoras de potencia para los motores de la banda, una tarjeta controladora con DSPIC para las cuatro tarjetas controladoras de potencia, una tarjeta controladora con DSPIC para los servomotores del brazo robótico y el brazo empuja frascos y la programación en *LabView* como un *software* que permite desarrollar instrumentos virtuales que faciliten el análisis del objeto a evaluar y el manejo del proyecto en general.

Una consideración importante que se tuvo para diseñar el sistema de visión artificial es que, se diseñó y construyó casi en su totalidad con materiales muy comunes que pueden ser obtenidos fácilmente y a bajos costos en ferreterías, electrónicas, refaccionarias, etc.

Tomando las consideraciones anteriores, se obtuvo como resultado la elaboración de un sistema de visión con características tales como:

- El centro de procesamiento y control es una computadora personal, el actuador es un brazo robótico de cinco grados de libertad construido en aluminio cuyo poder de movimiento se lo proporcionan cinco servomotores.
- Su sensor principal es una cámara acoplada a la estructura del brazo robótico y dispuesta de tal manera que obtenga una imagen precisa del frasco a evaluar, los frascos se desplazan a través de la banda transportadora y se descartan con la ayuda de un brazo empuja frascos.

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	VIII
INDICE GENERAL.....	X
ABREVIATURAS.....	XVIII
INDICE DE FIGURAS.....	XIX
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO 1.....	3
1 Introducción a la Automatización.....	3
1.1 Antecedentes.....	4
1.2 Sistema de monitoreo para el control de señales.....	8
1.3 Descripción del problema.....	10
1.4 Generación de posibles soluciones.....	12
1.5 Definición de proyecto específico “Aplicación de visión con <i>LabView</i> para la detección de frascos sin tapa”.....	14
1.6 Aplicaciones en el campo industrial	16

1.6.1	Industria de productos envasados en frascos de vidrio y plástico.....	17
1.6.2	Industria de productos embotellados	19
1.7	Estrategias utilizadas.....	19
1.7.1	Investigación bibliográfica.....	20
1.7.2	Cursos realizados.....	22
1.7.3	Desarrollo del proyecto.....	23
CAPITULO 2.....		25
2	Requerimientos para la Aplicación del Proyecto.....	50
2.1	Requerimientos de <i>hardware</i>	50
2.2	Requerimientos de <i>software</i>	51
2.2.1	Generalidades de <i>software NI LabView</i>	52
2.2.2	Programación gráfica de <i>LabView</i>	54
2.2.3	<i>Software</i> de Visión.....	59
2.2.4	Módulo de Desarrollo de Visión.....	60
2.2.5	Asistente de Visión de <i>NI</i>	62
2.2.6	Adquisición de imágenes de <i>NI</i>	39

2.2.7	Adquisición de imágenes para cámaras <i>USB</i>	39
2.3	Especificaciones del Sistema electrónico.....	40
2.3.1	Tarjeta controladora de la banda transportadora.....	41
2.3.2	Tarjeta controladora de Servomotores.....	42
2.4	Requerimientos del diseño.....	42
2.4.1	Iluminación.....	43
2.4.2	Fuentes de alimentación.....	45
2.4.3	Banda Transportadora.....	45
2.4.4	Sistema de Sensado.....	47
2.4.5	Brazo Robótico.....	48
2.4.6	Servomotores.....	52
CAPITULO 3.....		54
3	Adquisición de datos para la detección de frascos.....	54
3.1	Características físicas de la tapa de los frascos a evaluar para la detección y herramientas utilizadas.....	55
3.1.1	Características físicas del objeto a evaluar.....	55
3.1.2	Herramientas utilizadas.....	58
3.2	Captura de imágenes con Labview.....	68
3.2.1	Adquisición de imágenes utilizando cámaras <i>USB</i> ..	70

3.2.2	Tipos de adquisición de imágenes en LabView	72
3.2.3	Adquisición de imágenes con el Asistente de Visión...	74
3.3	Detección inicial de características físicas de la tapa.....	77
3.3.1	Aspectos generales para la selección de plantillas....	77
3.3.2	Plantillas seleccionadas por el sistema de inspección	78
3.4	Procesamiento de imagen y detección de frascos sin tapa.	81
3.4.1	Interfaz de usuario.....	82
3.4.2	Manual de usuario.....	83
3.4.3	Programación.....	104
3.4.4	SubVIs creados.....	124
3.5	Escalabilidad y limitaciones.....	142
3.5.1	Escalabilidad.....	143
3.5.2	Limitaciones.....	144
C APITULO 4.....		147
4	Implementación.....	147
4.1	Construcción del prototipo.....	148
4.1.1	Bandas Transportadoras.....-	149

4.1.2	Armario de Iluminación.....	154
4.1.3	Interconexión de las interfases con LabView.....	157
4.1.4	Sensores.....	160
4.2	Construcción del sistema eléctrico.....	162
4.3	Montaje de la Cámara USB.....	165
4.3.1	Partes básicas de la Cámara USB.....	166
4.3.2	Ubicación de la webcam.....	167
4.4	Simulación de Señales.....	170
4.5	Costos del proyecto.....	173
CAPITULO 5.....		175
5	Datos experimentales.....	175
5.1	Pruebas realizadas.....	176
5.2	Datos obtenidos.....	179
5.3	Análisis de resultados.....	182
CONCLUSIONES.....		185
RECOMENDACIONES.....		188
BIBLIOGRAFIA.....		190

ANEXO A.....	193
Tabla Comparativa de Lenguajes de Programación.....	193
ANEXO B.....	200
Tabla comparativa entre Vision Builder y Vision Development	200
ANEXO C.....	207
Tarjeta Controladora de la banda transportadora.....	207
ANEXO D.....	208
Tarjeta Controladora de Servomotores	208
ANEXO E.....	209
Especificaciones técnicas - fuente de alimentación.....	209
ANEXO F.....	210
Sensor QRB1133- Especificaciones eléctricas.....	210
ANEXO G.....	211
Servo HITEC HS422- Especificaciones técnicas.....	211
ANEXO H.....	212

Características físicas del frasco modelo.....	212
ANEXO I.....	213
Estructura de los Cluster de error.....	213
ANEXO J.....	214
Diagrama de flujo – Inicio de Sesiones.....	214
ANEXO K.....	215
Diagrama de flujo – Inicio de Sesiones.....	215
ANEXO L.....	217
Diagrama de flujo – Etapa de Aplicación.....	217
ANEXO M.....	221
Diagrama de flujo – Fin de sesiones.....	221
ANEXO N.....	222
Diagrama de flujo – SubVi Inicio.....	222
Diagrama de flujo – SubVi Posición Botella.....	223
Diagrama de flujo – SubVi Posición Botella 2.....	224
Diagrama de flujo – SubVi Crear Template.....	225

Diagrama de flujo – SubVi Comprobación.....	226
Diagrama de flujo – SubVi Template.....	227
Diagrama de flujo – SubVi Comparar sin tapa.....	228
Diagrama de flujo – SubVi Cancelar.....	229
ANEXO O.....	230
Detalle de Costos de la banda transportadora.....	230
Detalle de Costos del Brazo Robótico.....	232

ABREVIATURAS

NI	National Instruments
IMAQ	Adquisición de Imágenes
PC	Computador Personal
USB	Bus Serial Universal
PIC	Controlador de Interfaz Periférico
DSPIC	Controlador Digital de Señales
LabVIEW	Programación grafica para medidas y automatización
UNIX	Sistema operativo portable
LINUX	Sistema operativo usado en servidores
DLLs	Biblioteca de enlace dinámico
TCP	Protocolo de control de transmisión
IP	Protocolo de Internet
UI	Interfaz del usuario
OPC	OLE para control de procesos
OLE	Objeto conectado e incrustado
HIL	Hardware-en-el-ciclo
VI	Instrumentos Virtuales
SubVI's	VI usado dentro de otro VI
WEB	Red Global Mundial
OCR	Reconocimiento óptico de caracteres
E/S	Entradas/ Salidas
PWM	Modulación por ancho de pulsos
DC	Conexión Directa
GUI	Interfaz Gráfica de Usuario
GND	Tierra
VM	Máquina Virtual
Vcc	Voltaje de corriente continúa
GB	Giga Byte
GHz	Giga Hertz
HSL	Tonalidad, Saturación, Luminosidad
ROI	Región de interés
RGB	Rojo, Verde, Azul
VISA	Arquitectura de Software para Instrumentos Virtuales
FPGAs	Field Programmable Gate Array

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Sistemas de etiquetado automático – Automatización industrial.....	5
Figura 1.2 Diagrama de sistema de inspección visual automático [2].....	6
Figura 1.3 Segmentación de una imagen.....	8
Figura 1.4 Esquema general de la plataforma de inspección	40
Figura 1.5 Esquema del proceso de detección	40
Figura 1.6 a) Conservas envasadas b) Frascos farmacéuticos ..	42
Figura 1.7 Envases de industrias alimentarias.....	43
Figura 1.7 Envases de industrias alimentarias.....	43
Figura 2.1 Logo de LabView.....	52
Figura 2.2 Desarrollo del software.....	55
Figura 2.3 Paneles de LabView.....	55
Figura 2.4 Panel frontal	56
Figura 2.5 Diagrama de bloques	58
Figura 2.6 Vision Development Module.....	60

Figura 2.7 Vision Assistant.....	62
Figura 2.8 Estructura del sistema de visión basado en PC.....	68
Figura 2.9 Banda Transportadora	71
Figura 2.10 Sensor de desplazamiento.....	72
Figura 2.11 Brazo robótico – Brazo cámara robótico	75
Figura 2.12 Cables del servo.....	78
Figura 3.1 Ejemplos de diferentes formas, diseños y tipos de tapas.....	81
Figura 3.2 Vista lateral y superior de la tapa.....	81
Figura 3.3 Imagen de una ROI.....	90
Figura 3.4 Cluster de error	93
Figura 3.5 Arquitectura IMAQ de NI para cámaras USB [18].....	94
Figura 3.6 Estructura del IMAQ USB VI	95
Figura 3.7 Estructura de un IMAGE CREATE VI	96
Figura 3.8 Estructura de un IMAQ Dispose VI	96
Figura 3.9 Estructura de la función IMAQ Snap.....	97

Figura 3.10 Estructura de Grab Setup.....	98
Figura 3.11 Adquisición de una imagen en modo Grab	99
Figura 3.12 Página de adquisición de NI IMAQ para cámaras USB de Vision Assistant	100
Figura 3.13 Esquema de opciones dentro de la ventana	100
Figura 3.14 Selección de las plantillas	104
Figura 3.15 Diseños de tapas en varios sentidos.....	105
Figura 3.16 Cuadro de relación entre las interfaces y etapas del programa	106
Figura 3.17 Panel de Inicio.....	110
Figura 3.18 Cuadro de dialogo al iniciar la aplicación.....	110
Figura 3.19 Parámetros de configuración	111
Figura 3.20 Carpeta contenedora de archivos de posición del brazo	113
Figura 3.21 Cuadro de dialogo opción cancelar.....	114
Figura 3.22 Cuadro de dialogo para selección de plantilla.....	116
Figura 3.23 Cuadro de dialogo que indica la ubicación del frasco	117

Figura 3.24 Imagen capturada presentada en una ventana auxiliar	118
Figura 3.25 Cuadro de dialogo que indica retirar el frasco.....	119
Figura 3.26 Carpeta que contiene las plantillas existentes	119
Figura 3.27 Panel de Aplicación.....	120
Figura 3.28 Controles e indicadores del Modo Pausa.....	125
Figura 3.29 Control para el cierre de sesiones.....	128
Figura 3.30 Parámetros de configuración de la función Color Pattern Matching	138
Figura 3.31 Rangos de valores de puntajes para los cuales una coincidencia es considerada válida.	143
Figura 3.32 SubVI Inicio	151
Figura 3.33 SubVI Posición botella	152
Figura 3.34 SubVI Posición botella 2	153
Figura 3.35 SubVI Crear Template.....	153
Figura 3.36 SubVI Comprobación	155
Figura 3.37 SubVI Template.....	156

Figura 3.38 SubVI Comparar sin tapa	157
Figura 3.39 SubVI Cancelar	159
Figura 3.40 SubVI Inicializar.....	160
Figura 3.41 SubVI Close	160
Figura 3.42 SubVI Acción mover Robot	161
Figura 3.43 SubVI Mover Robot.....	162
Figura 3.44 SubVI Enviar Comandos 2.....	162
Figura 3.45 SubVI Espol Lab Conveyor Setup.....	163
Figura 3.46 SubVI Espol Lab Conveyor Close	163
Figura 3.47 SubVI Espol Lab Conveyor Set Sensor-Camera Distance	164
Figura 3.48 SubVI Espol Lab Conveyor Speed.....	164
Figura 3.49 SubVI Espol Lab Conveyor Left	165
Figura 3.50 SubVI Espol Lab Conveyor Stop.....	165
Figura 3.51 SubVI Espol Lab Conveyor Report	166

Figura 3.52 SubVI Empuja Frascos.....	167
Figura 4.1 Partes fundamentales del prototipo.....	173
Figura 4.2 Borde de contención	178
Figura 4.3 Vista Frontal del Armario de Iluminación.....	180
Figura 4.4 Perfiles para el sensor y empuja frascos	181
Figura 4.5 Sensor de Control	185
Figura 4.6 Sistema eléctrico	187
Figura 4.7 Manejo de la cámara.....	190
Figura 4.8 Partes básicas de la cámara	191
Figura 4.9 Ubicación de la Cámara USB.....	193
Figura 4.10 Márgenes de operación de los servos	196
Figura 4.11 Ancho de pulso mínimo.....	197
Figura 4.12 Ancho de pulso máximo	197
Figura 5.1 Plantilla de referencia.....	202
Figura 5.2 Resultado del frasco ideal	203

Figura 5.3 Resultado del frasco defectuoso	203
Figura 5.4 Muestreo de pruebas realizadas para frascos completos	205
Figura 5.5 Muestreo de pruebas realizadas para frascos defectuosos	206

INTRODUCCIÓN

El trabajo presentado en esta tesis forma parte del tópico de graduación “Plataforma para el desarrollo de proyectos con DSPICs y visión robótica con LabView” y consiste en la “Aplicación de visión con *LabView* para la detección de frascos sin tapa”.

En el capítulo 1 se dará una teoría introductoria de la automatización, objetivos y viabilidad de la misma. Además, enuncia el propósito del proyecto, especificaciones generales del sistema y las aplicaciones dentro de un entorno industrial.

El capítulo 2 describe las herramientas utilizadas para implementar el sistema de vision por computadora, refiriéndose al *software* utilizado para la adquisición de imágenes, el *hardware* que integra los componentes físicos de la plataforma, el sistema electrónico y finalmente la estructura general aplicada para detectar frascos con tapa y sin tapa.

En el capítulo 3 se describe la aplicación desarrollada en *LabView* que controla la Plataforma de detección de frascos con tapa y sin tapa, considerada como la parte principal del proyecto de tesis. Se incluye una

información detallada de cada una de las herramientas utilizadas para el manejo del Sistema de Inspección.

En el capítulo 4 se presenta el diseño e implementación del proyecto de tesis, su integración con las demás aplicaciones y el funcionamiento general del prototipo. Además se menciona herramientas que hacen posible el levantamiento de la estructura para un óptimo análisis, así como también las interfaces usadas para la comunicación con el procesador central.

El capítulo 5 muestra todas las pruebas realizadas con un análisis completo de los resultados obtenidos, así como también, permite comprobar que los objetivos planteados al inicio del tópico fueron logrados satisfactoriamente.

Finalmente, se presentan las conclusiones y sugerencias para experimentar con la aplicación.

CAPITULO 1

1 Introducción a la Automatización

Este capítulo esta dedicado a dar una teoría introductoria de la automatización, objetivos y viabilidad de la misma. Además, enuncia el propósito del proyecto, especificaciones generales del sistema y las aplicaciones dentro de un entorno industrial.

1.1 Antecedentes

Automatización Industrial (automatización; del griego antiguo: guiado por uno mismo) es el uso de sistemas o elementos computarizados para controlar maquinarias y/o procesos industriales substituyendo a operadores humanos [1]. Sus objetivos se enfocan en:

- Incrementar la productividad de la empresa, reduciendo los costes de la producción, mejorando la calidad y precisión de los productos.
- Reducir el gasto físico de los trabajadores.
- Minimizar los tiempos de producción.
- Realizar operaciones imposibles de controlar por el hombre

El alcance de la Automatización Industrial va más allá que la simple mecanización de procesos, ya que ésta provee a operadores humanos mecanismos para asistirlos en los esfuerzos físicos del trabajo, y reduce ampliamente la necesidad sensorial y mental del humano. La Figura 1.1 corresponde a un ejemplo de un sistema automático de Etiquetado de botellas que reemplaza a la mano de obra humana en un trabajo repetitivo y tedioso.



Figura 1.1 Sistemas de etiquetado automático - Automatización industrial.

Los procesos basados en el trabajo manual, están siendo paulatinamente reemplazados por la manufactura de maquinaria. La parte más visible de la automatización actual puede ser la robótica industrial. Algunas ventajas son repetitividad, mayor eficiencia, integración con sistemas empresariales, incremento de productividad y reducción de trabajo. Algunas desventajas son requerimientos de un gran capital, decremento severo en la flexibilidad, y un incremento en la dependencia del mantenimiento y reparación. En la actualidad, los requerimientos que el mercado solicita, debido a la alta competencia global, tal como menor costo y una calidad excelente, exigen a las industrias a reemplazar los procesos manuales por automatizados.

Los procesos automatizados que involucran procesamiento de imágenes han ido evolucionando con el tiempo. En la actualidad, existen determinados sistemas dedicados a la inspección visual automática. Lo cual incluye la adquisición de imágenes mediante cámaras de vídeo y sus respectivas ópticas asociadas, y la transferencia de la información a sistemas de procesamiento, para que posteriormente se efectúen una serie de operaciones de acuerdo al proceso que se esté realizando.

Cabe acotar que existen proyectos relacionados con nuestro tema en donde involucran visión robótica o artificial para la detección de anomalías en envases. Donde se usan esquemas como el que se presenta en la Figura 1.2.

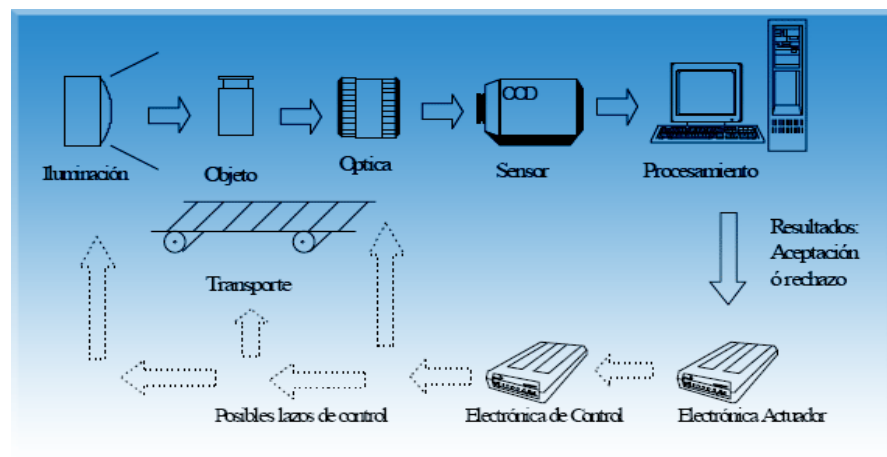


Figura 1.2 Diagrama de sistema de inspección visual automático [2].

Este sistema está diseñado de tal manera que tanto la electrónica y la opto electrónica sean manipuladas por un procesador central, el cual recibe la información, que corresponde a la imagen captada, desde el sensor óptico, y mediante operaciones adecuadas se la procesa. Como resultado del procesamiento se debe eliminar de la línea a los envases que se detecten con alguna anomalía.

Entre las técnicas asociadas al análisis y procesamiento de imágenes se pueden mencionar las siguientes:

- Eliminación de ruido.- Debido a la disponibilidad de poco tiempo para el procesamiento digital, es de suma importancia optimizar las técnicas de iluminación, con el fin de hacer casi innecesario la utilización de filtros para la eliminación de ruido.
- Segmentación.- El propósito de la segmentación es realizar una partición de la imagen en objetos o regiones significativas. La segmentación es un paso imprescindible en diversos procesos de tratamiento de imagen. Si de una serie de imágenes para un determinado estudio, sólo nos interesa una región concreta podemos segmentar las imágenes y almacenar sólo las regiones para el análisis posterior [2].

Por lo tanto, si estamos interesados en una única región, como en el caso del ejemplo de la Figura 1.3, se divide la imagen en objeto y fondo, considerando fondo a todas las regiones de la imagen que no nos interesan.

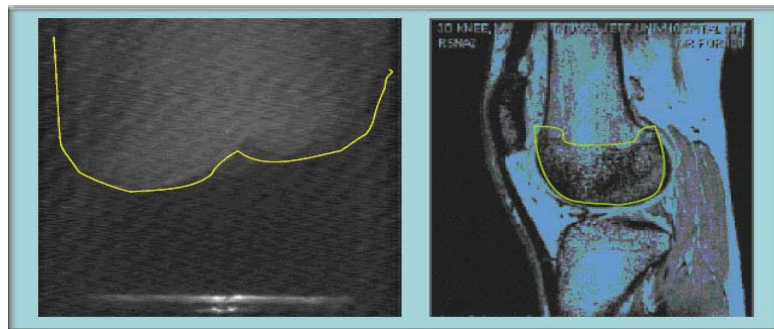


Figura 1.3 Segmentación de una imagen

1.2 Sistema de monitoreo para el control de señales

La mayoría de aplicaciones de control o de adquisición de datos tradicionalmente se programaban en lenguajes de alto nivel muy potentes como el *C++*, *Basic*, *Java*, entre otros, los cuales proporcionan herramientas para programar utilizando líneas de comandos escritas. Por otro lado existen lenguajes como el *Visual C++* o *Visual Basic* que permiten trabajar en entornos gráficos, pero son mucho más complejos en su utilización a nivel de usuario [3].

Para el control de la plataforma desarrollada se utilizó *LabView* (*Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench*) de *National Instruments*, herramienta de software que permite al usuario crear aplicaciones flexibles y escalables de diseño, control y pruebas utilizando un lenguaje de programación gráfica G.

Con el uso de este lenguaje de programación se ha creado una interfaz del sistema muy amigable para el usuario, que facilite el manejo y el entendimiento de la funcionalidad de la aplicación. Esta aplicación corresponde al programa principal con el que el usuario podrá controlar los procesos involucrados en la misma.

LabView se destaca por las innovaciones que nos ofrece el paquete de visión *NI IMAQ* para análisis y procesamiento de imágenes, el lenguaje de programación gráfica y la compatibilidad que nos brinda con dispositivos de adquisición de imágenes como cámaras *USB*, microscopios, escáneres, entre otros. Las herramientas de este paquete que han sido utilizadas en el proyecto serán mencionadas y detalladas a lo largo del escrito.

1.3 Descripción del problema

Uno de los problemas a la hora de envasar un producto en frascos en la línea de control de calidad es la presencia de algunos envases con defectos, tales como cuerpos extraños, diferencias en la presentación del producto, entre otros. Esto obliga a la incorporación de un puesto de inspección que detecte las anomalías del frasco.

Como proyecto se propone un sistema de inspección automática utilizando técnicas de Visión Robótica que ofrece el paquete de visión *NI IMAQ de LabView* compatible con Cámaras *USB* y el módulo *Vision Development de National Instruments*.

Esta inspección debe realizarse de tal manera que los resultados no se vean alterados por las perturbaciones que se dan por las múltiples interferencias que existen en un ambiente industrial.

La detección de frascos con defectos de productos envasados es una tarea de suma importancia en inspección visual automática y corresponde a un reconocimiento de detalles ó de apariencia. En esta tarea se hace importante el tiempo de cálculo de las técnicas o

algoritmos utilizados, que deben ser muy eficientes en este aspecto, para evitar el aumento de costo en *hardware* necesario.

Como trabajo grupal se propuso diseñar una plataforma de inspección automática para el control de calidad y detección de defectos ó cuerpos extraños en frascos, desarrollada con *DSPICS* y Visión robótica con *LabView*.

El diseño de la plataforma se ha dividido en varios proyectos, los cuales han sido desarrollados por estudiantes que conforman el Grupo del Tópico de Graduación. Los temas tratados se enuncian a continuación:

- Diseño de tarjetas para el desarrollo de aplicaciones con *DSPICS*
- Diseño de brazo robótico y diseño de brazo empuja frascos controlados por *LabView* y *DSPICS*.
- Diseño de dos bandas transportadoras de 100 x 10 cm y dos de 30 x 10 cm con motores controlados con *DSPICS*.
- Aplicación de Visión con *LabView* para la detección de nivel de llenado de frascos.

- Aplicación de Visión con *LabView* para la detección de frascos grandes.
- Aplicación de Visión con *LabView* para la detección de frascos sin etiqueta.
- Aplicación de visión con *LabView* para la detección de frascos sin tapa.
- Aplicación de visión con *LabView* para la detección de frascos de distinto color
- Aplicación de visión con *LabView* para la detección de frascos con turbiedades

El trabajo individual consiste en desarrollar una aplicación en lenguaje G utilizando *LabView*, de tal manera que se adquieran imágenes digitales del objeto a examinar (tapas de frascos) y a su vez procesarlas para su debido análisis, lo que permitirá detectar si el frasco posee o no tapa.

1.4 Generación de posibles soluciones

Con el desarrollo de esta plataforma se busca automatizar un proceso de inspección visual, y a su vez generar posibles

soluciones para los sectores en los cuales puede ser aplicada. Es necesario diseñar un sistema con un buen nivel competitivo dentro del mercado industrial, considerando aspectos como el incremento de la eficiencia del proceso en el cual será empleado, además de la reducción de costos que implicaría el uso del mismo.

Este proyecto esta dirigido a la función de control de calidad, donde se debe conocer las especificaciones establecidas del producto envasado, proporcionando asistencia al proceso de producción. En caso de implementación de la plataforma es preciso considerar la cantidad de espacio físico necesario utilizado, el cual dependerá del caso de aplicación. Pero, asegurando condiciones óptimas y facilidad para el manejo, el oportuno y correcto mantenimiento, además de periodo reducido para su implementación.

Es imprescindible considerar en el diseño la velocidad de procesamiento de la plataforma, lo cual influirá en el tiempo de inspección de cada frasco y por tanto en la capacidad que tendrá para ser empleada como parte de procesos reales.

1.5 Definición de proyecto específico “Aplicación de vision con *LabView* para la detección de frascos sin tapa”

De forma general se propone un sistema de control estructurado en una pequeña escala para corrección de errores de una embotelladora, que nos da una idea real de la aplicación del mismo dentro del campo industrial. Como ya se ha mencionado anteriormente cada grupo se encarga de realizar un trabajo específico que dan una mayor eficiencia y operabilidad a nuestra aplicación.

Nuestro proyecto específico, como parte de la plataforma, es un sistema que brinda la capacidad de inspección para determinar los frascos que no tienen tapa. Los frascos se movilizan por una banda transportadora, con el uso de una cámara *USB* se adquieren imágenes de los mismos, y estas imágenes son procesadas con el objetivo de determinar frascos con tapa o frascos sin tapa. Dependiendo del resultado, la botella avanza o es retirada de la línea. La Figura 1.4 corresponde a un esquema general del sistema de visión artificial.

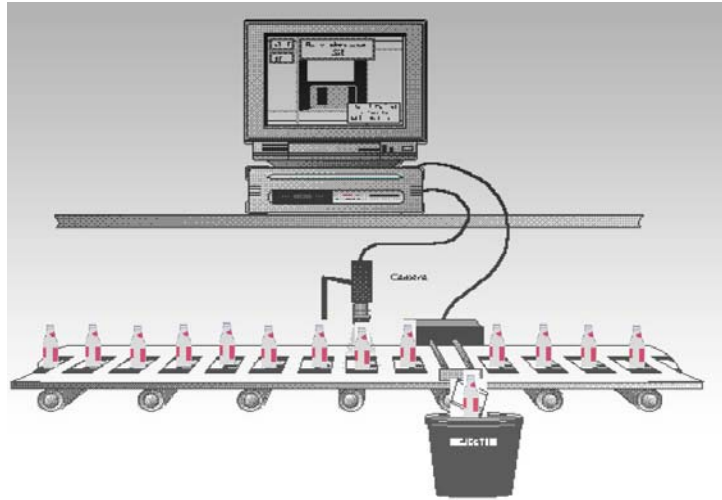


Figura 1.4 Esquema general de la plataforma de inspección

La Figura 1.5 presenta un diagrama del sistema opto electrónico, en la cual se muestra el Procesador, un armario de iluminación, la cámara *USB* y su óptica asociada.

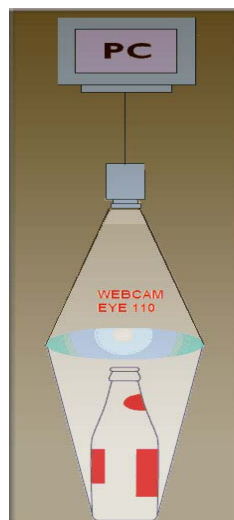


Figura 1.5 Esquema del proceso de detección

1.6 Aplicaciones en el campo industrial

El sistema de detección de frascos con tapa y sin tapa fue diseñado con la capacidad de ser aplicado en empresas dedicadas a envasar sus productos en frascos, y a empresas que elaboran estos envases [4].

En el campo industrial el empleo de los frascos interviene en sectores muy variados que cubren una amplia gama de productos. [Figura 1.6].

- Conservas de verduras, frutas, carnes, etc.
- Confituras y miel.
- Alimentos infantiles.
- Productos lácteos como yogurt.
- Café soluble, especias.
- Platos pre-cocinados.
- Productos farmacéuticos.
- Productos cosméticos.
- Productos químicos.
- Productos gaseosos, como aire comprimido utilizado en mantenimiento de equipos electrónicos.

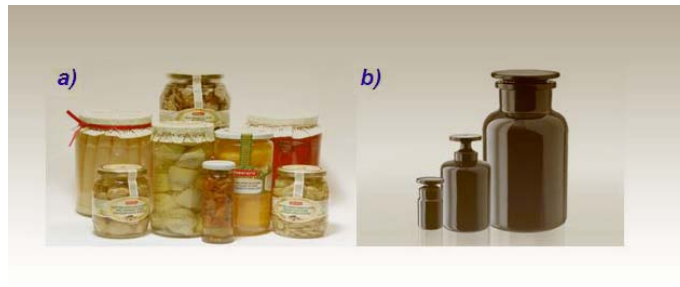


Figura 1.6 a) Conservas envasadas b) Frascos farmacéuticos

A continuación se mencionan sectores de la industria, en los cuales el sistema en estudio podría ser aplicado.

1.6.1 Industria de productos envasados en frascos de vidrio y plástico.

Los frascos de vidrio y plástico constituyen los envases de uso más común en la industria alimentaria [Figura 1.7]. Los envases tienen la característica común de tener una abertura de un diámetro de acuerdo al contenido, lo que permite el envasado de productos sólidos, líquidos y gaseosos [4].

En el mundo de las industrias muchas empresas se dedican a la elaboración de frascos de vidrio y de plástico, y utilizan maquinarias para la automatización de ciertos procesos

repetitivos que muchas veces resultan ineficientes si son realizados directamente por personal humano.

La plataforma de detección automática de frascos sin tapa o con tapa podría aplicarse en la industria de productos envasados en frascos de vidrio y plástico. Como resultado se obtendría una ayuda importante a procesos que son llevados a cabo con alta precisión, además, que elevaría la eficiencia al automatizar un proceso tan repetitivo como es el de analizar cada frasco para determinar si posee o no la tapa correcta.



Figura 1.7 Envases de industrias alimentarias

1.6.2 Industria de productos embotellados.

Las botellas son recipientes con cuellos estrechos que se utilizan para conservar, almacenar y transportar líquidos. El material del cual se fabrican depende de las características del contenido [5].

Comúnmente, el proceso de producción de una embotelladora está compuesto por un bloque de llenado de líquido, un bloque de sellado de botellas, un bloque de etiquetado y un bloque de empaquetado. En una planta embotelladora es necesario desplegar un sistema de control de calidad del producto final antes de su distribución, la plataforma de inspección visual desarrollada puede actuar como parte de este control, estableciendo procesos que garantizan la correcta presentación del mismo.

1.7 Estrategias utilizadas

Las estrategias utilizadas constituyen el conjunto de acciones que se han llevado a cabo para el desarrollo de la tesis, por lo tanto se las considera la parte más importante y la base del trabajo. A

continuación se describe el proceso de investigación, desarrollo e implementación del proyecto.

1.7.1 Investigación bibliográfica

Esta estrategia es común en todo tipo de trabajo. La investigación bibliográfica es la etapa donde se explora qué se ha escrito en la comunidad científica y estudiar aquellos documentos que contienen información relacionada con el proyecto planteado.

Básicamente se ha dividido en cuatro pasos:

1. Se definieron cuestiones generales como el problema, el marco teórico empleado y el campo en que se va a aplicar este proyecto.
2. Se procedió a consultar todo material bibliográfico referente a nuestro tema. Fundamentalmente se profundizó en la información que brinda la página *Web de Nationals Instruments*, donde se encuentra toda la información necesaria acerca del lenguaje de programación, del paquete *NI IMAQ de LabView* para adquisición de imágenes, del módulo *Vision Development* para análisis y procesamiento de imágenes, así también,

de la compatibilidad de este *software* con el *hardware*, que incluye principalmente cámaras *USB* y otros dispositivos de adquisición de imágenes. Como complemento, esta página proporciona la facilidad de contactarse con personas que trabajen o que estén experimentando con *LabView*, para en base a su experiencia, resolver problemas que se suscitasen en el transcurso del desarrollo del proyecto.

Página Web: <http://www.ni.com>

3. Se consultó los apuntes e investigaciones de los compañeros del Tópico dedicados a desarrollar los proyectos complementarios para la implementación de la plataforma de inspección. (Diseño de brazo robótico y diseño de brazo empuja frascos controlados por *LabView* y *DSPICS*, Diseño de dos bandas transportadoras de 100 x 10 cm y dos de 30 x 10 cm con motores controlados con *DSPICS*).
4. Se investigó información acerca de la presentación de resultados obtenidos.

1.7.2 Cursos realizados

La tesis fue realizada bajo la supervisión del Ingeniero Carlos Valdivieso, y en conjunto con un grupo de compañeros pertenecientes a diferentes carreras:

- Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones.
- Ingeniería en Electrónica.
- Ingeniería en Electricidad: Especialización Electrónica y Automatización Industrial.

El trabajo en grupo representó una gran ventaja debido a las diferentes habilidades y experiencia que cada uno de los integrantes del Tópico poseen.

En el transcurso de los cursos se compartió y se adquirió conocimientos que son aplicados para el desarrollo e implementación del proyecto, lo cual permitió la comprensión de las características, funcionalidad y limitaciones de las herramientas *software* y de *hardware* que se utilizaron.

Como parte del tópico de graduación se asistió a cuatro cursos que conforman la base teórica del trabajo:

- Generalidades de los Microcontroladores *PICs* y Lenguajes de programación.
- Lenguaje de programación gráfico *LabView*.
- Generalidades de los Microcontroladores *PICs* para procesamiento de señales *DSPICS*.
- Paquete *NI IMAQ* de *LabView*.

Además se asistió a una charla explicativa donde se trató de manera general el uso de las herramientas de visión robótica de *LabView* que fue dictada previa al inicio de los cursos, con el propósito de dar a conocer a los estudiantes interesados acerca del tema del Tópico.

1.7.3 Desarrollo del proyecto

Una vez definido el problema, los objetivos, aplicaciones y, obtenido el marco teórico que respalda y sirve de base del proyecto, se procedió al desarrollo e implementación del mismo.

Para la implementación se dispuso de una cámara *USB*, un brazo robótico que actuara como soporte de la cámara, una banda transportadora de materiales, componentes físicos que integran la plataforma y la programación en *LabView* como un *software* que permite desarrollar instrumentos virtuales que faciliten el análisis del objeto a evaluar.

Una ventaja significativa de la cual se saco el mayor provecho es la experiencia y conocimientos de los integrantes del grupo de trabajo, esto, acompañado del compañerismo y predisposición de cada uno resulto una fuente importante y considerable de soluciones a problemas que se dieron durante la ejecución del trabajo.

CAPITULO 2

2 Requerimientos para la Aplicación del Proyecto

Este capítulo describe las herramientas utilizadas para implementar el sistema de vision por computadora, refiriéndose al *software* utilizado para la adquisición de imágenes, el *hardware* que integra los componentes físicos de la plataforma, el sistema electrónico y finalmente la estructura general aplicada para detectar frascos con tapa y sin tapa.

2.1 Requerimientos de *hardware*

Para la implementación de la Plataforma de inspección de frascos con tapa y sin tapa se han utilizado los siguientes dispositivos de *hardware*:

- Un ordenador: Componente principal que se encarga de ejecutar el programa que controla todo proceso del sistema.
 - Memoria RAM 1GB.
 - Procesador Dual de 1.8 GHz.
 - Disco Duro 160 GB.

- Tarjetas controladoras de servomotores y sistema de transportación: La banda transportadora, el brazo robótico y el brazo empuja frascos están controlados por éstas tarjetas que permitirán su interconexión y el control desde *LabView*.

- Cámara *EYE 110* (cámara *USB*): Se considera un componente fundamental de la plataforma, porque es la encargada de capturar las imágenes que contienen la información necesaria para que pueda ser procesada y analizada por el ordenador para llevar a cabo el proceso de detección.

2.2 Requerimientos de *software*

Como se menciona anteriormente, se propone un Sistema de Visión para automatización de procesos de inspección de frascos sin tapa.

El *software* denominado *LabView* de *NI*, en conjunto con un *Software* de Visión, el cual incluye *Vision Development Module* y el paquete *IMAQ*, constituyen los elementos necesarios para el desarrollo y diseño del proyecto.

2.2.1 Generalidades de *software NI LabView*



Figura 2.1 Logo de *LabView*

LabView de *NI* es una herramienta de *software* que permite al usuario crear aplicaciones flexibles y escalables de diseños, control y pruebas utilizando un lenguaje de programación gráfica G. Este programa fue creado por *NI* en 1976 para funcionar sobre máquinas *MAC*, y salió al mercado por primera vez en 1986. Ahora está disponible para las plataformas *Windows*, *UNIX*, *MAC* y *Linux*.

El ambiente de desarrollo gráfico *LabView* brinda funcionalidad y rendimiento avanzados que los usuarios pueden usar para desarrollar aplicaciones sofisticadas. La principal característica de este *software* es la facilidad de uso, válido para programadores profesionales como para personas con pocos conocimientos en programación.

Existen muchas ventajas en comparación con los demás lenguajes de programación [Anexo A] de las cuales los programadores principiantes pueden beneficiarse, como la facilidad de aplicación de las diferentes herramientas que reemplazan a líneas de código que muchas veces resultan difíciles de entender y tediosas de escribir. Además, de la rapidez con la que se puede crear aplicaciones relativamente complejas, debido a que se puede acceder fácilmente a las funciones y generarlas con simples movimientos del Mouse, esto significa que los programas no se escriben, sino que se dibujan, facilitando su comprensión [3].

Además es una herramienta muy poderosa que es compatible con tipos de *hardware* propios de *NI*, tales como Tarjetas de adquisición de datos, Dispositivos de visión, entre

otros, lo cual le brinda funcionalidad y capacidad de ser utilizado en tareas especializadas como:

- Procesado digital de señales.
- Visualización y manejo de gráficas con datos dinámicos.
- Adquisición y tratamiento de imágenes.
- Control de movimiento.
- Programación de *FPGAs* para control o validación.
- Sincronización entre dispositivos.

2.2.2 Programación gráfica de *LabView*

La programación G es el núcleo de *LabView* es una programación gráfica en el que se pueden elaborar programas denominados *VIs*, lo que da una idea de una de sus principales aplicaciones: “El control de instrumentos” [6].

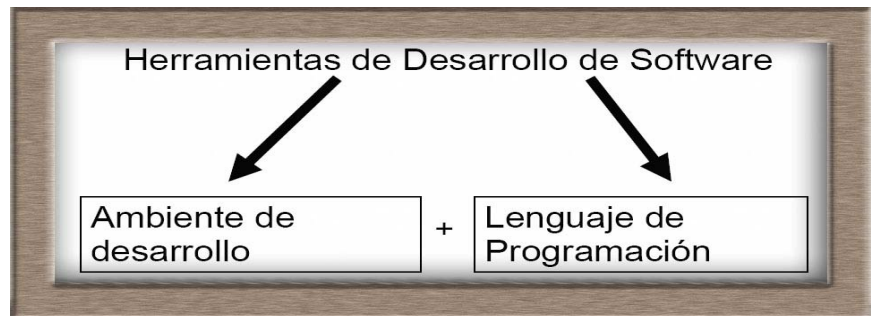


Figura 2.2 Desarrollo del software

La Figura 2.2 presenta un esquema general de las herramientas de desarrollo de software. En el ambiente de trabajo de *LabView* existen dos paneles, el panel frontal y el panel de programación ó diagrama de bloques, los cuales permiten crear la interfaz con el usuario y determinar como funciona el programa o el sistema. [Figura 2.3].

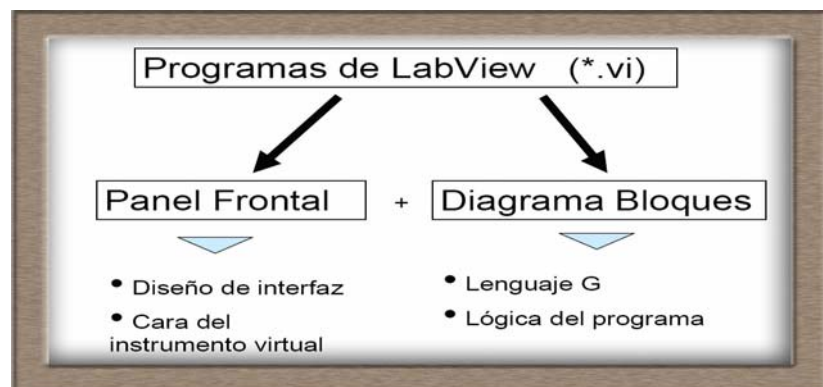


Figura 2.3 Paneles de LabView

- **Panel frontal:** El panel de control de un VI es una combinación de controles e indicadores, que no son otra cosa que las entradas y salidas interactivas respectivamente [Figura 2.4].

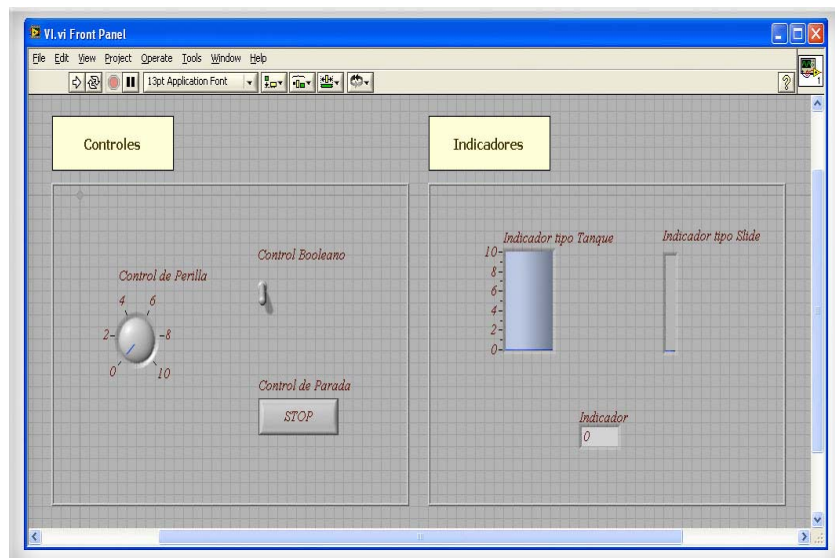


Figura 2.4 Panel frontal

Los controles simulan los tipos de dispositivos de entrada que encontramos en cualquier tipo de instrumento convencional, como pueden ser las perillas o botones. Cuando manipulamos los controles comienza el flujo de datos dentro del diagrama de bloques.

Los indicadores son mecanismos para presentar información que ya ha sido procesada al usuario, los cuales pueden ser: varios tipos de gráficas y tablas, así como indicadores numéricos, boléanos y de arreglos.

- **Diagrama de bloques:** Esta parte es semejante a las instrucciones que encontramos en los programas convencionales, aquellos en los que se compila a base de texto, solo que aquí en vez de usar códigos se utilizan bloques [Figura 2.5]. Cuenta con tres tipos de componentes, que son: terminales, nodos y línea de conexión.

En primer lugar tenemos las terminales que son todos los controles e indicadores que se plasman en el panel frontal y aparecerán aquí como variables de entrada y salida respectivamente.

Los nodos son los elementos de la ejecución del programa y se dividen en tres tipos que son:

- **Funciones:** se refieren a las operaciones fundamentales del diagrama de bloques, por ejemplo operaciones matemáticas.

- **Los SubVI's:** son aplicaciones de *LabView (VI)* que son llamadas por otra aplicación de *LabView* con el objetivo de compactar y organizar los elementos del diagrama, generar una función nueva, y llamar a una subrutina.
- **Estructuras:** son las que controlan el flujo del programa, por ejemplo *Loop*, *For*.

Por ultimo, las líneas de conexión, como su nombre lo dice, son los enlaces virtuales entre todas las terminales y nodos [7].

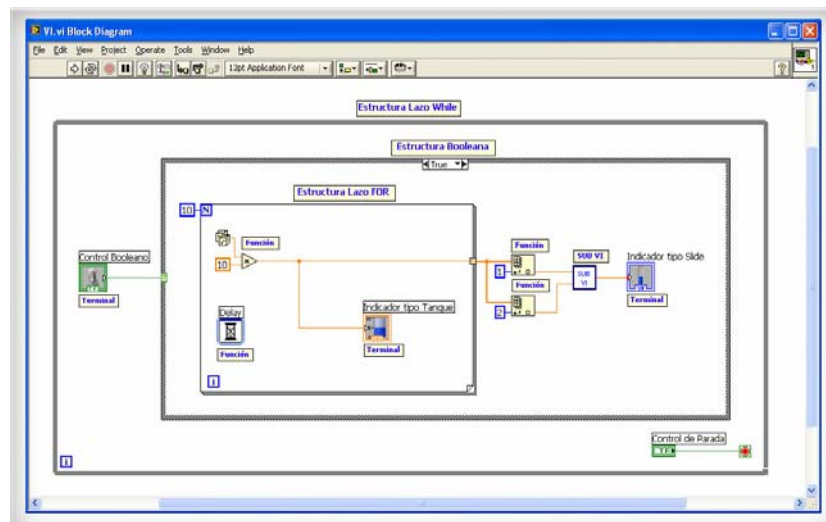


Figura 2.5 Diagrama de bloques

2.2.3 Software de Visión

El *software* de visión es proporcionado por *NI*, está especializado en el área de visión artificial y el procesamiento de imágenes, y actualmente, este *software* tiene compatibilidad con un sin número de diferentes dispositivos de adquisición de imágenes.

Para el procesamiento de imágenes ofrece dos paquetes diferentes [Anexo B]:

- **Modulo de Desarrollo de Visión:** Conocido como *Vision Development Module*, es un conjunto de funciones relacionadas con visión que pueden ser usadas en programas como *LabView* o *Visual Basic*.
- **Constructor de Visión para Inspección Automatizada:** Conocido como *Vision Builder for Automated Inspection*, es un *software* con un ambiente interactivo y se utiliza para configurar, realizar evaluaciones comparativas y desarrollar aplicaciones de visión artificial sin programación. Es irrelevante profundizar acerca de este programa debido a que no es aplicado en nuestro proyecto.

El *software* de visión que presenta *NI* está altamente optimizado para trabajar a velocidades muy altas lo cual permite su aplicación en sectores donde el tiempo de procesamiento de imágenes constituye un factor muy importante. Este *software* es parte de un conjunto de herramientas que en conjunto pueden ser utilizados para crear sistemas completos automatizados, debido a la compatibilidad que posee con un sin numero de dispositivos de *hardware* [8].

2.2.4 Módulo de Desarrollo de Visión

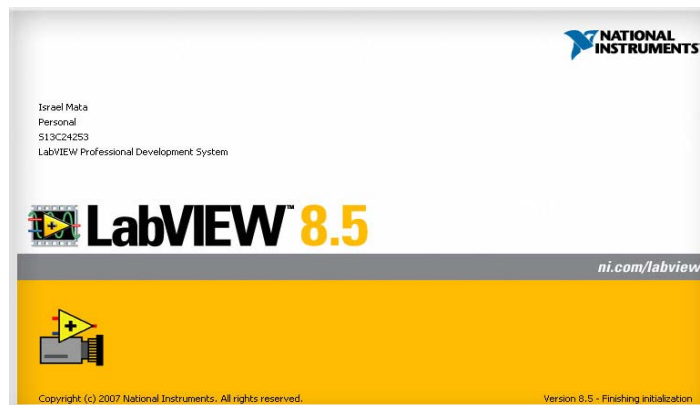


Figura 2.6 *Vision Development Module*

El Módulo de Desarrollo de Visión de *NI* es un conjunto de funciones que facilitan el procesamiento de imágenes y visión artificial, desarrollado para trabajar con numerosos lenguajes de programación, tales como *NI LabView*, *Microsoft C + +*, *Visual Basic* y *.NET*. El uso de estas herramientas permite al usuario mejorar imágenes, localizar características específicas de objetos dentro de las imágenes, identificar objetos y realizar mediciones. Además, este modulo también incluye el Asistente de Visión de *NI*.

El Módulo de Desarrollo de Visión ofrece funciones de procesamiento de imágenes, tales como, correspondencia de patrón geométrico, *OCR* que permite el reconocimiento óptico de caracteres, es decir, extrae de una imagen los caracteres que componen un texto para almacenarlos en un formato con el cual puedan ser aceptados por programas de edición de texto, lectores de códigos de barras, clasificación de objeto, entre otras.

Con este modulo es posible utilizar el Asistente de Visión de *NI*. Con el uso de este asistente se pueden generar prototipos y realizar pruebas de aplicaciones de

procesamiento de imágenes, además posee la característica de permitir al usuario analizar paso a paso el funcionamiento del algoritmo creado. Usando el Asistente de creación de *Vis* de *LabView* existe la opción generar *Vis*, los cuales realizarán las funciones del prototipo que se haya creado [9].

2.2.5 Asistente de Visión de NI

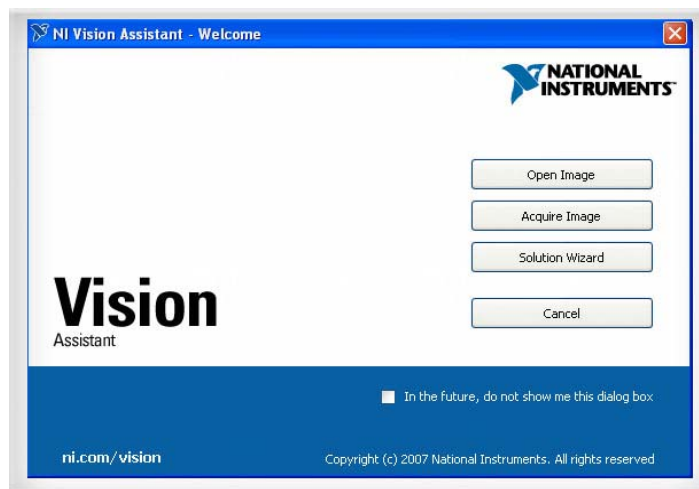


Figura 2.7 Vision Assistant

El Asistente de Visión de *NI* es una herramienta, incluida en el Módulo de Desarrollo de Visión, que permite a los usuarios crear prototipos y realizar pruebas de aplicaciones de

procesamiento de imágenes. Con este *software* es relativamente fácil verificar los resultados de cada una de las funciones a utilizarse en un proyecto de procesamiento de imágenes.

Además, brinda la capacidad de depuración de errores paso a paso, es decir, los algoritmos que se apliquen son guardados en un registro en forma secuencial, lo cual permite revisar el proceso en forma detallada para corregir cualquier anomalía que nos impida obtener un resultado satisfactorio.

Una vez generada la aplicación es posible almacenarla y posteriormente probarla en otras imágenes, y de esta manera comprobar que funciona correctamente. El algoritmo se registra en un *script file*, que contiene todas las funciones de procesamiento y parámetros importantes del mismo. Un *script* o archivo de comandos es un programa o secuencia de instrucciones que puede ser interpretado o traducido a lenguaje de máquina a través de compiladores, que se encargan de traducir el programa a otro equivalente en un lenguaje que la computadora pueda ejecutarlo [10].

2.2.6 Adquisición de imágenes de NI

Conocido como *Image acquisition (IMAQ)* es un conjunto de funciones que controlan dispositivos de adquisición de imágenes compatibles. Contiene funciones para realizar tareas que van desde inicialización de dispositivos hasta adquisición de imágenes de alta velocidad.

IMAQ brinda la capacidad de programación utilizando funciones tanto de alto nivel de *E/S*, las cuales son fáciles de usar, como las de bajo nivel de *E/S*, para incrementar la flexibilidad y rendimiento. Con este paquete se puede controlar dispositivos para que trabajen a su máximo rendimiento, e incluye un administrador de *buffer* que permite adquirir y procesar datos simultáneamente [11].

2.2.7 Adquisición de imágenes para cámaras USB

La adquisición de imágenes para cámaras *USB (IMAQ)* es un *software* instalador gratuito que se utiliza para la adquisición de imágenes desde cualquier dispositivo *DirectShow* de

imágenes en *LabView*. Estos dispositivos incluyen cámaras *USB*, *webcams*, microscopios, escáneres, entre otros. Cuando se combina con el Módulo de Desarrollo de Visión, se tiene la capacidad de realizar aplicaciones de visión utilizando cientos de funciones para el procesamiento de imágenes, incluyendo filtros, morfología binaria, reconocimiento de patrones, e inspección de color [12].

Con *NI IMAQ* para cámaras *USB*, el usuario puede realizar tareas como:

- Elegir entre adquisición de un solo cuadro o adquisición continua de imágenes.
- Configurar las cámaras.
- Adquirir información directamente desde *Vision Assistant* para una fácil creación de prototipos.

2.3 Especificaciones del Sistema electrónico

Como especificaciones del sistema electrónico se hace referencia a las tarjetas que controlan la banda transportadora, el brazo robótico

y el brazo empuja frascos que permiten su interconexión y el control desde *LabView*.

2.3.1 Tarjeta controladora de la banda transportadora

La tarjeta controladora de la banda transportadora tiene la capacidad de manejar los motores de la banda controlando su velocidad y dirección. Su principal función es generar una señal *PWM* para controlar la velocidad de cada motor, sincronizándolos para que la carga de las cintas transportadoras se desplace con suavidad sobre ellas. Además controla el sentido de giro hacia la izquierda (sentido anti-horario) o derecha (sentido horario).

La sincronización se calcula partiendo de la información proveniente de sensores de desplazamiento obteniendo una realimentación que permite el control de velocidad y posicionamiento [13].

La descripción del circuito puede ser revisada en el anexo C.

2.3.2 Tarjeta controladora de Servomotores

La tarjeta controladora esta diseñada para controlar servomotores, cumpliendo así dos funciones importantes:

- Control del brazo robótico
- Control del brazo empuja frascos

Esta tarjeta puede manejar 8 servo motores y tiene 6 entradas analógicas que pueden ser utilizadas para obtener realimentación de la posición actual de los motores [14].

La descripción del circuito puede ser revisada en el anexo D.

2.4 Requerimientos del diseño

En el sistema de procesamiento de imágenes, el *PC* constituye la herramienta principal, es la plataforma sobre la cual se desarrollan, entre otras cosas, las aplicaciones de captura, presentación y/o almacenamiento de imágenes y el control de procesos basados en la información generada por la cámara *USB*. La Figura 2.8 presenta

un esquema que integra las herramientas utilizadas en la estructura del sistema de visión.

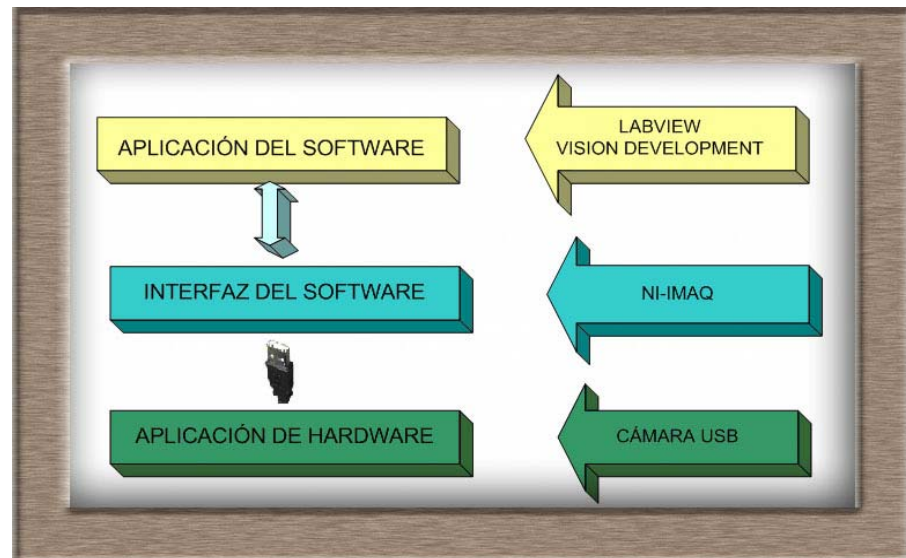


Figura 2.8 Estructura del sistema de visión basado en PC

El sistema esta formado por los siguientes componentes:

2.4.1 Iluminación

El tener una buena iluminación es una función vital para realizar un apropiado acondicionamiento de la imagen. Iluminar la escena y el objeto de forma adecuada es un paso muy importante para el correcto funcionamiento de nuestra

aplicación, por lo cual, el objetivo de la iluminación es adecuar el campo de imagen para separar el elemento que se quiere inspeccionar de su entorno.

La elección de una buena técnica de iluminación debe permitir tener un buen contraste de cada uno de los puntos a tomar en consideración en nuestro objeto de estudio, para poder realizar un procesamiento apropiado. Los aspectos básicos que se buscan con una buena iluminación son:

- Luz homogénea sobre el campo de visión para obtener una imagen nítida.
- Máximo contraste para captar los detalles de las zonas de interés.
- Mínimo contraste para descartar las zonas que no interesen.
- Mínima sensibilidad a variaciones ambientales.

Además, es necesario considerar que para conseguir imágenes de calidad con el máximo contraste, no solo influye la iluminación, intervienen otros factores tales como características y posición de la cámara.

2.4.2 Fuentes de alimentación

Para la implementación de la plataforma disponemos de cuatro fuentes de alimentación de las mismas características [Anexo E] alimentadas con 110Vac, compuesta por un rectificador de onda completa sin regulador que proporciona 12V y 5A que proveen la corriente necesaria para alimentar las tarjetas de potencia, las mismas que se encargan de controlar los motores de la banda transportadora.

Por último, contamos con otra fuente que se encarga de alimentar a la tarjeta controladora del brazo robótico y el brazo empuja frascos alimentada con 110Vac, compuesta por un rectificador de onda completa con un regulador que proporciona 5V y 1A.

2.4.3 Banda Transportadora

La banda transportadora genera un circuito cerrado donde las botellas o frascos que van a ser analizados pasan continuamente por el sistema de detección constituido por la cámara *USB*, el armario de iluminación y el brazo robótico.

La banda transportadora es un medio para efectuar el trabajo de mover objetos desde un punto A hasta otro B y se basa en la transmisión de movimiento por fricción entre una banda o cinta y los rodillos accionados por un motor. La banda fue fabricada de cinta plana formada por 2 partes de 100 cm de largo por 10 cm de ancho y 2 partes de 30 cm de largo por 10 cm de ancho con un riel que guíe el recorrido de botellas de 4 cm a través del circuito continuo [Figura 2.9].

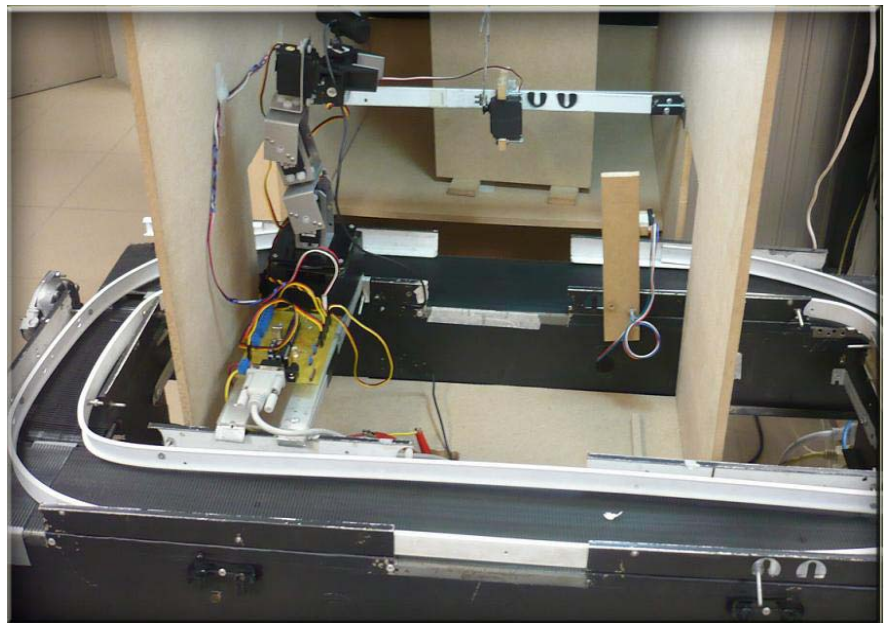


Figura 2.9 Banda Transportadora

2.4.4 Sistema de Sensado

Los sensores detectan el movimiento de las bandas y permiten calcular la velocidad de desplazamiento que servirá luego para sincronizar las bandas por medio de la señal corregida *PWM* que alimenta a los motores originando un desplazamiento uniforme [15].

Los sensores de desplazamiento son sensores reflexivos técnicamente conocidos como *QRB1133*, para más detalle véase anexo F. La Figura 2.10 muestra la ubicación de los sensores en la banda transportadora.

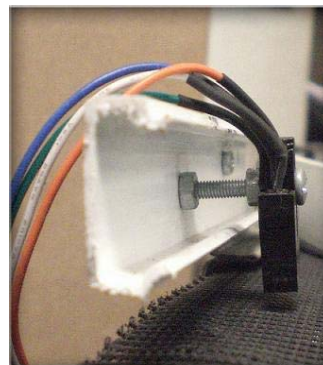
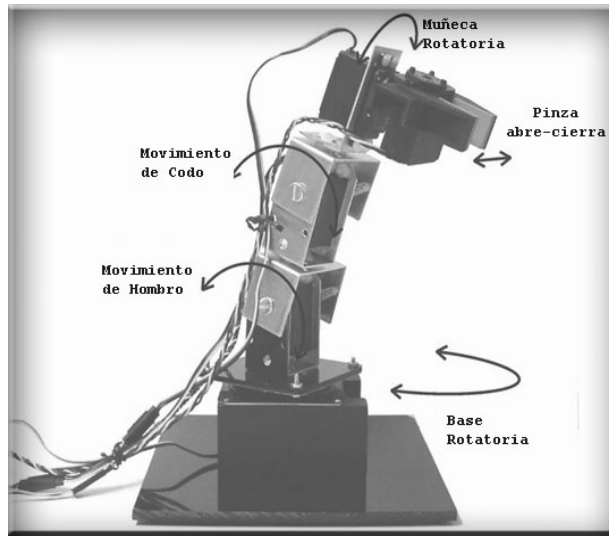


Figura 2.10 Sensor de desplazamiento

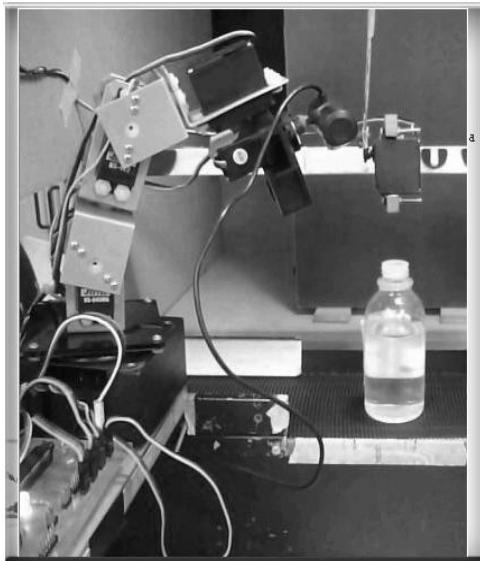
2.4.5 Brazo Robótico

El brazo robótico es un manipulador multifuncional diseñado para mover materiales, herramientas o dispositivos específicos mediante movimientos programados, para realizar diferentes tareas. En esta ocasión su función consiste en portar la cámara *USB*, como se muestra en la Figura 2.11 (d), y realizar movimientos precisos para la captura de imágenes de diferentes ángulos del objetivo.

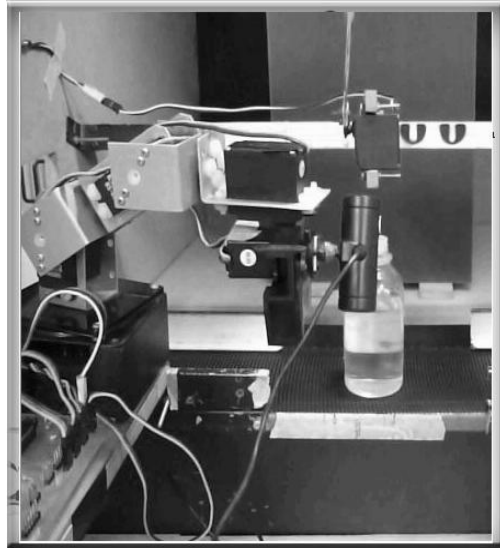
Está formado por una secuencia de cuerpos rígidos llamados elementos, conectados mediante articulaciones prismáticas o de revolución. Cada par articulación-elemento constituye un grado de libertad. Entre más sean los grados de libertad, es mayor la dificultad para controlarlo, debido a los requisitos de *software*. La Figura 2.11 (a) presenta un esquema, detallando los elementos y articulaciones que forman el brazo robótico que utilizaremos para nuestro caso de estudio.



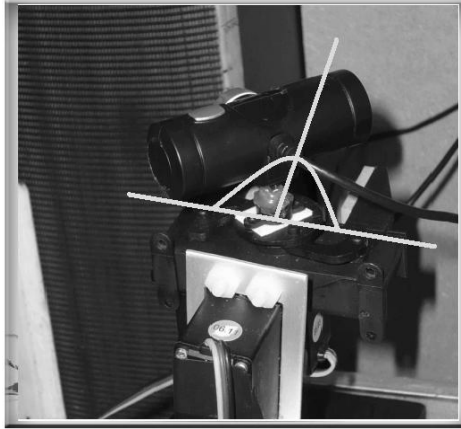
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 2.11 Brazo robótico – Brazo cámara robótico

De acuerdo con la cantidad de movimiento que puede realizar un brazo robótico se dividen en:

- 2 grados de libertad
- 3 grados de libertad
- 4 grados de libertad
- 5 grados de libertad
- 6 grados de libertad

En base a la clasificación anterior, nuestro robot entra en la categoría de los robots manipuladores con 5 grados de

libertad, ya que tenemos cuatro movimientos principales y el movimiento de la pinza. Los movimientos principales se refieren a la base, el hombro, el codo y la muñeca, por otra parte el movimiento de la pinza consiste en abrir y cerrar [14].

El brazo robótico se compone de tres partes muy importantes: la base, el brazo y la pinza. La mayor parte de las piezas del brazo robótico son de aluminio. Gracias a este material el robot es ligero y se puede mover con facilidad.

Como ya se ha mencionado, la cámara *USB EYE 110* es colocada sobre el brazo robótico, exactamente sobre el disco giratorio que se acciona cuando la pinza se abre o se cierra. El objetivo de esta construcción es crear un brazo cámara robótico que permita enfocar el objeto de estudio y capturar imágenes del mismo desde diferentes ángulos, para nuestro caso específico se analiza la vista superior y la vista lateral de los frascos para determinar si tienen o no tapa. Los cuatro movimientos principales del robot permiten desplazar la cámara y colocarla a un lado o sobre el objetivo, lo cual es aprovechado para nuestro propósito de captar las vistas necesarias de los frascos para realizar la inspección [Figura

2.11 (b)-(c)], mientras que el movimiento del disco giratorio (movimiento de abrir y cerrar la pinza) permite girar la cámara 180 grados tal y como se puede apreciar en la Figura 2.11 (d).

2.4.6 Servomotores

Un servomotor es un motor eléctrico de precisión en el que se pueden controlar su velocidad y/o posición, sólo se puede mover en un ángulo de 180 grados, es decir, no dan vueltas completas como los motores que normalmente conocemos (*AC* o *DC*).

La ubicación del eje varia dependiendo de la posición angular, la cual es enviada por medio de una señal de control. Mientras la señal de control exista a la entrada de la línea, el servomotor mantiene su posición angular. A medida que la señal de control cambia, la posición angular cambia también.

El servomotor esta compuesto por un circuito de control, un conjunto de engranajes, un motor y una caja donde se

encuentran todos estos elementos. Además contiene cables codificados por colores, cada uno tiene una función diferente como se detalla a continuación [15]:

- Señal de control (Amarillo o Blanco), cable de control.
- Vcc (Rojo), cable de alimentación.
- GND (Negro), cable de tierra.

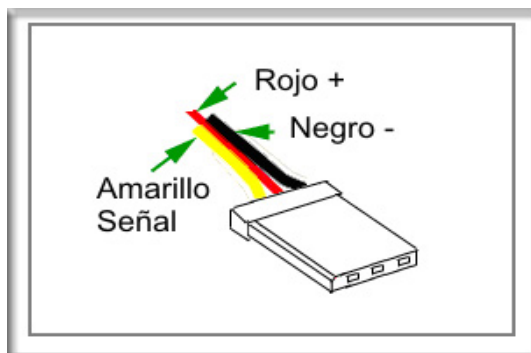


Figura 2.12 Cables del servo

Los servomotores *HITEC* se caracterizan por su calidad técnica y sus excelentes características mecánicas y electrónicas, lo cual hacen que sean los servos más utilizados en la práctica [Anexo G].

CAPITULO 3

3 Adquisición de datos para la detección de frascos

En este capítulo se describe la aplicación desarrollada en *LabView* que controla la Plataforma de detección de frascos con tapa y sin tapa, considerada como la parte principal de este proyecto de tesis.

Esta descripción incluye una explicación detallada de cada una de las herramientas empleadas en el diseño del programa, además, de las capacidades y el manejo del Sistema de Inspección.

3.1 Características físicas de la tapa de los frascos a evaluar para la detección y herramientas utilizadas.

3.1.1 Características físicas del objeto a evaluar.

Las funciones del Módulo de Desarrollo de Visión que se utilizan en la Plataforma de inspección para el procesamiento de imágenes se basan en el reconocimiento de forma y distribución de colores.

Color Pattern Matching es la función que se emplea para la detección de frascos con tapa y sin tapa. Básicamente, esta instrucción busca coincidencias de una imagen plantilla en una imagen de mayor tamaño. Más adelante se describe detalladamente el funcionamiento de esta herramienta. Con el uso de esta función, la Plataforma de inspección es capaz de detectar cualquier tipo de tapas, de cualquier forma, cuadradas, circulares, irregulares, etcétera, y de cualquier color o combinación de colores, incluso con diseños o logotipos como los que se muestran en la Figura 3.1.



Figura 3.1 Ejemplos de diferentes formas, diseños y tipos de tapas.

Debido a que la cámara se encuentra montada sobre un brazo robótico, tiene la capacidad de moverse y captar imágenes del objetivo desde diferentes ángulos, lo cual se aprovecha en nuestro proyecto para detectar tapas rosca [Figura 3.2].



Figura 3.2 Vista lateral y superior de la tapa.

Es importante señalar que la implementación del proyecto corresponde a la construcción de una plataforma real de inspección con el propósito de demostrar el funcionamiento de las aplicaciones de software y los sistemas electrónicos desarrollados.

El modelo de frasco, sus características y dimensiones, con el cual se ha diseñado el proyecto se muestran en el anexo H. Cabe mencionar que para inspeccionar el mismo modelo de envase pero con distintos diseños de tapas, únicamente se necesita utilizar las plantillas adecuadas, sin realizar modificaciones en la lógica o configuración del programa principal, mientras que si se desea aplicar el sistema para otros tipos de frascos de diferentes formas es necesario cambiar ciertos valores en la configuración, teniendo como limitación el tamaño debido a que modelos extremadamente pequeños o muy grandes no podrían ser analizados.

3.1.2 Herramientas utilizadas

En la plataforma de inspección de frascos sin tapa se han utilizado ciertas herramientas del *software* de visión para la adquisición, análisis y procesamiento de imágenes, y presentación de resultados en *LabView*.

A continuación se exponen las funciones aplicadas en el proyecto, para comprender el funcionamiento de las mismas y conocer ciertas características que poseen, las cuales serán de vital importancia para alcanzar nuestro propósito.

3.1.2.1 Reconocimiento de patrones a color

El reconocimiento de patrones a color, conocido como *Color Pattern Matching*, es una función del Módulo de Desarrollo de Visión que se utiliza para localizar rápidamente patrones de referencia conocidos en una imagen a color [16].

Para la aplicación de esta función, es necesario disponer de un modelo o plantilla que representa el

objeto que se está buscando. A partir de esto se busca este modelo en las imágenes que estén siendo procesadas, calculando una puntuación para cada coincidencia. La puntuación indica en forma cuantitativa cuan cerca el modelo a color coincide con el patrón encontrado [17].

Además, el reconocimiento de patrones a color se utiliza para localizar plantillas de referencia que están descritas detalladamente por el color y la información espacial de la estructura. Esta herramienta, normalmente, se la aplica en los siguientes casos:

- Cuando el objeto que se desea ubicar contiene información de color que es muy diferente que la del fondo y se necesita encontrar la ubicación del objeto en la imagen con mucha precisión. Para estas aplicaciones, el reconocimiento de patrones proporciona una solución más exacta que la simple ubicación de color porque utiliza

información de la forma durante la fase de búsqueda.

- Cuando el objeto que se desea ubicar posee propiedades de escala de grises que no son muy diferentes que las del entorno o que son muy similares a las de otros objetos que se encuentran en las imágenes de estudio.

En tales casos, el reconocimiento de patrones en escala de grises no puede dar resultados exactos. Si el objeto tiene alguna información de color que lo diferencia de los otros objetos en la escena, el color proporciona información necesaria y adicional para localizar el objeto.

3.1.2.2 Reconocimiento de color

El reconocimiento de Color, conocido como *Color matching*, es una técnica que permite determinar si una parte de una imagen contiene o no una distribución de los colores dados. No se debe confundir con el *color pattern matching*, que es una

técnica compleja que consiste en la búsqueda de objetos que coincidan con una plantilla en tamaño, forma y color dentro una imagen.

Esta función implica una fase de aprendizaje, que consiste en crear una plantilla (muestra), la cuál contiene el color o los colores que se van a analizar.

Además cuenta con una fase de correspondencia, que implica la identificación de una región de interés. El contenido de color de la región dada se analiza y se compara con la distribución de color de la plantilla, como resultado se obtiene una puntuación que indica la proximidad de la correspondencia, donde el usuario decidirá qué puntuación debe ser considerada como una coincidencia correcta.

Esta herramienta permite un preciso y rápido análisis de imágenes basada en contenido de color, especializada en las que presentan distribuciones de colores complejas [17].

3.1.2.3 Reconocimiento de patrón

El reconocimiento de patrón o *Pattern Matching* es un método de identificación de características en una imagen que coinciden con un modelo de menor tamaño, es decir, con el "patrón" a ser identificado.

Esta función se utiliza para probar si objetos dentro de una imagen tienen una estructura deseada, para encontrar y determinar la posición de una estructura determinada, para verificar la alineación de los objetos, o para sustituir las partes coincidentes con otras.

El proceso incluye dos fases: Una etapa de aprendizaje en donde la plantilla es procesada, y una fase de correspondencia donde se realiza la comparación.

La fase de aprendizaje implica el análisis de la imagen plantilla para encontrar características que pueden ser explotadas para obtener una eficaz coincidencia con excelentes resultados. Los

métodos tradicionales no tienen fase de aprendizaje, por ende la plantilla es comparada con cada posible ubicación en la imagen que está siendo procesada, lo cual implica que el computador realizara muchos cálculos redundantes.

La fase de reconocimiento utiliza la información de la fase de aprendizaje para obviar la mayor cantidad posible de cálculos innecesarios. El algoritmo de coincidencia utilizado depende si es desplazamiento-invariante de coincidencias (búsqueda de la plantilla en cualquier ubicación en la imagen), o rotación-invariante (búsqueda de la plantilla en cualquier lugar y búsqueda del modelo girado). Ambos son procedimientos que constan de dos pasos [17].

3.1.2.4 Región de interés

Región de Interés se representa por las siglas en inglés *ROI* y corresponde a la sección específica de una imagen en la cual se va a enfocar nuestra aplicación. Un ejemplo de una región de interés

dentro de una imagen es presentado en la Figura 3.3. El *software* de visión posee herramientas que permiten trazar y localizar nuestras regiones de interés utilizando los contornos estándares, como óvalo, rectángulo, o contornos libres dibujados por los usuarios. Además permite realizar las siguientes opciones:

- Asociar una *ROI* con una ventana de imagen.
- Extraer una *ROI* con una ventana de imagen.
- Borrar una *ROI* de una ventana de imagen.
- Transformar una *ROI* en una máscara de imagen.
- Transformar una máscara de imagen en una *ROI*.

Una máscara es una imagen de 8 bits extraída de una imagen base, y puede ser del mismo tamaño o de menor tamaño que la imagen que está siendo procesada.

Para realizar un seguimiento de la ubicación de una *ROI* dentro de la imagen original, *IMAQ Vision* establece un registro específico de la máscara denominado *Offset*.



Figura 3.3 Imagen de una *ROI*

El *Cluster* o Grupo Descriptor de la Región de Interés contiene los siguientes dos elementos:

- Coordenadas del rectángulo que limita una *ROI*.
- Información de la *ROI* que consiste en un arreglo de grupos:
 - Identificador de contorno, donde 0 indica el exterior del contorno, y 1 especifica el interior del contorno.

- Tipo de contorno (rectángulo, óvalo, determinado por el usuario)
- Lista de puntos (x, y) que describen el contorno.

Con la utilización de una *ROI* el tiempo de cálculo puede ser reducido limitando el área de procesamiento cuando se requiere realizar operaciones como; identificación de perfiles de líneas para la detección de bordes, perfiles circulares para la detección de patrones con cierto ángulo de rotación y la identificación de áreas de texto para el reconocimiento óptico de caracteres (*OCR*) [19].

3.1.2.5 Funciones *IMAQ* de superposición en una imagen

Para efecto de resaltar las coincidencias en los monitores de la interfaz de usuario durante el proceso de detección en nuestro proyecto, se ha utilizado funciones de superposición (*IMAQ Overlay Functions*). Las cuales han sido aplicadas para

dibujar un rectángulo en el área que define la coincidencia en caso de que se detecte alguna.

Se utilizan herramientas de superposición no destructivas, por el hecho de que solo se desea resaltar una sección determinada de la imagen captada por la cámara [20].

3.1.2.6 Manejo de errores

El manejo de errores es muy importante en la depuración del programa en tiempo de diseño. Muchas de las funciones y *VIs* que se utilizan para desarrollar aplicaciones en *LabView*, incluyendo las de análisis y procesamiento de imágenes, y todos los *IMAQ VIs*, contienen un cluster de error de entrada y salida, tal y como se muestra en la Figura 3.4.



Figura 3.4 Cluster de error

Los *clusters* [Anexo I] contienen un valor que indica si se ha producido algún error, el código y la fuente o el nombre del *VI* donde se produjo el error. Si la entrada de error a un *VI* indica que se ha producido alguno, se procede a pasar la información de entrada a la salida y no se ejecuta dicho *VI*.

3.2 Captura de imágenes con *Labview*

El Paquete de Adquisición de Imágenes *IMAQ* de *NI* proporciona herramientas que pueden ser aplicadas para desarrollar sistemas de visión robótica, las cuales han sido utilizadas para la implementación de la Plataforma de inspección de frascos con tapa y sin tapa.

El *IMAQ* compatible con cámaras *USB* es una librería compuesta por *Vis* creada para utilizar cámaras *USB* en aplicaciones desarrolladas en *LabView*, proporciona la capacidad de utilizar cámaras que posean *Direct Show Filtres*, con el *NI Vision Assistant* o *LabVIEW e IMAQ Vision*. En la Figura 3.5 se puede apreciar la arquitectura del NI-IMAQ para cámaras USB. Para el correcto funcionamiento de la cámara, es imprescindible que el controlador correspondiente haya sido instalado y reconocido por el sistema operativo [18].

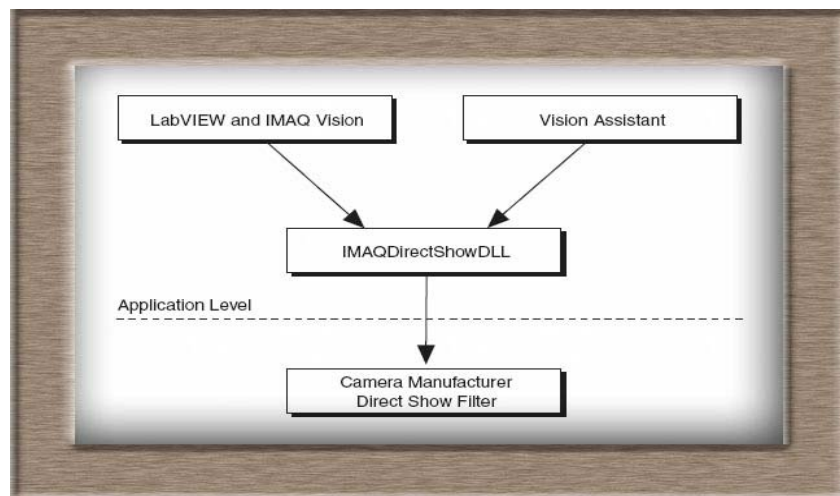


Figura 3.5 Arquitectura *IMAQ* de *NI* para cámaras *USB* [18].

3.2.1 Adquisición de imágenes utilizando cámaras *USB*

La Sesión de adquisición de imágenes es un identificador único que especifica el dispositivo que servirá de interfaz para la adquisición de imágenes. Este identificador es producido por el *VI IMAQ INIT* [Figura 3.6] y es utilizado como parámetro de entrada para todos los demás *NI IMAQ USB VIs*.

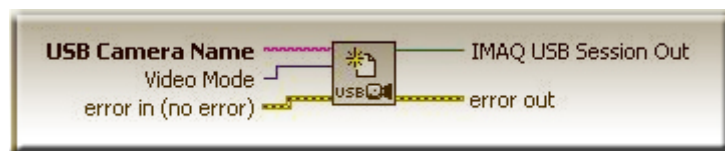


Figura 3.6 Estructura del *IMAQ USB VI*

Cada *VI* de procesamiento de imágenes tiene como entrada el *IMAQ SESSION IN*, y a su vez, como salida el *IMAQ SESSION OUT*, diseñados con el objetivo de asegurar el correcto flujo de datos durante la ejecución del programa. Los *VIs* de adquisición necesitan como entrada un espacio de memoria (*image buffer*) para recibir la imagen capturada. *IMAQ Create VI* y *IMAQ Dispose VI* gestionan los *buffers* de las imágenes en LabView.

- *IMAQ Create VI* asigna un espacio de memoria temporal para una imagen [Figura 3.7].

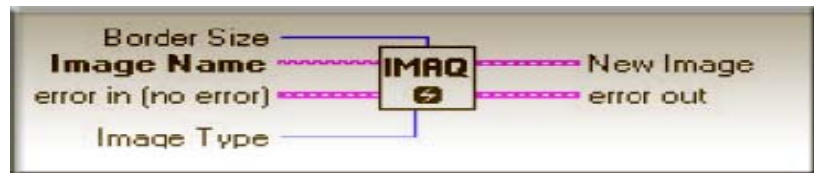


Figura 3.7 Estructura de un *IMAGE CREATE VI*

- *IMAQ Dispose VI* elimina una imagen y libera el espacio de memoria que ocupa [Figura 3.8]. Es necesario utilizar este *VI* por cada imagen generada con *IMAQ Create VI*, o puede ser utilizado una vez para eliminar todas las imágenes creadas [18].

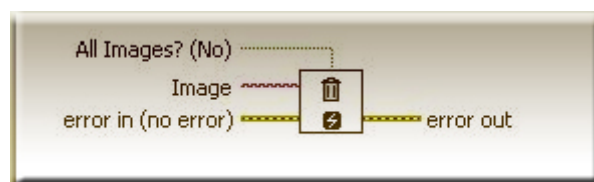


Figura 3.8 Estructura de un *IMAQ Dispose VI*

3.2.2 Tipos de adquisición de imágenes en *LabView*

La adquisición de imágenes para cámaras *USB* tiene disponibles dos modalidades que son: *snap* y *grab*. Estas herramientas de visión tienen la deficiencia, solo soportan adquisiciones simultáneas de una cámara.

- **Modo *Snap*:** Adquiere una sola imagen en un *buffer* de memoria. Cuando se ejecuta, se inicializa el dispositivo y se captura el próximo cuadro de vídeo en un *buffer*. Esta modalidad es aplicable en programas de baja velocidad o donde se necesita realizar una sola captura. La Figura 3.9 muestra la estructura de la función *IMAQ Snap*.

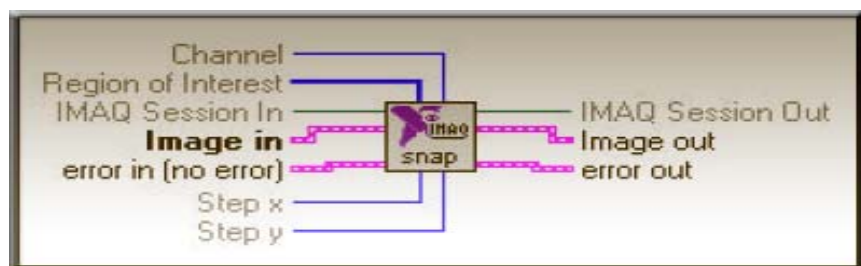


Figura 3.9 Estructura de la función *IMAQ Snap*

- **Modo *Grab*:** Realiza un proceso continuo, de alta velocidad que permite la adquisición de datos a un único *buffer* en la memoria del computador. Para utilizar esta modalidad en *LabView* es necesario aplicar dos *Vis*:
 - *Grab Setup*: Se lo ejecuta sólo una vez. Este VI inicializa la adquisición y empieza a capturar imágenes a un buffer interno [Figura 3.10].



Figura 3.10 Estructura de *Grab Setup*.

- *Grab Acquire*: Se lo ejecuta cada vez que se desee captar la imagen que en ese instante se encuentre almacenada en el buffer interno y permite seguir capturando imágenes en forma sucesiva. Una vez que el programa termine de copiar imágenes, se debe ejecutar el VI IMAQ USB Close para cerrar la adquisición. La Figura 3.11 muestra un ejemplo del uso del modo *Grab* de adquisición de imágenes [18].

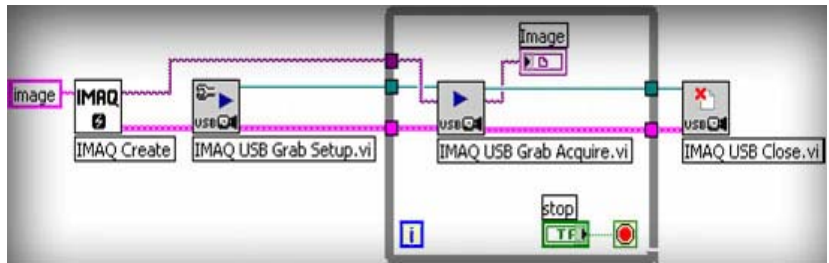


Figura 3.11 Adquisición de una imagen en modo *Grab*

3.2.3 Adquisición de imágenes con el Asistente de Visión

Para acceder a las herramientas del módulo *NI IMAQ* para cámaras *USB*, se escoge la opción *Acquire Image*, que aparece una vez que se ejecuta el Asistente de Visión. Al seleccionar esta opción se ingresa a la ventana que se presenta en la Figura 3.12, la cual permite al usuario elegir una cámara de una lista de cámaras *USB* reconocidas por el sistema, y capturar imágenes [18].

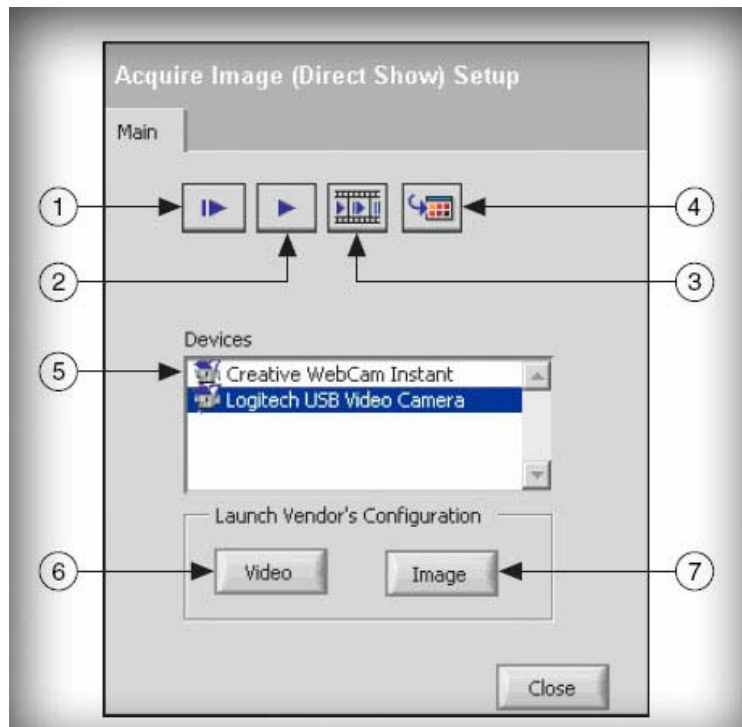


Figura 3.12 Página de adquisición de *NI IMAQ* para cámaras *USB* de *Vision Assistant*

A continuación se presentan las opciones que están disponibles en la ventana de Adquisición de Imágenes de *NI-IMAQ* para cámaras *USB* [Figura 3.13].



Figura 3.13 Esquema de opciones dentro de la ventana

- **Snap:** Adquiere una sola imagen utilizando la cámara seleccionada.
- **Grab:** Adquiere imágenes utilizando la cámara seleccionada en forma continua.
- **Sequence:** Adquiere un número de imágenes determinado por el usuario. Este modo es útil para capturar eventos que cambian rápidamente.
- **Copiar al Navegador:** Copia la imagen actual presentada en la pantalla al Navegador de imágenes. Múltiples imágenes pueden ser enviadas al navegador para que luego puedan ser procesadas utilizando Vision Assistant.
- **Lista de Cámaras:** Corresponde a lista de cámaras USB disponibles.
- **Configuración de cámara de vídeo:** Abre un cuadro de diálogo donde se indica la configuración de vídeo que la cámara USB soporta.
- **Configuración de la imagen de la cámara:** Abre un cuadro de diálogo donde se indica la configuración de imágenes que la cámara USB soporta.

3.3 Detección inicial de características físicas de la tapa

El sistema de inspección de frascos con tapa y sin tapa desarrollado cumple su función analizando imágenes y evaluando las características físicas del objetivo. Para este propósito es necesario disponer de imágenes o plantillas del frasco modelo con y sin tapa, las cuales van a servir como base para buscar coincidencias en imágenes de mayor tamaño captadas por la cámara *USB* de los objetos a evaluar.

3.3.1 Aspectos generales para la selección de plantillas.

La elección de una plantilla puede tener un gran impacto en la velocidad y la exactitud del algoritmo. Hay algunas observaciones de carácter general que podemos hacer en base a las herramientas que disponemos:

- La plantilla debe ser asimétrica de tal manera que pueda ser identificado en forma exclusiva en una determinada orientación.
- Utilizar plantillas complejas implica más tiempo de procesamiento que si se usan unas más simples. Sin embargo, si el modelo es demasiado simple, se podría

obtener falsas coincidencias. El usuario debe asegurarse de que la plantilla incluye suficientes detalles para identificar de forma exclusiva y localizar con precisión el patrón dado.

- La plantilla debe contener suficiente información para fijar su posición espacial en la imagen y poder localizar la posición exacta del patrón.
- Si se trata de localizar un simple objeto, como un punto o agujero, la plantilla debe ser lo suficientemente grande como para contener información del fondo, de tal manera que se distinga alguna característica en particular que otros modelos similares en la imagen no posean [21].

3.3.2 Plantillas seleccionadas por el sistema de inspección

El sistema de inspección desarrollado analiza la vista lateral y la vista superior de los frascos para determinar si tienen o no tapa, para lograr este objetivo se captura una imagen por cada vista y dentro de estas imágenes se realiza la búsqueda de la plantilla del modelo con tapa y la plantilla del modelo sin tapa. En conclusión, se necesitan cuatro plantillas para realizar la detección:

- Plantilla de la vista lateral del frasco con tapa.
- Plantilla de la vista superior del frasco con tapa.
- Plantilla de la vista lateral del frasco sin tapa.
- Plantilla de la vista superior del frasco sin tapa.

Como ya se ha mencionado, la aplicación que controla la plataforma está configurada para un tipo específico de frasco y tapa, en la Figura 1.14 se muestran las imágenes de las cuatro plantillas extraídas de los modelos de tapa y envase.

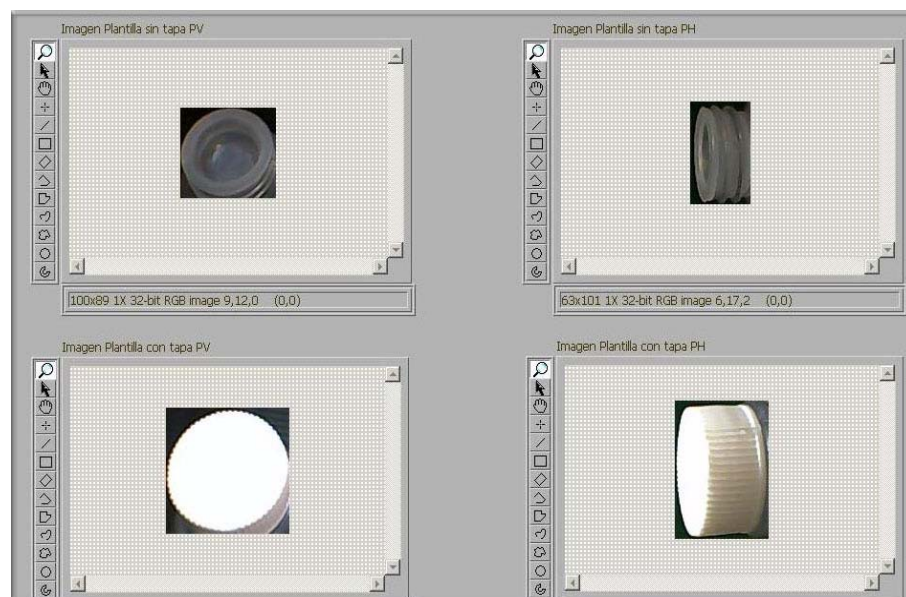


Figura 3.14 Selección de las plantillas

Sin embargo, el sistema tiene la capacidad, sin modificar su configuración, de inspeccionar la presencia de tapas de diferentes diseños, es decir, que puede detectar tapas de cualquier color o distribución de colores, incluso con imágenes estampadas sobre la superficie exterior-superior de las mismas.

Un problema que se suscita al implantar esta funcionalidad, es que la cámara *USB* no siempre capta el diseño de la vista superior de las tapas en el mismo sentido como se puede observar en la Figura 3.15. La función *Color Pattern Matching*, que se aplica para el procesamiento de las imágenes y determina si un frasco tiene o no tapa, puede ser configurada para buscar coincidencias con ángulos de rotación de una plantilla en una imagen de mayor tamaño del objeto que se analiza, por lo que esta herramienta nos permite solucionar este problema.



Figura 3.15 Diseños de tapas en varios sentidos

3.4 Procesamiento de imagen y detección de frascos sin tapa

En este apartado se describe en detalle la aplicación desarrollada en *LabView* para controlar el sistema de detección de frascos con tapa y sin tapa.

El programa principal ha sido ordenado en etapas que ilustran de la mejor manera posible la lógica utilizada en la programación del mismo, además, permiten establecer y presentar al lector, una relación entre las fases del programa y las interfaces de usuario [Figura 3.16].

Interfaces de usuario	Etapas Manual de usuario	Etapas Programación
Inicio	Inicio	Inicio de sesiones
		Inicialización
Aplicación Modo Pausa	Aplicación Modo Pausa	Aplicación Modo Pausa
Inicio	Finalización	Fin de aplicación
		Fin de sesiones

Figura 3.16 Cuadro de relación entre las interfaces y etapas del programa

3.4.1 Interfaz de usuario

La interfaz *software* de usuario o panel de control es el medio desarrollado en *LabView*, con que el usuario puede comunicarse con la plataforma de detección de frascos con tapa y sin tapa. Además, es una Interfaz Gráfica de Usuario (*GUI*) que permite interactuar con el ordenador de una forma muy rápida e intuitiva debido a que los elementos de control y medida están representados gráficamente.

El principal objetivo que se consideró en el diseño de la interfaz de usuario, es que la comunicación se pueda desarrollar de la forma más fácil y cómoda. El usuario al encender la Aplicación, solamente tendrá que seguir una serie de instrucciones para poner en marcha el sistema.

A continuación se presenta una breve descripción de los tres paneles que componen la interfaz de control:

- **Interfaz de Inicio:** Como su nombre lo indica está relacionada con el inicio de la aplicación. A través de este

panel el usuario puede configurar los parámetros necesarios para que el sistema pueda ponerse en marcha, además consta de controles e indicadores para el encendido de la aplicación, y monitores para visualizar las plantillas que se seleccionen para ser empleadas en el proceso de detección.

- **Interfaz de Aplicación:** Este panel permite al usuario monitorear con una ventana e indicadores todos los procesos involucrados en la adquisición y procesamiento de imágenes para la detección de frascos con tapa y sin tapa, además, consta de un interruptor para habilitar o deshabilitar el Modo Pausa del sistema.
- **Interfaz Modo Pausa:** Permite al usuario interrumpir el proceso de detección con el objetivo de corregir errores o verificar el funcionamiento de la banda transportadora y la palanca empuja frascos.

3.4.2 Manual de usuario

El manual de usuario que se presenta permite a los usuarios conocer en forma detallada el manejo de la aplicación que controla el sistema de detección de frascos sin tapa y con

tapa. En este manual se incluyen los pasos a seguir para iniciar, controlar, monitorear y finalizar la aplicación.

Como ya se ha hecho referencia anteriormente, la aplicación se la ha dividido en cuatro etapas bien definidas: Etapa de Inicio, Etapa de Aplicación, Etapa de Modo Pausa y Etapa de finalización.

3.4.2.1 Etapa de Inicio

La Etapa de Inicio corresponde a los pasos que el usuario debe seguir para poner en marcha la aplicación. En la Interfaz de Inicio [Figura 3.17] se encuentran los controles, indicadores y monitores que son utilizados en esta etapa.

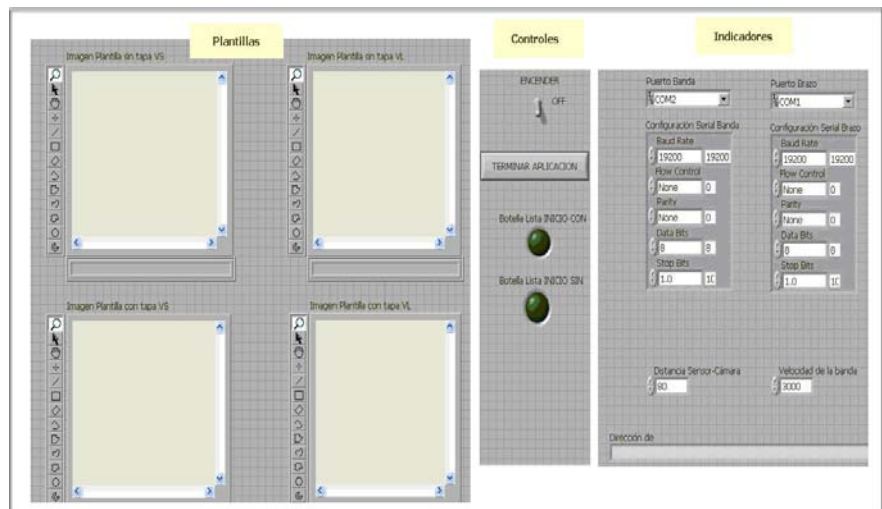


Figura 3.17 Panel de Inicio

1. Una vez que se abre la aplicación, se presenta un cuadro dialogo [Figura 3.18] que indica al usuario que es necesario configurar los parámetros para que el sistema funcione correctamente.



Figura 3.18 Cuadro de dialogo al iniciar la aplicación

Esta información ya se encuentra predeterminada, pero con este paso, se brinda al usuario la capacidad de configurarla en caso de ser necesario. En la Figura 3.19 se presentan los parámetros a utilizarse en la implementación de la Plataforma.

The image shows a software configuration window titled "Configuración" with a grid background. It is divided into four main sections:

- Puerto Banda:** A dropdown menu showing "COM2".
- Puerto Brazo:** A dropdown menu showing "COM1".
- Configuración Serial Banda:** A panel with the following settings:
 - Baud Rate: 19200
 - Flow Control: None
 - Parity: None
 - Data Bits: 8
 - Stop Bits: 1.0
- Configuración Serial Brazo:** A panel with the following settings:
 - Baud Rate: 19200
 - Flow Control: None
 - Parity: None
 - Data Bits: 8
 - Stop Bits: 1.0

At the bottom of the window, there are two more settings:

- Distancia Sensor-Cámara:** A numeric input field with the value "80".
- Velocidad de la banda:** A numeric input field with the value "3000".

Figura 3.19 Parámetros de configuración

- Se configuran los parámetros para establecer la comunicación serial entre el

ordenador y las tarjetas controladoras, tanto de la banda transportadora como del brazo robótico y la palanca empuja frascos.

- Se establece la velocidad a la cual va a girar la banda transportadora.
- Se determina la distancia entre el sensor, que se encuentra en la entrada del armario de iluminación, y la posición a la que debe detenerse el frasco para poder captar las imágenes correspondientes del mismo.

2. Se presiona el botón COMENZAR APLICACIÓN.
3. El siguiente paso es colocar el interruptor de “Encender” en la posición ON, para iniciar la aplicación. En caso de que se desee finalizar completamente la aplicación, el usuario debe presionar el botón “TERMINAR APLICACIÓN”.
4. Se presenta un cuadro de dialogo [Figura 3.20] donde el usuario podrá elegir la carpeta donde se encuentran los archivos PRIMERA, templatePH, templatePV y VISTA.



Figura 3.20 Carpeta contenedora de archivos de posición del brazo

La dirección seleccionada se visualiza en el indicador "Dirección" del Panel de Inicio. Estos archivos definen posiciones fijas del Brazo Robótico que se utilizarán durante toda la aplicación.

Estos archivos pueden ser leídos por un programa editor de texto, como el Bloc de Notas, y está compuesto por seis parámetros necesarios para determinar un movimiento del brazo robótico:

- La velocidad a la que se van a mover los servomotores.
- Cinco valores que indican la posición de los cinco servomotores.

En el cuadro de diálogo [Figura 3.20] existe la opción “Cancelar”. En caso de anular la acción, el usuario deberá elegir entre dar por terminada la aplicación o regresar al paso 3 [Figura 3.21].



Figura 3.21 Cuadro de dialogo opción cancelar

5. Se procede a seleccionar las plantillas que serán utilizadas en el proceso de detección en el siguiente orden:

- Plantilla de la vista lateral de un frasco modelo con tapa.
- Plantilla de la vista superior de un frasco modelo con tapa.
- Plantilla de la vista lateral de un frasco modelo sin tapa.
- Plantilla de la vista superior de un frasco modelo sin tapa.

Las cuatro plantillas pueden ser visualizadas en los monitores del Panel de Inicio. El procedimiento para la selección de las cuatro plantillas es similar y es el siguiente:

- Se presenta un cuadro de dialogo [Figura 3.22] donde el usuario podrá elegir si desea crear una plantilla a partir de una imagen adquirida a través de la cámara *USB* o si desea elegir una plantilla almacenada.

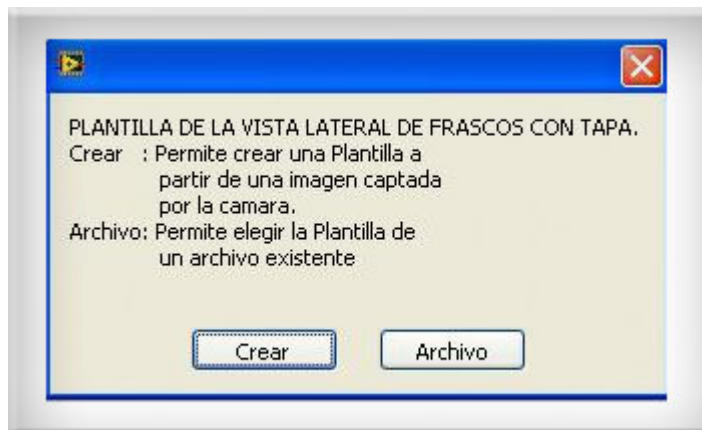


Figura 3.22 Cuadro de dialogo para selección de plantilla

Para crear una plantilla a partir de una imagen adquirida a través de la cámara *USB* en el caso de que no hubiere un frasco modelo en la posición correcta para iniciar la captura de imágenes (esto se verifica con los indicadores del panel de inicio, “botella lista INICIO con” y “botella lista INICIO sin”, para el modelo del frasco con tapa y el modelo del frasco sin tapa, respectivamente), se presentará un cuadro de dialogo [Figura 3.23] que indica al usuario que debe colocar el frasco modelo en la banda transportadora.



Figura 3.23 Cuadro de dialogo que indica la ubicación del frasco

Una vez que se realice esta acción, se presiona el botón “OK”, la banda se pondrá en movimiento y colocará automáticamente el frasco en la posición adecuada.

A continuación, se pedirá al usuario, determinar la dirección donde se almacenará la imagen plantilla y el nombre de la misma, y se presiona el botón “OK”.

Luego, la imagen capturada por la cámara se presenta en una ventana auxiliar [Figura 3.24], y el usuario deberá recortar el área de la imagen que va a servir como plantilla con la ayuda del *mouse*.

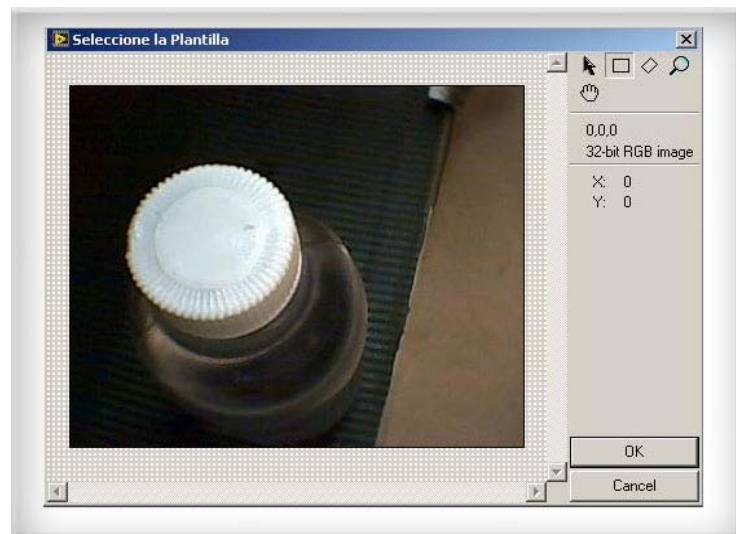


Figura 3.24 Imagen capturada presentada en una ventana auxiliar

En caso de cancelar durante cualquier instrucción, se dará al usuario las opciones de dar por terminada la aplicación o regresar al inicio de la selección de la plantilla que está siendo elegida. Una vez terminado el proceso, el frasco modelo saldrá del armario de iluminación y se pedirá al usuario retirarlo de la línea [Figura 3.25].



Figura 3.25 Cuadro de dialogo que indica retirar el frasco

En el caso de seleccionar una plantilla existente, se presenta un cuadro de dialogo [Figura 3.26] donde el usuario podrá buscar entre los archivos almacenados y elegir la plantilla correspondiente. Este cuadro presenta una ventana donde se puede visualizar una vista previa de la imagen que se va a seleccionar.



Figura 3.26 Carpeta que contiene las plantillas existentes

3.4.2.2 Etapa de Aplicación

La etapa de Aplicación es donde se realiza el proceso de detección de frascos con tapa y sin tapa. Una vez terminada la Etapa de Inicio, el usuario podrá monitorear todos los procesos que se realicen durante la inspección a través del Panel de Aplicación [Figura 3.27].

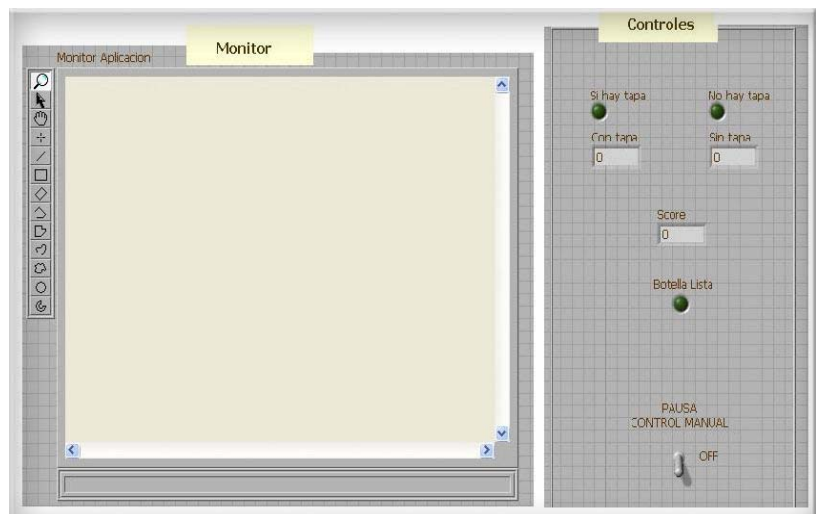


Figura 3.27 Panel de Aplicación

Durante esta etapa es posible ingresar al Modo Pausa, activando el interruptor “PAUSA-CONTROL MANUAL”.

El usuario, en caso de ser requerido, puede monitorear los procesos involucrados en cada inspección, es decir, todas las tareas que se realizan para analizar un frasco, desde que el frasco entra al armario de iluminación hasta la preparación del sistema para recibir un nuevo envase. A continuación se detallan estos procesos en orden:

1. La banda transportadora se pone en movimiento.
2. Se espera a que el sensor, ubicado en la entrada del armario de iluminación, envíe la señal de que un frasco está ingresando al armario y el indicador “Botella Lista” del Panel de Aplicación se encienda.
3. Se detiene la banda transportadora, dejando al frasco en la posición adecuada para ser analizado.

4. El Brazo cámara robótico capta imágenes desde dos ángulos (Vista superior y vista lateral del objeto).
5. Las imágenes son analizadas, y se determina si el frasco tiene o no tapa. En caso de no tener tapa será retirado de la línea, mientras que si tuviere tapa, la banda se pondrá en movimiento y el frasco continuará en la línea.
6. Los resultados son presentados en los indicadores:
 - **Monitor Aplicación:** presenta las imágenes captadas por la cámara *USB*. Si el frasco tuviere tapa, se dibujará un rectángulo de color verde alrededor de la coincidencia, caso contrario se dibujará un rectángulo de color rojo.
 - **Información de coincidencias:** contiene las coordenadas de la ubicación y el ángulo de la coincidencia encontrada en la imagen captada, el puntaje que se asigna a dicha coincidencia y la escala.

- **Puntaje:** indica el valor que se le asigno a la coincidencia en comparación con la plantilla utilizada. Los rangos de valores de puntaje aplicados en este proyecto para que las coincidencias sean consideradas válidas y correctas están especificadas en el capítulo de programación [Figura 3.31].
- **Indicadores LED “No hay tapa” y “Si hay tapa”:** los indicadores se encienden en caso de detectar un frasco sin tapa o con tapa respectivamente.
- **Contadores Sin tapa y Con tapa:** Llevan un registro del número de frascos sin tapa y con tapa que han sido analizados respectivamente.

3.4.2.3 Etapa de Modo Pausa

La Etapa de Modo Pausa fue diseñada con el objetivo de corregir errores o verificar el funcionamiento de la banda transportadora y la

palanca empuja frascos. El interruptor “PAUSA-CONTROL MANUAL” [Figura 3.27] es el que acciona este modo, y puede ser utilizado en cualquier momento durante el proceso de detección de frascos con tapa y sin tapa.

Al ingresar al Modo Pausa se interrumpe todo proceso que se esté realizando, la banda transportadora se detiene, la palanca empuja frasco se coloca en la posición inicial (Arriba), y el brazo robótico se mueve de tal forma que la cámara pueda enfocar y captar los movimientos de la banda y la palanca empuja frascos.

Al concluir estos procesos, el usuario podrá utilizar los controles e indicadores disponibles en el Panel de Modo Pausa [Figura 3.28] para manipular la palanca empuja frascos y la banda transportadora.

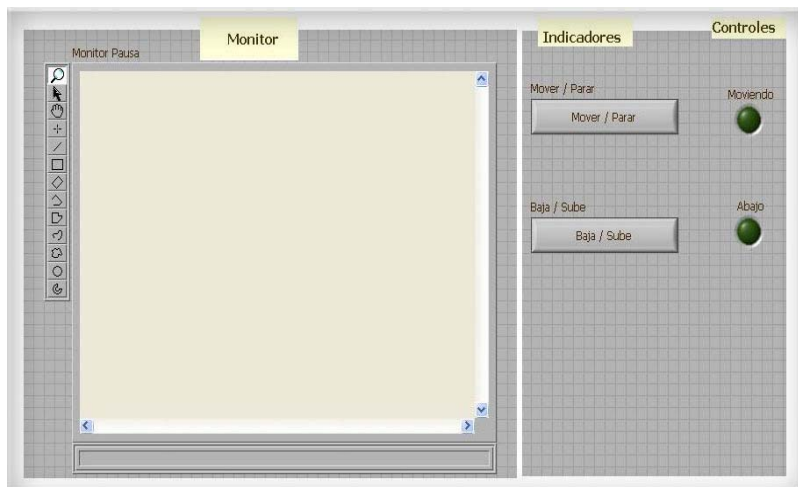


Figura 3.28 Controles e indicadores del Modo Pausa

- **Botón Mover-Parar:** Permite controlar el movimiento de la banda transportadora. Al presionar el botón, si la banda está detenida se pondrá en movimiento, y en caso de que esté en movimiento se detendrá.
- **Botón Baja-Sube:** Controla el movimiento de la palanca empuja frascos. Al presionar el botón, si la palanca empuja frascos se encuentra en posición inicial (Arriba) se colocará en posición para detener frascos (Abajo), y en caso de que esté en posición para detener frascos se colocará en la posición inicial.

- **Indicador Led Moviendo:** Solo se enciende cuando la banda transportadora se encuentre en movimiento.
- **Indicador Led Abajo:** Solo se enciende cuando la palanca empuja frascos se coloca en posición para detener frascos (Abajo).
- **Monitor Pausa:** Como ya se ha mencionado, Al ingresar al Modo Pausa, el brazo robótico se mueve de tal forma que la cámara pueda enfocar y captar los movimientos de la banda transportadora y la palanca empuja frascos, y se inicia una adquisición continua de imágenes, las cuales van a ser presentadas en el Monitor Pausa. Esto se realiza con el objetivo de verificar y visualizar el correcto funcionamiento de los elementos que pueden ser manipulados por los botones de control, sin tener que abrir el armario de iluminación.

Un problema que debe ser tomado en cuenta es que al entrar en Modo Pausa, todo proceso, incluyendo los de análisis y procesamiento imágenes se

detienen. En caso de que un frasco esté siendo procesado y se accione este Modo, esta detección no se realizará satisfactoriamente y el frasco quedará en el interior del armario de iluminación, por lo que el usuario deberá retirarlo de la línea manualmente, utilizando los controles necesarios.

3.4.2.4 Etapa de Finalización

La Etapa de Finalización corresponde a los pasos que se deben seguir para dar por terminada la aplicación.

El interruptor “Encender” permite finalizar la aplicación, y este puede ser deshabilitado en cualquier momento, lo que causará que se detengan todas las actividades, lo que conlleva al mismo problema que se tiene al ingresar al Modo Pausa, con la diferencia de que en este caso no se dispone de controles para retirar algún frasco que quede en el interior del armario de iluminación, por tal motivo el usuario deberá buscar la manera de retirarlo.

Al deshabilitar el interruptor de encendido, se da por terminada la aplicación pero no se cierran las sesiones que permiten la comunicación entre el ordenador y las tarjetas controladoras. Por lo tanto, si se desea encender nuevamente la Plataforma, el proceso de abrir las sesiones no será necesario, y se deberá seguir las instrucciones desde el paso 3 de la Etapa de Inicio.

Una vez que se desea finalizar la Aplicación completamente, se debe deshabilitar el interruptor de encendido y presionar el botón “TERMINAR APLICACIÓN” para cerrar las sesiones de comunicación. Estos controles se encuentran en el Panel de Inicio [Figura 3.29].

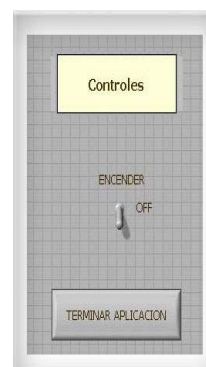


Figura 3.29 Control para el cierre de sesiones

3.4.3 Programación

Como ya se ha mencionado, la aplicación que controla el sistema de detección de frascos con tapa y sin tapa se la desarrolló en *LabView*, en conjunto con el *Software* de Visión de *NI*, en lenguaje gráfico G.

El Programa Principal está diseñado de tal manera que fácilmente se pueda seguir la lógica que se utiliza, es decir, un usuario con conocimientos de *LabView* puede leer y comprender el uso de todas las herramientas utilizadas y cómo han sido aplicadas, además, es importante mencionar que el programa se encuentra debidamente documentado, con lenguaje sencillo pero con mensajes precisos y claros.

Para un mejor entendimiento, este programa principal se lo ha dividido en seis partes:

- Inicio de Sesiones.
- Etapa 1. Inicialización.
- Etapa 2.1. Aplicación.
- Etapa 2.2. Modo Pausa.
- Etapa 3. Fin de Aplicación.

- Fin de Sesiones.

3.4.3.1 Inicio de sesiones

El Inicio de Sesiones es el primer paso que se realiza al abrir la aplicación. Durante esta etapa se pide al usuario que realice las siguientes configuraciones:

- Configuración de los parámetros para la comunicación serial con las tarjetas controladoras de la banda transportadora y el brazo robótico.
 - Puerto serial COM.
 - Tasa de baudios.
 - Bits de datos.
 - Paridad.
 - Bits de parada.
 - Control de flujo.

- Configuración de la Velocidad a la que va a girar la banda transportadora, y la distancia entre el sensor que se encuentra a la entrada del armario de iluminación y la posición a la que se coloca los frascos para que sean analizados.

El siguiente paso de esta fase consiste en establecer tres sesiones que permiten la comunicación con la Cámara *USB* y con las tarjetas controladoras de la banda transportadora y del brazo robótico:

- **Banda transportadora:** Se inicia una sesión *VISA* para la comunicación con el sistema de transportación a través de la tarjeta *DSPIC30F4011* y se verifica si se ha producido algún error durante el proceso.
- **Brazo robótico:** Se establece una sesión *VISA* para la comunicación con la tarjeta controladora de servos y se verifica si se ha producido algún error durante el proceso.
- **Cámara USB:** Se utiliza el *SubVI* Inicio, el cual establece una sesión *IMAQ USB* que permite utilizar la cámara para la captura de imágenes.

Cabe mencionar que al encender la cámara es necesario esperar un tiempo determinado para que se estabilice y enfoque claramente las imágenes, por esta razón se inicia una adquisición continua de imágenes con el objetivo de encender y mantener en este estado a la cámara. Si no se realiza este paso, cada momento que se desee capturar una imagen, la cámara tendrá que encenderse, lo cual implicaría un tiempo de refrescamiento y no se captaría la imagen satisfactoriamente.

Una vez terminado este proceso se verifica si se ha producido algún error. El diagrama de flujo de esta etapa se lo especifica en el anexo J.

3.4.3.2 Etapa 1. Inicialización.

La Etapa de Inicialización es la etapa previa al proceso automático de detección de frascos con tapa y sin tapa. El usuario interviene en esta fase seleccionando información necesaria para que la

inspección de los frascos que se realiza en la siguiente etapa, inicie y funcione correctamente.

La etapa de inicio presentada en el Manual de Usuario está relacionada con esta parte del programa, es decir, el usuario al encender la aplicación, da paso a la etapa de inicialización. El diagrama de flujo de esta fase se lo encuentra en el anexo K.

Durante esta fase el usuario debe ingresar la siguiente información al sistema:

- Dirección de la carpeta donde se encuentren almacenados los archivos que determinan las posiciones fijas del brazo robótico. En la aplicación se han establecido cuatro posiciones del brazo robótico que se utilizan a lo largo de todo el proceso de detección:
 - **PRIMERA:** Determina una posición relativa inicial. Se utiliza cuando el brazo robótico no esté realizando alguna tarea.

- **TemplatePH:** Plantilla - Posición horizontal.
Este nombre hace referencia a que este archivo describe una posición horizontal del brazo robótico que se utiliza para captar la vista lateral del frasco modelo para adquirir una imagen plantilla. También, durante el proceso de detección se utiliza esta posición para procesar la vista lateral de los frascos que son analizados.
- **TemplatePV:** Plantilla-Posición vertical. Así como en el caso anterior, este nombre hace referencia a que este archivo describe una posición vertical del brazo robótico que se utiliza para captar la vista superior del frasco modelo para adquirir una imagen plantilla. También, durante el proceso de detección se utiliza esta posición para procesar la vista superior de los frascos que son analizados.
- **VISTA:** Determina una posición del brazo robótico que permite a la cámara enfocar la banda transportadora y la palanca empuja

frascos. Esta posición se la utiliza durante el Modo Pausa, y permite al usuario visualizar en el monitor, los movimientos de los dos elementos mencionados.

- Se pide al usuario seguir una serie de instrucciones para seleccionar las cuatro plantillas utilizadas en la Etapa de Aplicación, en el siguiente orden:
 - Plantilla de la vista lateral del frasco con tapa.
 - Plantilla de la vista superior del frasco con tapa.
 - Plantilla de la vista lateral del frasco sin tapa.
 - Plantilla de la vista superior del frasco sin tapa.

Además de las configuraciones en las cuales interviene el usuario, en esta etapa se realizan los siguientes pasos:

- Se inicializan variables e indicadores:
 - Se inicializan los indicadores LEDS “Botella lista inicio CON” y “Botella lista inicio SIN”, que indican que el frasco modelo está en la posición correcta para adquirir la plantilla del mismo con tapa y sin tapa, respectivamente.
 - Se encienden los contadores “Con Tapa” y “Sin Tapa”, los cuales son utilizados para llevar un registro de cuantos frascos con tapa y sin tapa han sido procesados, respectivamente, durante la etapa de Aplicación.
 - Se apagan los indicadores LEDS “Moviendo” y “Abajo” que intervienen en el Modo Pausa.

- Se configuran los parámetros necesarios que solicita la función *Color Pattern Matching* para el proceso de detección. La Figura 3.30 presenta los parámetros de configuración de la función

Color Pattern Matching aplicados en el proyecto para el reconocimiento de frascos con tapa y sin tapa.

- Peso del Puntaje de Color: Determina en que porcentaje debe ser considerado el reconocimiento de color en el puntaje final. El valor debe ser entre 0 y 1000. En caso de que se dé un valor de 1000, el resultado se determina en base al reconocimiento de color, mientras que si se da un valor de 0, el resultado se basa en el puntaje de reconocimiento de forma, cabe mencionar que si este parámetro se configura con el valor de 500, el resultado se obtiene de una combinación en igual porcentaje de ambos puntajes.
- Modo de comparación: Existen dos modos, el Modo Desplazamiento que permite buscar una plantilla en una imagen, asumiendo que se la encontrará con un ángulo de rotación máximo de 4 grados, y

el Modo Rotación que permite encontrar una plantilla que se encuentre con ángulos de rotación (entre -180 y 180 grados), en una imagen.

- Rango de ángulo de rotación: Corresponde al rango de ángulo de rotación en el cual el usuario espera encontrar las coincidencias. La unidad de medida que se utiliza es el grado.

	Frasco con tapa	Frasco sin tapa
Peso del puntaje de color	500	650
Modo de comparación.	M. Rotación	M. Desplazamiento
Rango de ángulos de rotación	-180° y 180°	-20° y 20°

Figura 3.30 Parámetros de configuración de la función **Color Pattern Matching**

- Se separa un espacio de memoria, a la que llamamos “Imagen”, que contendrá las imágenes captadas por la cámara *USB* de los frascos que

son analizados para determinar si tienen o no tapa en la Etapa de Aplicación. Además, se crea otro espacio temporal de memoria, denominado “Imagen_Pausa”, que contendrá las imágenes captadas por la cámara *USB* durante el MODO PAUSA.

3.4.3.3 Etapa 2.1. Aplicación.

La Etapa de Aplicación es la fase donde se realiza la detección de frascos con tapa y sin tapa. El papel que desempeña el usuario durante esta etapa es sencillamente el de observador, es decir, todos los procesos que se realizan para la inspección son automáticos.

Esta parte de la programación esta compuesta por una serie de funciones, instrucciones y *SubVIs* que en conjunto, permiten analizar cada frasco de la línea, constituyendo un lazo continuo que finaliza únicamente cuando el usuario decide interrumpir el proceso ingresando al Modo Pausa o cuando decide

cerrar la aplicación. El diagrama de flujo de esta fase se detalla en el anexo L.

A continuación se mencionan los pasos que se realizan para preparar al sistema para iniciar una inspección, recibir y colocar un frasco en la posición correcta, y determinar si éste tiene o no tapa, estos pasos se repiten continuamente por cada frasco que se encuentre en la banda transportadora:

- **Etapas 1 (Inicio):** Para iniciar un proceso de detección es necesario configurar la distancia relativa entre el sensor que se encuentra a la entrada del armario de iluminación y la posición donde se deben detener los frascos para realizar la inspección. Además, se prepara los elementos del sistema para recibir un frasco, lo cual implica que la banda transportadora se ponga en movimiento, la palanca empuja frasco se coloque en posición para detener un frasco y se inicialice el indicador "Botella lista".

- **Etapa 2 (Detección):** Se espera hasta que el sensor detecte que un frasco está ingresando al armario de iluminación, y dé la orden de detener la banda transportadora. Una vez que se recibe esta señal, la palanca empuja frasco cumple la función de detener el frasco y se coloca en la posición inicial, al mismo tiempo, la banda transportadora se detiene. Además, se enciende el Led “Botella lista” para indicar que existe un frasco listo para ser inspeccionado.

- **Etapa 3 (Procesamiento):** Para determinar si un frasco tiene o no tapa se realiza la inspección de la vista lateral y la vista superior del mismo. Para ambos casos el proceso es similar y se describe a continuación:
 - En primer lugar, el brazo cámara robótico se coloca en la posición adecuada para enfocar su objetivo, luego se captura una imagen, y se procede a realizar la búsqueda de la plantilla del modelo con

tapa correspondiente a la vista en estudio, con lo cual se obtiene un resultado. En caso de no encontrar alguna coincidencia, se realiza la búsqueda de la plantilla del modelo sin tapa correspondiente a la vista en estudio y se obtiene el resultado respectivo.

- Estos resultados que se obtienen, indican si se ha encontrado alguna coincidencia de una plantilla en la imagen que está siendo procesada, y relaciona un valor numérico o puntaje que se refiere a cuan cercano puede ser una determinada coincidencia con respecto a la plantilla original en una escala de 0 a 1000, donde 0 indica que no existe coincidencia y 1000 indica que corresponde a una coincidencia perfecta.

La Figura 3.31 presenta los rangos de valores de puntaje para los cuales una coincidencia es considerada como válida, y

por lo tanto se considera un resultado válido que determina si una imagen capturada del objetivo corresponde a una imagen de un frasco con tapa o sin tapa. Cabe mencionar que estos rangos son aplicados tanto para analizar la vista superior como la vista lateral de los frascos que son inspeccionados.

	Rango de puntaje aceptado
Frasco sin tapa	750 -1000
Frasco con tapa	600 -1000

Figura 3.31 Rangos de valores de puntajes para los cuales una coincidencia es considerada válida.

- Este proceso se realiza dos veces, de tal manera que se obtienen dos resultados que determinan si el frasco que está siendo inspeccionado tiene o no tapa, uno dado por el análisis de la vista lateral y el otro dado por el de la vista superior.

- La decisión final se la determina cuando los dos resultados concuerdan, es decir, ambos análisis arrojan que el frasco tiene tapa o ambos análisis arrojan que el frasco no tiene tapa. En caso de no existir concordancia, la etapa de procesamiento se realizará nuevamente y así hasta que se logre determinar un resultado coherente.

- **Etapa 4 (Descartar):** Como primer paso de esta fase, independientemente del resultado de la inspección, se coloca el brazo cámara robótico en la posición inicial. Luego, en caso de determinar que el frasco no tiene tapa, la palanca empuja frasco se encarga de retirarlo de la línea.

3.4.3.4 Etapa 2.2 Modo Pausa.

La etapa de Modo Pausa puede ser activada en cualquier momento durante la etapa de Aplicación, por lo tanto, es necesario realizar ciertos pasos para

detener actividades que al ingresar a este modo pudieron quedar inconclusas:

- Se envía la orden para detener la banda transportadora.
- Se coloca la palanca empuja frasco en la posición inicial.
- Se inicializa los indicadores Led “Abajo” y “Moviendo”.
- Se coloca el brazo cámara robótico en la posición VISTA.

Este modo fue diseñado para verificar el funcionamiento de la banda transportadora y la palanca empuja frascos, y permite controlar estos elementos con el uso de los botones “Mover/Parar” y “Baja/Sube”, respectivamente. Durante esta etapa se inicia una adquisición continua de imágenes y se las presenta en el monitor Pausa para visualizar las actividades que se llevan a cabo en el interior del armario de iluminación.

Al desactivar el Modo Pausa es imperativo dejar listos los elementos del sistema que intervienen en esta etapa para reiniciar la inspección:

- Se envía la orden para detener la banda transportadora.
- Se coloca la palanca empuja frasco en la posición inicial.
- Se inicializa los indicadores Led “Abajo” y “Moviendo”.
- Se coloca el brazo cámara robótico en la posición inicial PRIMERA.

3.4.3.5 Etapa 3 Fin de Aplicación.

La Etapa de Fin de Aplicación corresponde a una fase previa a la finalización total del programa que controla el Sistema de detección de frascos con tapa y sin tapa.

Al deshabilitar el interruptor “Encender” durante las Etapas 2.1 o 2.2, se ingresa en esta fase. Cuando el sistema se encuentre en funcionamiento, este

interruptor puede ser apagado en cualquier momento, de tal manera que el programa pasa directamente a la Etapa 3, dejando inconcluso todo proceso que se esté realizando. Por tal motivo, es necesario terminar o corregir ciertas situaciones para finalizar la aplicación o iniciar un nuevo proceso de detección correctamente.

A continuación se mencionan los pasos que se realizan en la Etapa de Fin de Aplicación.

- Se envía la orden de detener la banda transportadora a la respectiva tarjeta controladora. Si no se realiza este paso la banda podría quedar en movimiento indefinidamente.
- Se eliminan todas las imágenes creadas durante la aplicación y se libera el espacio de memoria ocupado.
- El brazo robótico adquiere la posición inicial, determinada por el archivo PRIMERA.
- Se coloca la palanca empuja frascos en la posición inicial. Antes de realizar esa acción, es

necesario que el robot se encuentre en la posición inicial, debido a que al levantarse la palanca podría chocar con el robot y causar daños al sistema.

3.4.3.6 Fin de sesiones

Fin de sesiones es la etapa final. Está constituida por procesos que se realizan para terminar y cerrar correctamente la aplicación de detección de frascos con tapa y sin tapa.

Para llegar a esta fase es necesario que se deshabilite el interruptor “Encender”, lo cual hace que el programa detenga toda actividad. A partir de esto, no se realiza ningún proceso hasta que la aplicación reciba una instrucción por parte del usuario, al que se le da dos opciones (Paso 3 de la Etapa de Inicio del Manual de Usuario):

- Comenzar un nuevo proceso de detección, sin pasar por la Etapa de Inicio de sesiones, habilitando el interruptor de encendido.
- Finalizar completamente la aplicación, presionando el botón “TERMINAR APLICACIÓN”.

Si el usuario elige la segunda opción se ingresa a la Etapa de Fin de sesiones, que como su nombre lo indica, cierra las sesiones que permiten utilizar la cámara USB, y la comunicación con las tarjetas controladoras de la banda transportadora y el brazo robótico. Véase diagrama de flujo en el anexo M.

3.4.4 SubVIs creados

Un *SubVI* es una aplicación desarrollada en LabView equivalente a una función, subrutina, o método que se emplea para encapsular código. Los *SubVIs* que se presentan a continuación han sido creados con el objetivo de agrupar instrucciones, que en conjunto realizan una actividad determinada, y de esta manera, ordenar el programa

principal para un mejor entendimiento de la lógica que se aplica en el mismo.

En este tema se describe que función cumple cada SubVI desarrollado, y en que parte de la aplicación es utilizado. Los diagramas de flujo de estas funciones se detallan en el anexo N.

3.4.4.1 SubVI Inicio

El *SubVI* inicio establece una sesión *IMAQ USB*, que permite controlar la cámara *USB EYE 110* mediante las funciones del paquete *IMAQ de NI* [Figura 3.32]. Esta función es utilizada en la Etapa de Inicio de sesiones.

Al encender la cámara *USB* se requiere un tiempo determinado de encendido, por lo tanto este *SubVI*, después de establecer la sesión *IMAQ USB*, inicia una adquisición continua de imágenes con el propósito de prender la cámara, de tal manera que cuando se necesite capturar imágenes durante la

aplicación, el dispositivo ya se encuentre encendido y se obtengan imágenes claras y bien enfocadas.

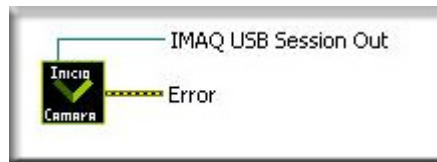


Figura 3.32 *SubVI* Inicio

3.4.4.2 *SubVI* Posición botella

El *SubVI* posición botella se utiliza en la Etapa de Inicialización para la creación de plantillas a partir de imágenes capturadas por la cámara *USB* [Figura 3.33]. Se encarga de colocar el frasco modelo en la posición correcta para capturar las imágenes de donde se extraerán las plantillas.

Al inicio de esta instrucción se presenta un cuadro de diálogo que solicita colocar un modelo con tapa o sin tapa en la línea, para lo cual, el usuario debe poner manualmente el frasco correspondiente sobre la banda transportadora en la entrada del armario de

iluminación. Luego se llama al *SubVI* posición botella 2 para dar por finalizado el proceso.

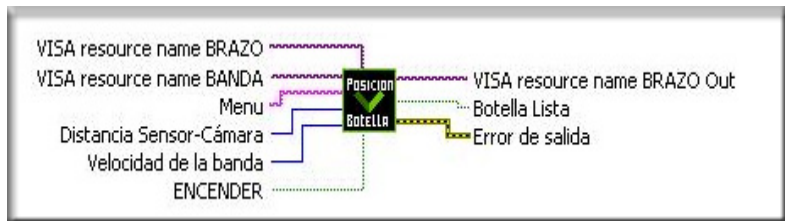


Figura 3.33 SubVI Posición botella

3.4.4.3 SubVI Posición botella 2

Este *SubVI* se constituye el complemento del *SubVI* posición botella y tiene la función de colocar un frasco modelo en la posición exacta para que el brazo cámara robótico pueda captar la vista lateral y vista la superior de este modelo [Figura 3.34].

Una vez que se coloque el frasco en la línea, se encarga de ubicar el envase automáticamente en la posición adecuada.

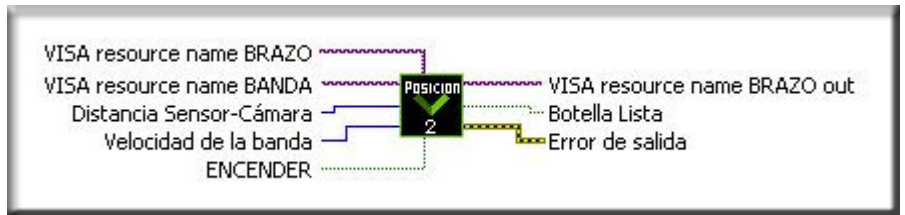


Figura 3.34 *SubVI* Posición botella 2

3.4.4.4 *SubVI* Crear *Template*

El *SubVI* crear *template* es aplicado en la Etapa de Inicialización y permite seleccionar una plantilla determinada existente o crear una nueva plantilla a partir de una imagen capturada por la cámara *USB* [Figura 3.35].



Figura 3.35 *SubVI* Crear *Template*

Este *SubVI* debe ser utilizado cuatro veces al inicio del programa para elegir las cuatro plantillas necesarias para el proceso de detección de frascos

con tapa y sin tapa. Las opciones que se dan para la selección de plantillas son las siguientes:

- **Seleccionar una plantilla existente:** Se presenta una ventana donde el usuario puede buscar la plantilla correspondiente entre los archivos almacenados en el ordenador. Dentro de esta ventana se genera una vista previa de los archivos que se señalen, para asegurar que se realice la selección correcta. Al concluir este proceso se verifica que no haya ocurrido algún error tales como: que el archivo seleccionado no esté siendo utilizado o que la imagen elegida sea una plantilla válida mediante el *SubVI* comprobación.
- **Crear una nueva plantilla a partir de una imagen capturada por la cámara USB:** Se visualiza una ventana donde el usuario puede elegir la dirección y el nombre de la nueva plantilla. Se verifica que el archivo sea almacenado en una dirección donde el nombre

dado no esté siendo usado y se llama al *SubVI* template para concluir el proceso.

3.4.4.5 *SubVI* Comprobación.

El *SubVI* Comprobación es parte del *SubVI* Crear *Template* y, como su nombre lo indica, sirve para comprobar que el archivo que se elija en el paso “Seleccionar una plantilla existente” corresponda a una plantilla válida, es decir, el archivo debe tener el formato correcto y debe contener la información que se genera durante la etapa de aprendizaje del proceso de creación de una plantilla [Figura 3.36].



Figura 3.36 *SubVI* Comprobación

3.4.4.6 SubVI Template.

El *SubVI Template* se lo aplica en el *SubVI Crear Template* para la creación de una nueva plantilla a partir de una imagen captada por la cámara *USB* [Figura 3.37].

Este *SubVI* captura una imagen del frasco modelo y permite al usuario determinar la región de interés que servirá como plantilla para el proceso de detección. Luego se produce la etapa de aprendizaje, y para finalizar se almacena la imagen y la información generada en un archivo.

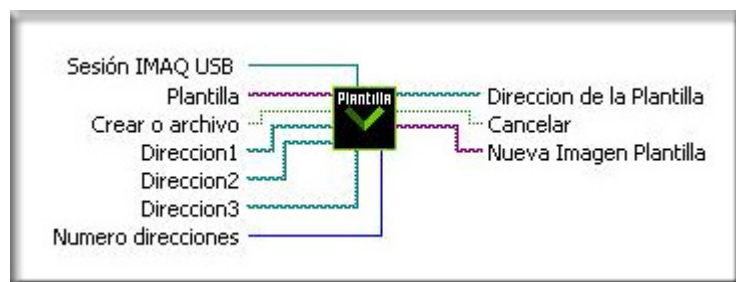


Figura 3.37 *SubVI Template*

3.4.4.7 SubVI Comparar sin tapa.

El *SubVI* comparar sin tapa es utilizado en la Etapa de Aplicación durante el procesamiento para determinar si los frascos que se analizan no poseen tapa [Figura 3.38].

Al examinar la imagen de un frasco para la inspección, primero se realiza el reconocimiento de la plantilla del modelo con tapa en la imagen. En caso de que no se encuentre alguna coincidencia se llama al *SubVI* Comparar sin tapa, el cual se encarga de realizar la búsqueda de coincidencias de la plantilla del modelo sin tapa en la imagen en estudio. Este proceso se lo realiza tanto en caso que se analice la vista lateral como la vista superior de un frasco.



Figura 3.38 *SubVI* Comparar sin tapa

3.4.4.8 SubVI Cancelar.

Generalmente los cuadros de diálogos presentan botones que permiten al usuario decidir que acción desean realizar, y es común encontrar el botón Cancelar entre estas opciones [Figura 3.39].

El *SubVI* Cancelar fue diseñado para ser utilizado a continuación de un cuadro de diálogo para validar si el usuario decide anular el proceso que esté realizando. En el caso dado, este *SubVI* presenta otro cuadro de diálogo con las opciones de apagar el sistema o de repetir la acción que ha sido cancelada, dependiendo de la decisión, esta función retorna señales booleanas que pueden ser utilizadas en conjunto con instrucciones básicas de programación para realizar las tareas mencionadas.



Figura 3.39 *SubVI* Cancelar

3.4.4.9 Uso de *SubVis* creados en otras aplicaciones

Para el diseño de la aplicación que controla la plataforma de inspección de frascos con tapa y sin tapa se han utilizado *SubVis* de otros proyectos tales como: “Diseño de brazo robótico y diseño de brazo empuja frascos controlados por *LabView* y *DSPICS*” y “Diseño de dos bandas transportadoras de 100 x 10 cm y dos de 30 x 10 cm con motores controlados con *DSPICS*”. A continuación se describen brevemente los *SubVis* utilizados y la función que cada uno desempeña:

- ***SubVI* Inicializar:** establece una sesión *VISA* para la comunicación con la tarjeta controladora del brazo robótico y la palanca empuja frascos [Figura 3.40].

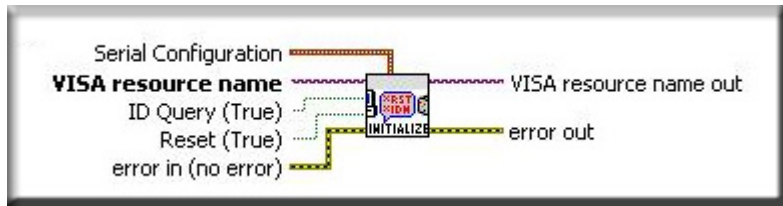


Figura 3.40 SubVI Inicializar

- **SubVI Close:** cierra la sesión VISA para la comunicación con la tarjeta controladora del brazo robótico y la palanca empuja frascos [Figura 3.41].

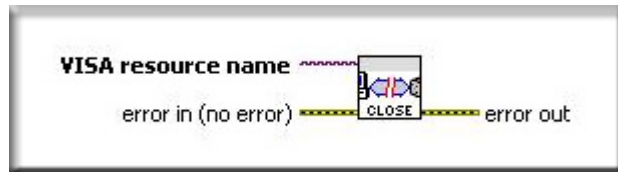


Figura 3.41 SubVI Close

- **SubVI Acción mover Robot:** permite controlar el brazo robótico [Figura 3.42]. Esta función se utiliza para colocar el robot en posiciones determinadas por archivos de texto o en una posición relativa *Reset*. Se ha considerado un tiempo de 5 segundos para que el Brazo realice

un movimiento y adopte la posición que se le indique.

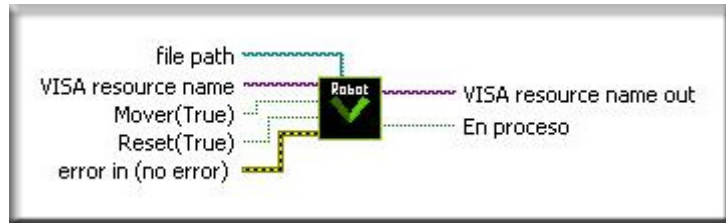


Figura 3.42 SubVI Acción mover Robot

- **SubVI Mover Robot:** [Figura 3.43] es utilizado por el *SubVI* Acción Mover Robot. Esta instrucción permite leer los parámetros de un archivo de texto que determinan una posición específica del brazo robótico y cargarlos en el sistema, además, emplea el *SubVI* Enviar Comandos 2 para mandar los parámetros leídos de los archivos de texto a la tarjeta controladora de servos.

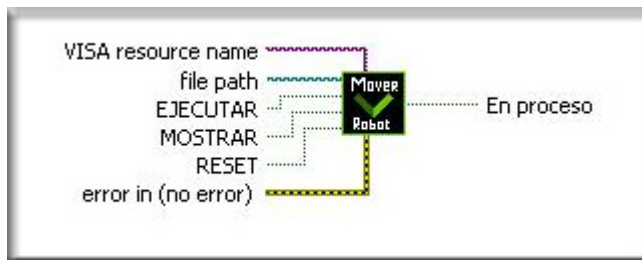


Figura 3.43 SubVI Mover Robot

- **SubVI Enviar Comandos 2:** como su nombre lo indica, envía comandos, representados por una letra o número, a la tarjeta controladora del brazo robótico. Cada uno de estos comandos es concatenado con su correspondiente parámetro de configuración [Figura 3.44].

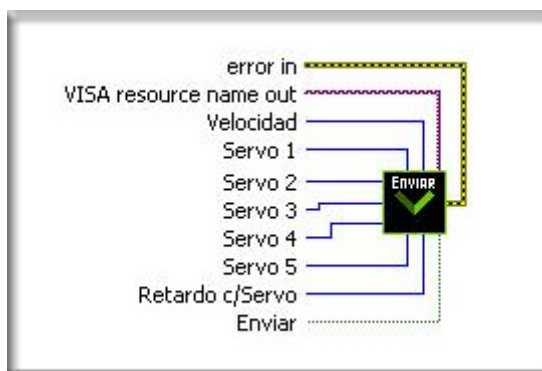


Figura 3.44 SubVI Enviar Comandos 2

- **SubVI Espol Lab Conveyor Setup:** establece una sesión VISA para la comunicación con la

tarjeta controladora de la banda transportadora [Figura 3.45].

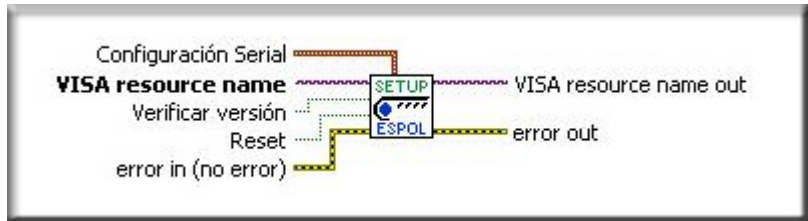


Figura 3.45 SubVI Espol Lab Conveyor Setup

- **SubVI Espol Lab Conveyor Close:** cierra la sesión VISA para la comunicación con la tarjeta controladora de la banda transportadora [Figura 3.46].

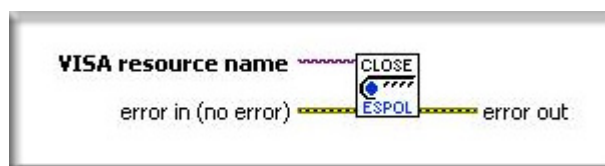


Figura 3.46 SubVI Espol Lab Conveyor Close

- **SubVI Espol Lab Conveyor Set Sensor-Camera Distance:** configura la distancia entre

el sensor que se encuentra en la entrada del armario de iluminación y la posición frente a la cámara [Figura 3.47].

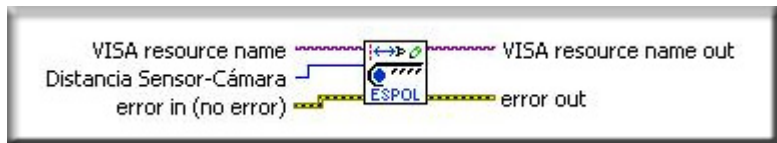


Figura 3.47 SubVI Espol Lab Conveyor Set Sensor-Camera Distance

- **SubVI Espol Lab Conveyor Speed:** configura la velocidad de la banda transportadora. Se utilizo el valor relativo de velocidad de 3000 para la implementación de la Plataforma [Figura 3.48].

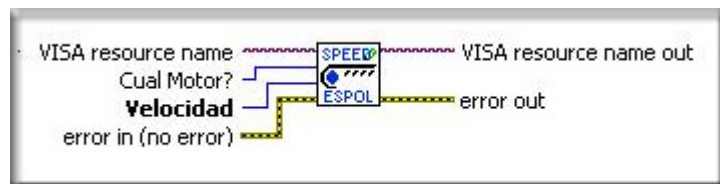


Figura 3.48 SubVI Espol Lab Conveyor Speed

- **SubVI Espol Lab Conveyor Left:** ordena a la tarjeta controladora hacer girar los motores de la banda transportadora hacia la izquierda [Figura 3.49].

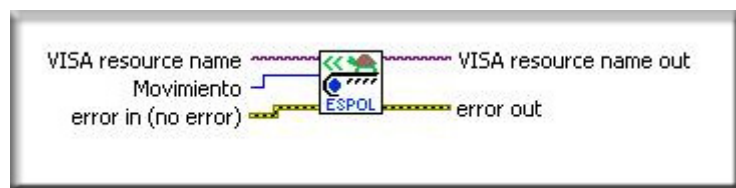


Figura 3.49 SubVI Espol Lab Conveyor Left

- **SubVI Espol Lab Conveyor Stop:** detiene los motores de la banda transportadora [Figura 3.50].

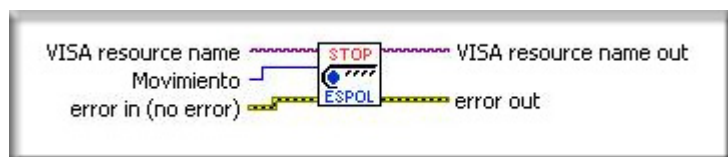


Figura 3.50 SubVI Espol Lab Conveyor Stop

- **SubVI Espol Lab Conveyor Report:** permite obtener los datos provenientes de los sensores conectados a la tarjeta controladora de la banda transportadora [Figura 3.51]. Este *SubVI* se lo utiliza para recibir la señal captada por el sensor ubicado en la entrada del armario de iluminación, con lo cual se indica que una botella esta ingresando al armario para ser inspeccionada.

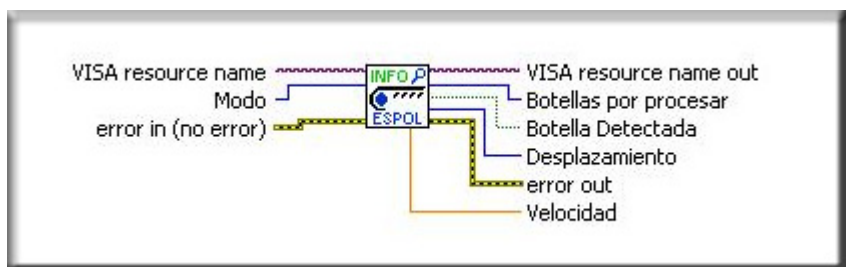


Figura 3.51 SubVI Espol Lab Conveyor Report

- **SubVI Empuja Frascos:** permite controlar la palanca empuja frascos [Figura 3.52]. Este elemento tiene tres posiciones fijas que se utilizan en la aplicación que controla la Plataforma:

- Posición inicial – Arriba.
- Posición para detener frascos – Abajo.
- Posición para retirar los frascos rechazados de la línea.

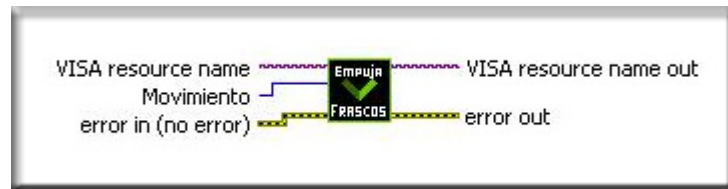


Figura 3.52 SubVI Empuja Frascos

3.5 Escalabilidad y limitaciones

En este apartado se describen la escalabilidad y las limitaciones de la aplicación desarrollada en *LabView* para el control de la Plataforma de detección de frascos con tapa y sin tapa, así como también de las que se presentaron en la construcción e implementación del proyecto.

3.5.1 Escalabilidad

La Plataforma de Inspección de frascos con tapa y sin tapa es considerada como un sistema escalable debido a que ofrece la capacidad de modificar su tamaño o configuración para adaptarse a circunstancias cambiantes.

Esta capacidad permite que el sistema pueda ser utilizado para realizar otras tareas de visión robótica, para lo cual, obviamente sería necesario efectuar las modificaciones respectivas. A continuación se listan algunos campos de la industria y ejemplos de tareas a los que puede ser adaptado el sistema:

- En el Campo Farmacéutico, para el control de nivel de líquido, conformidad de envasado y sellado.
- Control de calidad de circuitos electrónicos, para la detección de posibles fallas en la construcción de los mismos.
- Localización de objetos, determinando coordenadas espaciales de los objetivos en un área determinada.

- Clasificación de objetos mediante la inspección de sus características visuales.
- Sistema de control de calidad en plantas embotelladoras, para la detección de defectos o características que no este dentro de las especificaciones del producto.

3.5.2 Limitaciones

El Sistema de inspección de frascos con tapa y sin tapa es implementado con elementos relativamente de bajo costo, por esta razón, la Plataforma presenta deficiencias que limitan ciertas características que en un sistema real de detección y control de calidad son considerados importantes, como la velocidad. A continuación se enuncian:

- Una deficiencia que repercute directamente en la velocidad del sistema es que no se dispone de un dispositivo de adquisición de imágenes de alta velocidad que permita captar objetos en movimiento, lo cual implica que para realizar una inspección es necesario que el objetivo esté en una posición fija. En adición, la cámara

USB tiene un retraso representativo al capturar una imagen y transferirla al ordenador.

- La cámara *USB* se encuentra montada sobre el brazo robótico para capturar imágenes desde diferentes ángulos del objetivo y así realizar la detección, por lo tanto, el tiempo que demora el brazo en pasar de una posición fija a otra es considerado una característica importante que limita la velocidad del Sistema.

Para efecto de este proyecto se ha considerado un tiempo de 5 segundos para que el brazo robótico realice un movimiento, es decir, cada vez que se envíe la orden al robot de cambiar de posición, el programa esperará 5 segundos para que éste complete el movimiento y llegue a la posición deseada.

- El sistema adolece de una integración con el resto de aplicaciones desarrolladas para analizar frascos, ya que cada una es diseñada e implementada por separado.

- El uso de un sistema de iluminación adecuado es imprescindible. El área de la Plataforma donde se realiza la inspección no puede estar expuesta a variaciones constantes de iluminación, debido a que estos cambios influyen en las características visuales del objetivo y por lo tanto en el resultado de la detección.
- Durante la construcción e implementación de La Plataforma de visión artificial se han determinado ciertas deficiencias. Esta plataforma carece de un sistema de alimentación continuo de frascos, por lo que esta tarea debe ser realizada manualmente. Además, el armario de iluminación no se encuentra fijado de manera robusta a los demás elementos que componen el Sistema de detección o a una base fija, lo cual podría repercutir en las condiciones para realizar la inspección debido a posibles vibraciones producidas por la banda transportadora.

CAPITULO 4

4 Implementación

Este capítulo presenta el diseño e implementación del proyecto de tesis, su integración con las demás aplicaciones y el funcionamiento general del prototipo. Además se menciona herramientas que hacen posible el levantamiento de la estructura para un óptimo análisis, así como también las interfaces usadas para la comunicación con el procesador central.

4.1 Construcción del prototipo

La implementación del prototipo consiste en el desarrollo de una plataforma de laboratorio que permite la simulación de procesos industriales con un sistema de visión computarizada para realizar el control de calidad de un producto (frascos sin tapas). La Figura 4.1 a continuación muestra sus partes fundamentales:

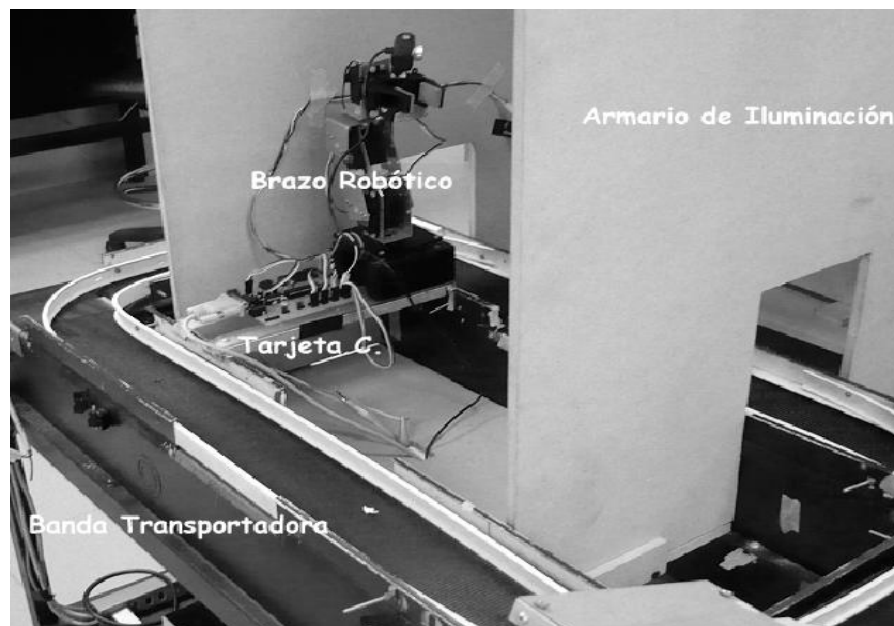


Figura 4.1 Partes fundamentales del prototipo

- Bandas transportadoras
- Armario de iluminación

- Interconexión de las interfases con *LabView*
- Sensores

Los demás componentes se detallan más adelante en los sub-temas de este capítulo.

4.1.1 Bandas Transportadoras

El conjunto de bandas es el mecanismo mediante el cual se desplazan de forma continua y regular los frascos que se van analizar. Se dispone de cuatro bandas transportadoras que generan un ciclo cerrado trasladando al objeto al lugar donde se encuentra la cámara, la misma que se encargara de detectar alguna irregularidad en el mismo.

Las bandas transportadoras están constituidas por los siguientes componentes:

- La correa o banda, sus características dependen de material que se vaya a transportar, capacidad o la tensión que ejercerá el mismo.

- Los rodillos que funcionan como poleas y se ubican en el inicio y en el fin de la cinta transportadora
- Los elementos motrices que corresponde a los motores DC de 12 V, acoplados directamente al eje de los rodillos.
- Los elementos tensores permiten mantener la tensión en la correa o banda asegurando el buen funcionamiento del sistema.
- La estructura soportante está compuesta por perfiles tubulares, formando puentes que fijan soportes estructurales apernados y soldados en una base sólida.

4.1.1.1 Funcionamiento de la banda transportadora

Como sabemos una banda transportadora es simplemente un medio para llegar a un fin, o para transportar un objeto desde un comienzo A hasta un punto final B.

Para efectuar este trabajo cada banda requiere una potencia que es proporcionada por un rodillo que

funciona con un elemento motriz; el cual a través de la cinta o banda transfiere la energía al extremo donde se encuentra otro rodillo, lo cual hace que el sistema opere de una manera eficiente haciendo rodar los rodillos a una misma revolución [22].

Hay que mencionar que el sistema es un diseño relativamente simple y bajo en tensión como muestra de un prototipo que podría tener ventajas industriales, sin embargo, se ha realizado tomando en cuenta los siguientes puntos:

- Capacidad y peso: esta orientada a transportar objetos de poco peso y volumen.
- Costos en tiempo y distancia: creada como una plataforma de laboratorio para aplicaciones de visión computarizada.
- Cambios de longitud: consta de 2 partes de 100 cm de largo por 10 cm de ancho y 2 partes de 30 cm de largo por 10 cm de ancho.
- Recursos financieros: el diseño del prototipo como un proyecto de tópicos, con una visión

hacia futuras aplicaciones industriales, aprovecho la mayor cantidad de recursos para que los costos de construcción no resulten muy elevados.

Como una herramienta de seguridad para la transportación de los frascos, se han elaborado bordes de contención que poseen una altura de 4cm, Figura 4.2.

Los bordes de contención ofrecen una gran resistencia vertical, mayor estabilidad y facilitan el giro en los cambios de dirección que se presentan en el recorrido de las bandas transportadoras.



Figura 4.2 Borde de contención

4.1.1.2 Modo de operación de la banda transportadora

Las bandas transportadoras han sido diseñadas para ser manipuladas en forma manual o programada:

- **Modo manual:** el usuario tiene la capacidad de manipular manualmente las bandas transportadoras a través del panel que se encuentra ubicado a un lado de las mismas.

- **Modo programado:** con el uso de las herramientas de programación desarrolladas en *LabView* es posible crear aplicaciones que permitan el manejo de las bandas transportadoras. Estas herramientas o *SubVIs* han sido utilizados para el diseño del programa que controla la Plataforma para la inspección de frascos con tapa y sin tapa [13].

4.1.2 Armario de Iluminación

El sistema de visión implementado dispone de un armario de iluminación en el que se encuentra ubicado el brazo robótico, el brazo empuja frascos, un sensor de desplazamiento y la cámara *USB*. Este conjunto (armario, cámara, sensor y brazos) se encuentran montados sobre la banda transportadora, como se puede apreciar en la Figura 4.3.

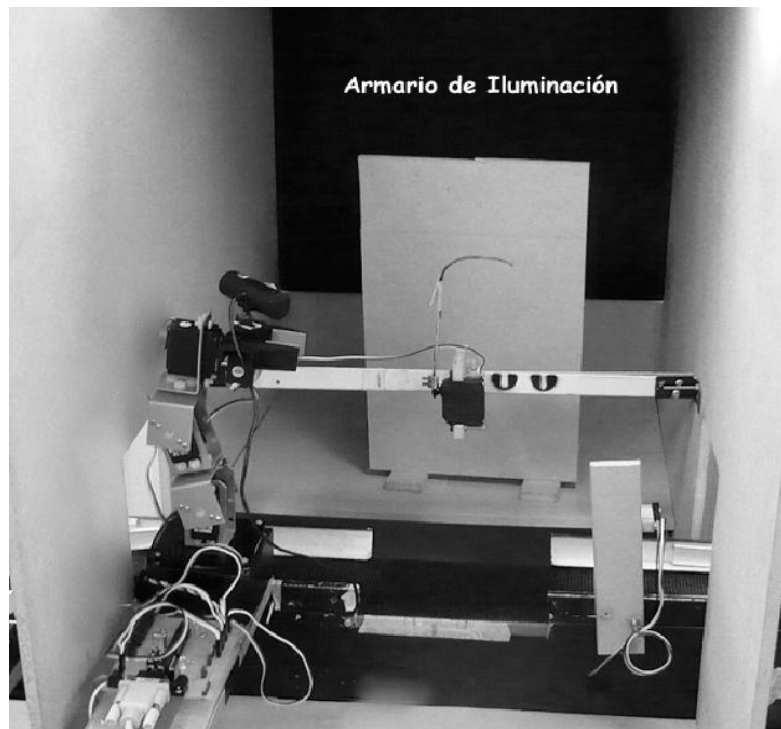


Figura 4.3 Vista Frontal del Armario de Iluminación

El objetivo del armario es tener una buena iluminación para realizar un apropiado acondicionamiento de la imagen, permitiendo que los frascos sean transportados por el interior evitando estar expuesto a las variaciones ambientales de luz que pueden ser crucial en el momento del análisis.

Entre las características físicas del armario podemos señalar las siguientes:

- Las bases están elaboradas de madera las cuales se han atornillado a la estructura soportante de la banda transportadora, con el fin de tener un sistema sólido. De esta manera el sistema será más macizo a cualquier movimiento o vibración que se realice durante su funcionamiento.
- Los laterales del armario han sido adecuados para que los frascos a inspeccionar puedan entrar y salir sin ningún tipo de inconvenientes, como se puede apreciar en la siguiente figura:
- Dispone de pequeños perfiles en donde se encuentran ubicados el brazo empuja frascos y el sensor de desplazamiento, Figura 4.4.

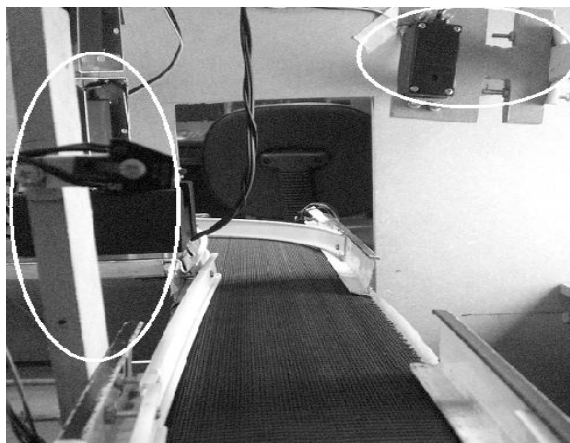


Figura 4.4 Perfiles para el sensor y empuja frascos

- En la parte superior se ha ubicado el sistema de alumbrado en un lugar estratégico de tal forma que permiten minimizar los efectos de las sombras, de manera que se facilita enormemente la tarea del análisis y reconocimiento del objeto de interés.

4.1.3 Interconexión de las interfases con *LabView*

El brazo robótico, el brazo empuja frascos y la banda transportadora están controlados por diversas tarjetas que permiten su interconexión y control desde *LabView*

4.1.3.1 Interfaz de la banda transportadora con *LabView*

Para el diseño del circuito de interfaz (tarjeta controladora) se ha utilizado el DSPIC30F4011 que es un microcontrolador orientado al manejo de motores, gracias a su capacidad de generar señales *PWM* puede operar la velocidad de los cuatro

motores de corriente directa que contiene la banda transportadora.

La tarjeta contiene cinco sensores para la verificación del funcionamiento de las bandas, los cuales permiten obtener un reporte de la velocidad y parada de las mismas. Además contiene un sensor adicional que se utiliza para detectar los frascos.

La comunicación entre el circuito de control y la computadora se realiza a través de un puerto serial empalmado con un convertidor *USB*, utilizando el protocolo serial asíncrono del *DSPIC* y el *MAX232* para convertir los niveles de voltaje del controlador al estándar *RS232*.

Esta comunicación es la que permite el paso de información de los componentes, cediendo así el control a LabView como un *software* especializado para el manejo de la aplicación [13].

4.1.3.2 Interfaz del brazo robótico y empuja frascos con *LabView*

El brazo robótico y empuja frascos se encuentran controlados por una tarjeta que contiene un *DSPIC* de la serie *DSPIC30F4012* diseñada específicamente para el manejo de servomotores.

El circuito controlador puede manejar hasta 8 servomotores, en la aplicación esta configurado para el manejo de seis, donde 5 pertenecen al brazo y uno se encarga del empuja frascos.

La comunicación entre la computadora y el circuito de control, al igual que la tarjeta controladora de la banda, se realiza a través de un puerto serial. Esta conexión hace que el control del funcionamiento de los componentes se realice desde *LabView* [14].

4.1.4 Sensores

Los sensores son aquellos que se encargan de verificar el funcionamiento de la banda, indicando la velocidad, interrupciones no deseadas y además la detección de frascos.

Un sensor contiene un diodo que emite rayos infrarrojos y un fototransistor *NPN* de silicio que responde a la radiación de los diodos emisores sólo cuando detecta superficies reflectantes de un objeto dentro de su campo de visión [15].

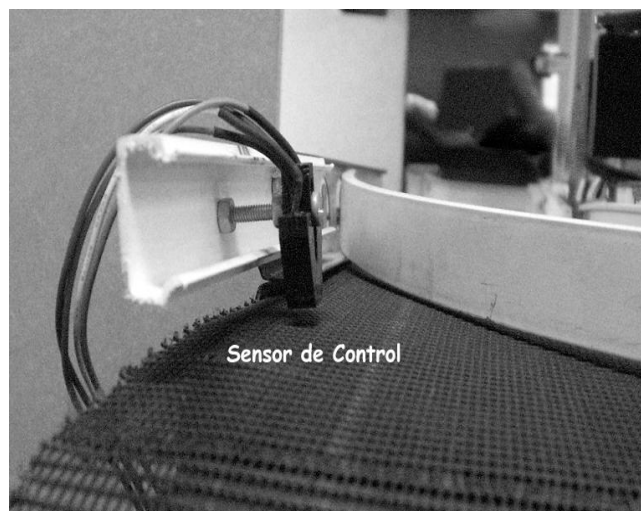


Figura 4.5 Sensor de Control

Disponemos de 5 sensores de tipo *QRB1133* como se observa en la Figura 4.5, que son de bajos costos y suministran una alta sensibilidad. Cuatro de ellos controlan el funcionamiento de la banda, ubicados sobre cada segmento y el quinto se encarga de detectar el paso de los frascos, se encuentra colocado dentro del armario de iluminación.

Las señales generadas por los sensores son recibidas por el circuito controlador de la banda. Cuando la banda empieza a moverse, los sensores entregan la información del desplazamiento ocurrido en cada segmento, esta información se utiliza para verificar el funcionamiento de cada uno de ellos. Cuando un frasco pasa frente al sensor encargado de detectar los frascos, el circuito controlador verifica su posición actual con respecto al desplazamiento reportado por los sensores y calcula el punto donde debe iniciar el frenado para detener la banda y que la botella se detenga en el lugar preciso para ser analizado por la cámara.

Finalmente, los sensores envían información indicando que los motores se han detenido y el sistema se encuentra preparado para un nuevo ciclo.

4.2 Construcción del sistema eléctrico

El sistema eléctrico se refiere al conjunto de dispositivos cuya función es proveer la energía necesaria para el arranque y correcto funcionamiento de los accesorios electrónicos, tales como se muestran a continuación en la Figura 4.6.

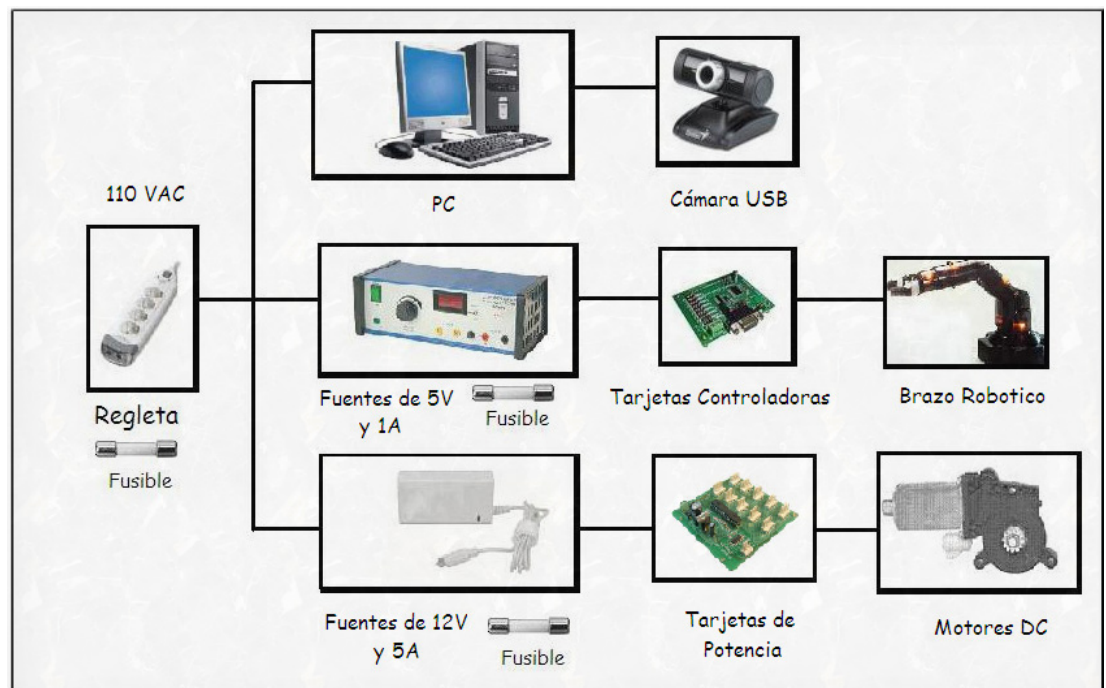


Figura 4.6 Sistema eléctrico

La regleta principal se encarga de alimentar a todos los circuitos con 110 V y contiene un fusible de 10A como protección en caso de sobrecarga. Entre los accesorios principales encargados de suministrar energía, con sus respectivas protecciones, podemos detallar los siguientes:

1. El *PC* se alimenta con 110Vac, contiene una fuente de 500 W y se encarga del funcionamiento de la cámara suministrándole 5V y 500mA a través de una conexión *USB*.
2. La tarjeta de interfaz del brazo robótico y empuja frascos dispone de una fuente alimentada con 110Vac, compuesta por un rectificador de onda completa con un regulador que proporciona 5V y 1A.
3. Para los motores se implementaron cuatro fuentes alimentadas con 110Vac, compuesta por un rectificador de onda completa sin regulador que proporciona 12V y 5A. Cada fuente de poder posee protecciones independientes de 5A.

Los motores no se encuentran alimentados directamente por las fuentes, sino que son manejados por unas tarjetas de control que reciben el nombre de Tarjetas de Potencia.

Las Tarjetas de Potencia proveen la corriente necesaria según la potencia de los motores DC [13]. Se adquirió una tarjeta por cada motor con características tales como:

- Un puente H construido con transistores para manejar motores DC de 6V a 24V con una corriente máxima de 5A, que permite cambiar de dirección de la corriente que circula por el motor.
- Una grupo de acopladores ópticos son necesarios para separar las dos fuentes de poder y proteger de daño a los dispositivos en las tarjetas.
- Contiene luces que indican la conexión de las fuentes, la presencia de señal modulada y la dirección actual del puente H.

Todos los circuitos están aterrizados a la estructura metálica y existe continuidad en todos los puntos de la estructura.

4.3 Montaje de la Cámara *USB*

La cámara *USB* se caracteriza por ser simple a la hora de manejarla y configurarla, puede modularse vertical o horizontalmente, permitiéndole encontrar la mejor posición, véase Figura 4.7. Además, aportan con una buena resolución, poco consumo de potencia, resistente a impactos físicos y bajo costo.

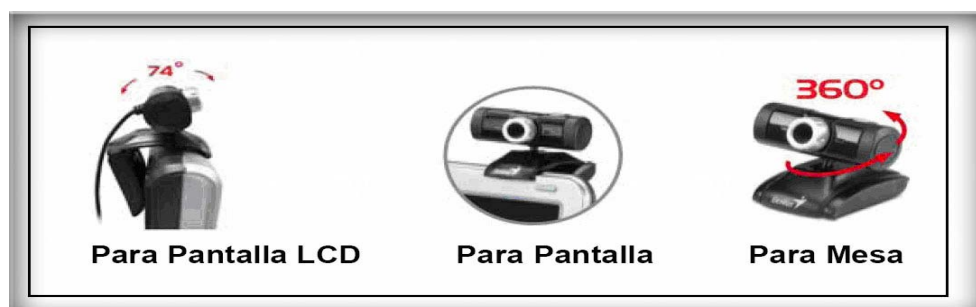


Figura 4.7 Manejo de la cámara

La cámara *USB* es compatible con la línea de sistemas operativos de *Microsoft* y utiliza *DDPlayCam*, un software multimedia interactivo que incorpora la tecnología virtual más avanzada para reconocimiento facial y localización de movimientos y unos efectos visuales sorprendentes [23].

4.3.1 Partes básicas de la Cámara USB

Entre sus partes se pueden describir las siguientes [Figura 4.8]:

1. Botón de Instantánea: Puede pulsar el botón de instantánea para capturar imágenes.
2. Lente: Ajuste el foco rotando la lente.

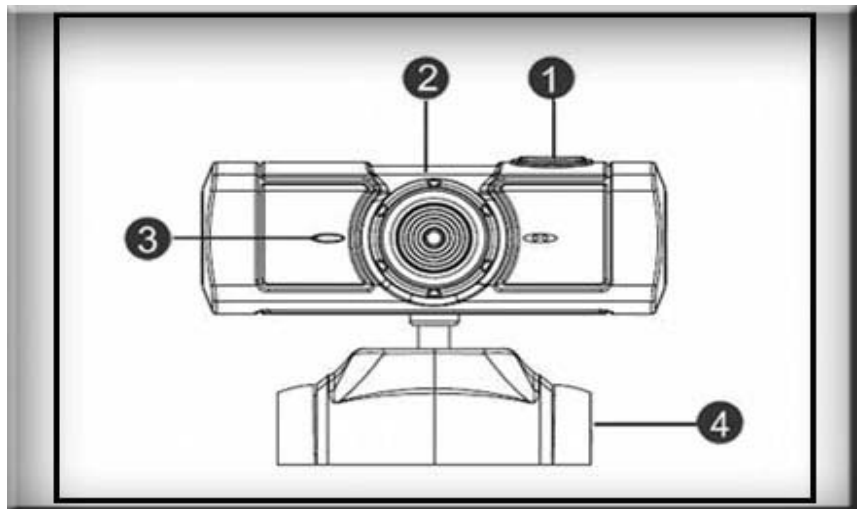


Figura 4.8 Partes básicas de la cámara

3. Indicador LED: Eye 110 está conectado al puerto USB del ordenador y el LED se iluminará cuando esté utilizando el programa de vídeo.
4. Base de Soporte y Pivote: La base de apoyo ajustable se adapta fácilmente a cualquier objeto – pantallas, pantallas LCD y pantallas planas.

4.3.2 Ubicación de la webcam

El reto es establecer la imagen adecuada para la aplicación que se tiene. Normalmente en los sistemas de adquisición de imágenes la cámara se selecciona primero basándose en las necesidades de la aplicación, por tanto los parámetros a considerar son los siguientes:

- Resolución, que vendrá dada por la característica del objeto que se quiera destacar en la imagen.
- Campo de visión, área de inspección que la cámara pueda adquirir.
- Distancia de trabajo, es la distancia desde el lente de la cámara hasta el objeto a inspeccionar.



Figura 4.9 Ubicación de la Cámara *USB*

La ubicación de la cámara como muestra la Figura 4.9 tiene la debida alineación, siendo la más óptima para la adquisición de una excelente imagen. En vista de que la estructura total dificultaba el montaje de la misma se desecharon algunas partes para ser colocada firmemente en la pinza del brazo robótico como se muestra a continuación:

Al brazo robótico se lo estableció como el mecanismo de movilización que ayudará a capturar las imágenes de los frascos desde dos posiciones:

- Primera Posición: El brazo ejecuta una serie movimiento ubicando a la cámara de tal forma que puede capturar imágenes laterales del frasco a analizar.
- Segunda Posición: La captura de imágenes se realiza desde una vista superior, el brazo ubica la cámara exactamente sobre el frasco permitiendo analizar con mayor precisión el punto de interés.

Las posiciones pueden variar dependiendo de la aplicación que el usuario quiera darle para nuestro caso es suficiente la captura de dos imágenes para realizar la comparación y establecer si el objeto analizado cumple con las características que se desean.

El sistema de adquisición está diseñado con el objetivo de capturar imágenes de suficiente calidad como para extraer la información necesaria para la obtención de conclusiones.

4.4 Simulación de Señales

Las simulaciones adquiridas demuestran la gran eficiencia con la que cuenta la tarjeta controladora de servos, refiriéndose a las señales *PWM* que se emiten para el control de los motores, los mismos que permitirán establecer las posiciones adecuadas para capturar la imágenes y a su vez realizar el proceso de detección de frascos sin tapa.

Las señales *PWM* permiten obtener la posición deseada de los servo, básicamente esta técnica consiste en variar el tiempo que una señal periódica cuadrada, se mantiene en su estado “alto”, y este mecanismo es utilizado por los servomotores ya que por su construcción, éstos son dispositivos que determinan su posicionamiento a través del ciclo de trabajo de una señal cuadrada, de forma tal que para un ciclo de trabajo determinado el servo se coloca en una posición específica y al cambiar dicho ciclo el servo se moverá inmediatamente a otra posición, de esta forma se puede comprobar que si se es capaz de controlar la señal *PWM* se puede controlar la posición del servo [24].

El ciclo de trabajo de una señal *PWM* es la duración de un pulso en su nivel más alto, se mide en porcentaje, por ejemplo en una señal

normal de reloj, el ciclo de trabajo es equivalente al 50%. El ancho del pulso o ciclo de trabajo será proporcional a la diferencia entre el punto deseado y el punto actual. Así cuando el motor se vaya acercando al punto deseado comenzara a disminuir la velocidad del motor. En otras palabras estamos utilizando un control proporcional para nuestro trabajo.

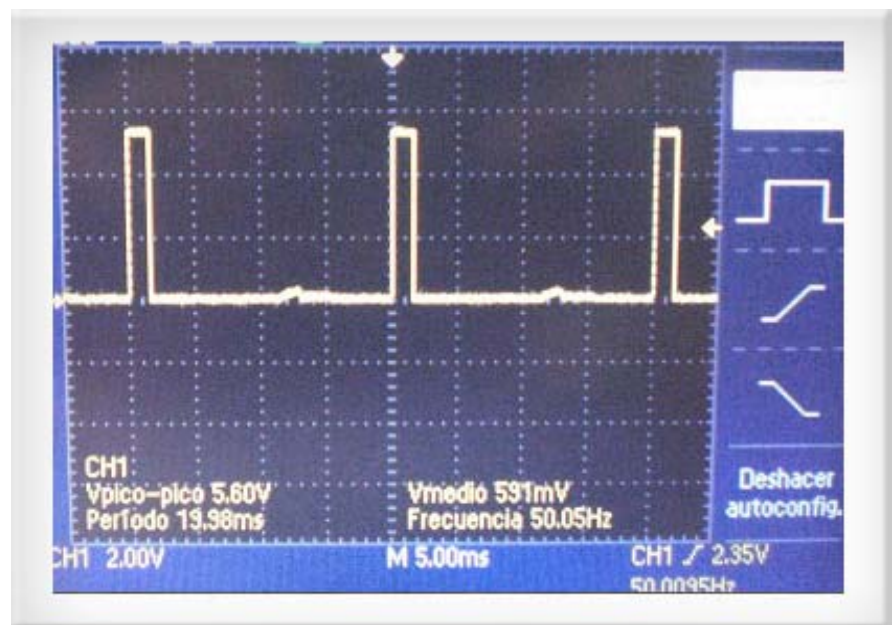


Figura 4.10 Márgenes de operación de los servos

La Figura 4.10 indica los márgenes de operación de los servos, que corresponden al ancho del pulso máximo y mínimo que el servo entiende. Los valores más generales concuerdan con los valores de

0.5 ms y 2.5 ms que dejarían al motor en ambos extremos [Figura 4.11-12]. El valor de 1.5 ms indicaría la posición central, mientras que otros valores de pulso lo dejan en posiciones intermedias.

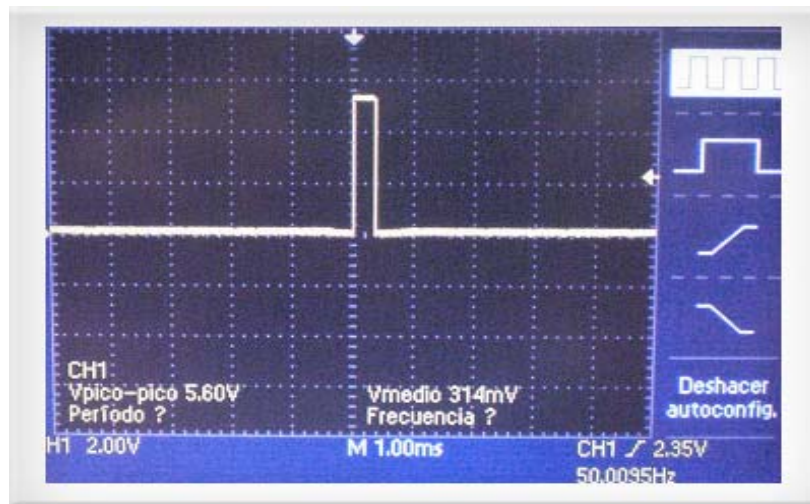


Figura 4.11 Ancho de pulso mínimo

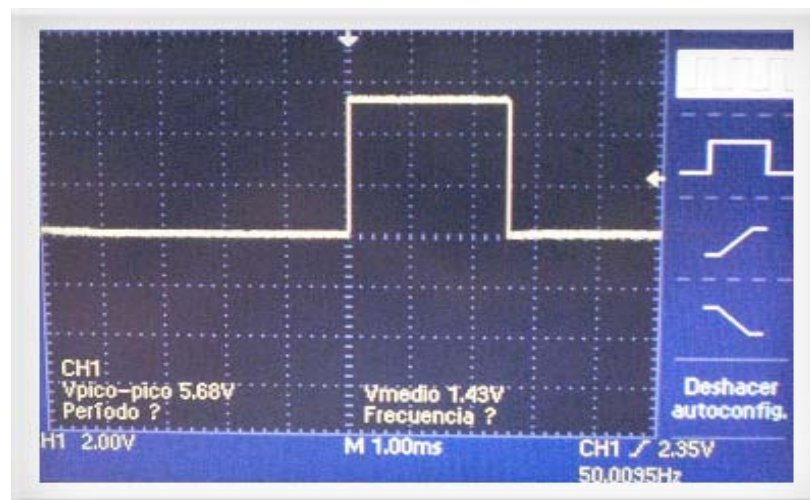


Figura 4.12 Ancho de pulso máximo

El periodo que se ocupa es de 20 ms, es decir con una frecuencia de 50 Hz. Es importante destacar que para que un servo se mantenga en la misma posición durante un cierto tiempo, es necesario enviarle continuamente el pulso correspondiente. De este modo, si existe alguna fuerza que le obligue abandonar esta posición, intentará resistirse. Si se deja de enviar pulsos entonces el servo perderá fuerza y dejará de intentar mantener su posición, de modo que cualquier fuerza externa podría desplazarlo.

4.5 Costos del Proyecto

Los costos del proyecto se refieren a los costos de construcción del sistema de detección de frascos sin tapa, los cuales se mencionan a continuación:

- Banda Transportadora \$ 835.92
- Armario de Iluminación \$ 90.00
- Cámara USB \$ 17.00
- Brazo Robótico \$ 478.88
- Brazo empuja frascos y Tarjeta \$ 68.47

Controladora

Total\$ 1490.27

En el anexo O de adjunta una descripción detallada de cada rubro.

Además, es importante indicar las horas empleadas para la construcción del prototipo:

• Diseño de la banda transportadora	174 horas
• Diseño del Armario de Iluminación	24 horas
• Diseño del Brazo Robótico	320 horas
• Montaje de la cámara USB	2 horas
• Programación del Instrumento Virtual	60 horas
	Total 580 horas

CAPITULO 5

5 Datos experimentales

Este capítulo muestra todas las pruebas realizadas con un análisis completo de los resultados obtenidos, así como también, se comprueba que los objetivos planteados al inicio del tópico fueron logrados satisfactoriamente.

5.1 Pruebas realizadas

Una vez realizadas todas las interconexiones del sistema en general y verificado el funcionamiento como tal, se procedió a realizar pruebas que garanticen la efectividad con que se realiza el proceso de detección de frascos sin tapas.

Para la realización de pruebas se utilizaron frascos de estructura sencilla que cuentan con pequeñas dimensiones [Anexo H], entre todos ellos se escogió a uno, considerándolo como “frasco modelo”. De éste frasco se captura un patrón correcto de imágenes que serán usadas para la creación de una plantilla, utilizada como referencia mientras se realice la comparación con cada objeto a ser analizado.

La opción de crear una plantilla con el frasco modelo se explico anteriormente en el Capítulo 3, donde se detalla paso a paso en el manual del usuario como realizar el procedimiento, a continuación se presenta una imagen de la plantilla de referencia:

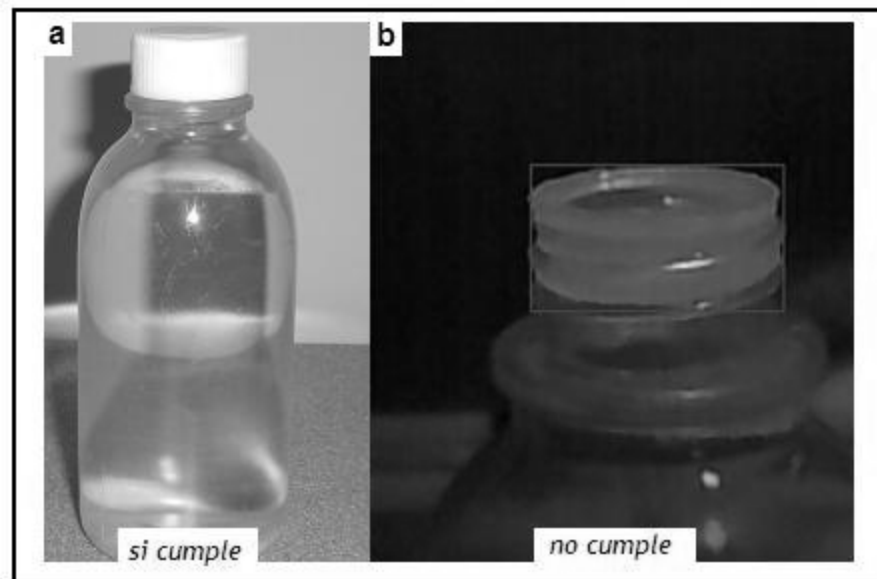


Figura 5.1 Plantilla de referencia

La Figura 5.1a, hace referencia al primer patrón de comparación que deben cumplir los demás frascos a ser inspeccionados por el sistema de visión artificial, nombrado como “si cumple”. Todos los frascos que coincidan con esta plantilla son aprobados y se les permite su paso a través de la banda transportadora.

La Figura 5.1b, es el segundo patrón de comparación que se aplica a un frasco en caso de no cumplir con el primero, nombrado como “no cumple”. Todos los frascos que coincidan con esta plantilla son reprobados y se descartan a través del brazo empuja frascos.

Finalmente, las pruebas realizadas muestran el resultado de la inspección para un frasco ideal y un frasco defectuoso [Figura 5.2-3], donde se considera el reconocimiento por parte del programa y la puntuación que obtiene cada frasco analizado:



Figura 5.2 Resultado del frasco ideal

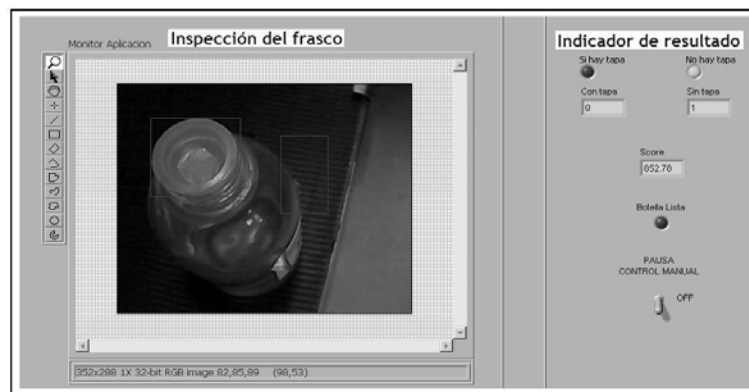


Figura 5.3 Resultado del frasco defectuoso

Es importante mencionar que para el análisis se tomaron en cuenta cincuenta muestras (frascos defectuosos y completos). Cada muestra fue analizada independientemente, trasladada sobre la banda transportadora la misma que se detiene en un punto estratégico para el análisis proporcionado por la cámara *USB*.

5.2 Datos obtenidos

El análisis de los datos comprendió todos los procedimientos requeridos para evaluar e interpretar la información recopilada, para ello se efectuaron pruebas donde se considero lo siguiente:

Para frascos completos [Figura 5.4]:

- Porcentaje de coincidencia de la plantilla “si cumple”: Se refiere a la cantidad de aciertos que muestra el indicador “si hay tapa” del panel de control.
- Puntuación del frasco analizado: Es el puntaje asignado por el software con respecto a la calidad e la imagen analizada.

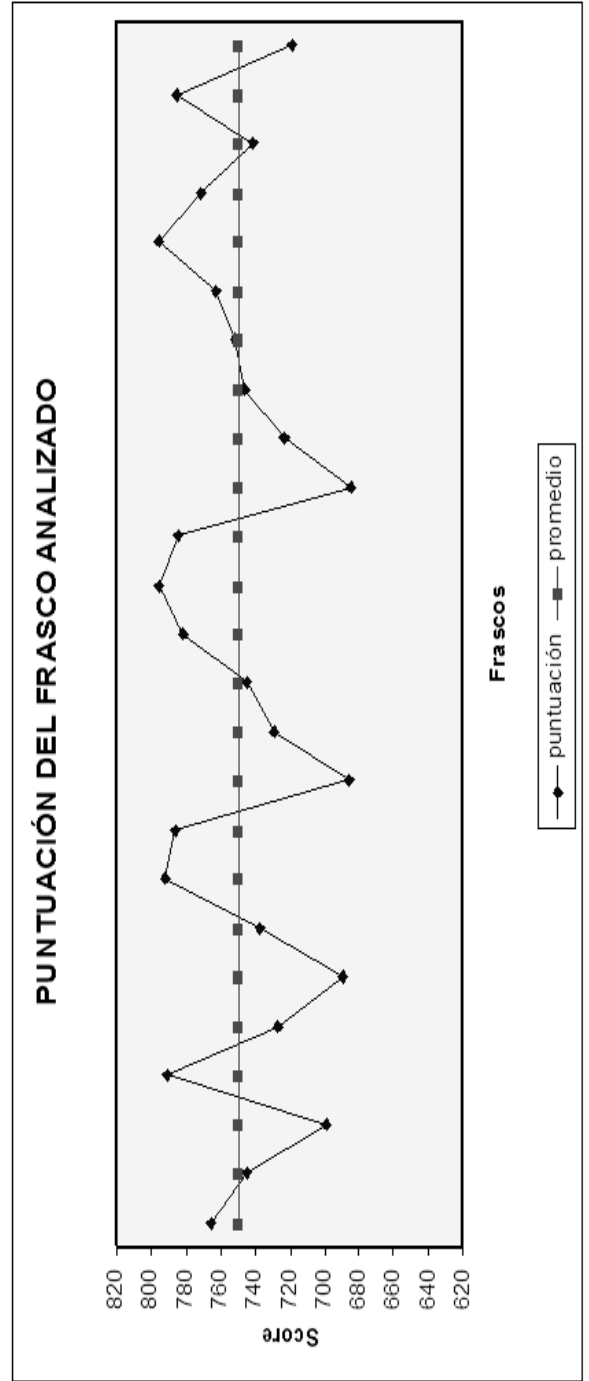
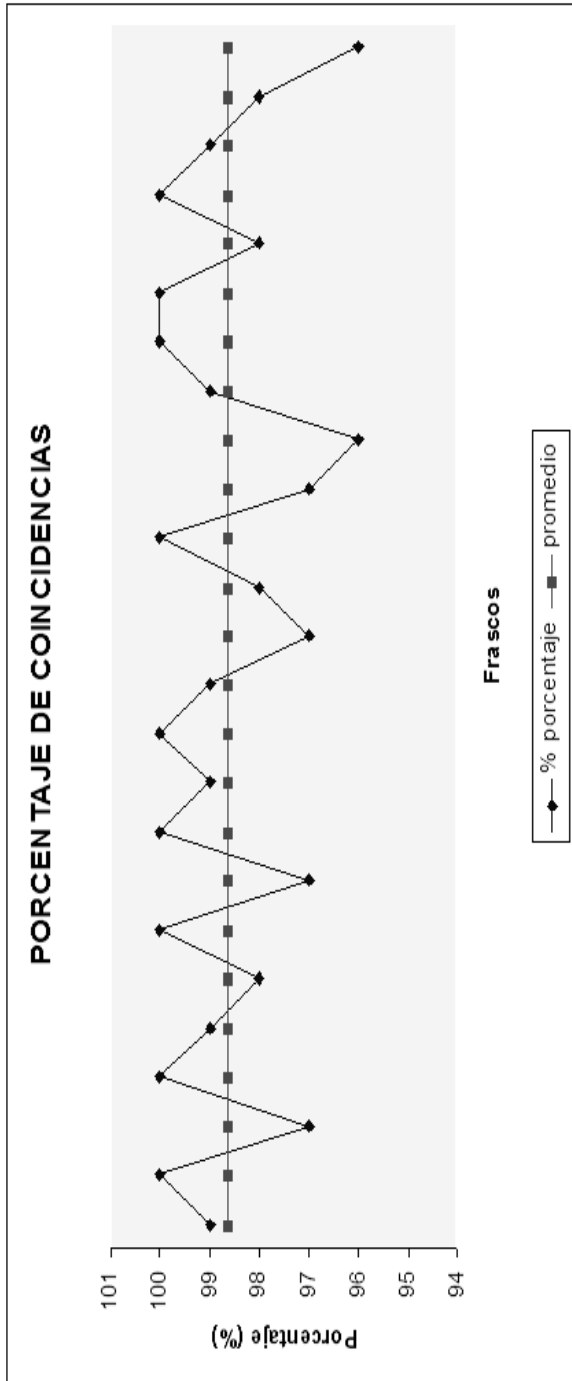


Figura 5.4 Muestreo de pruebas realizadas para frascos completos

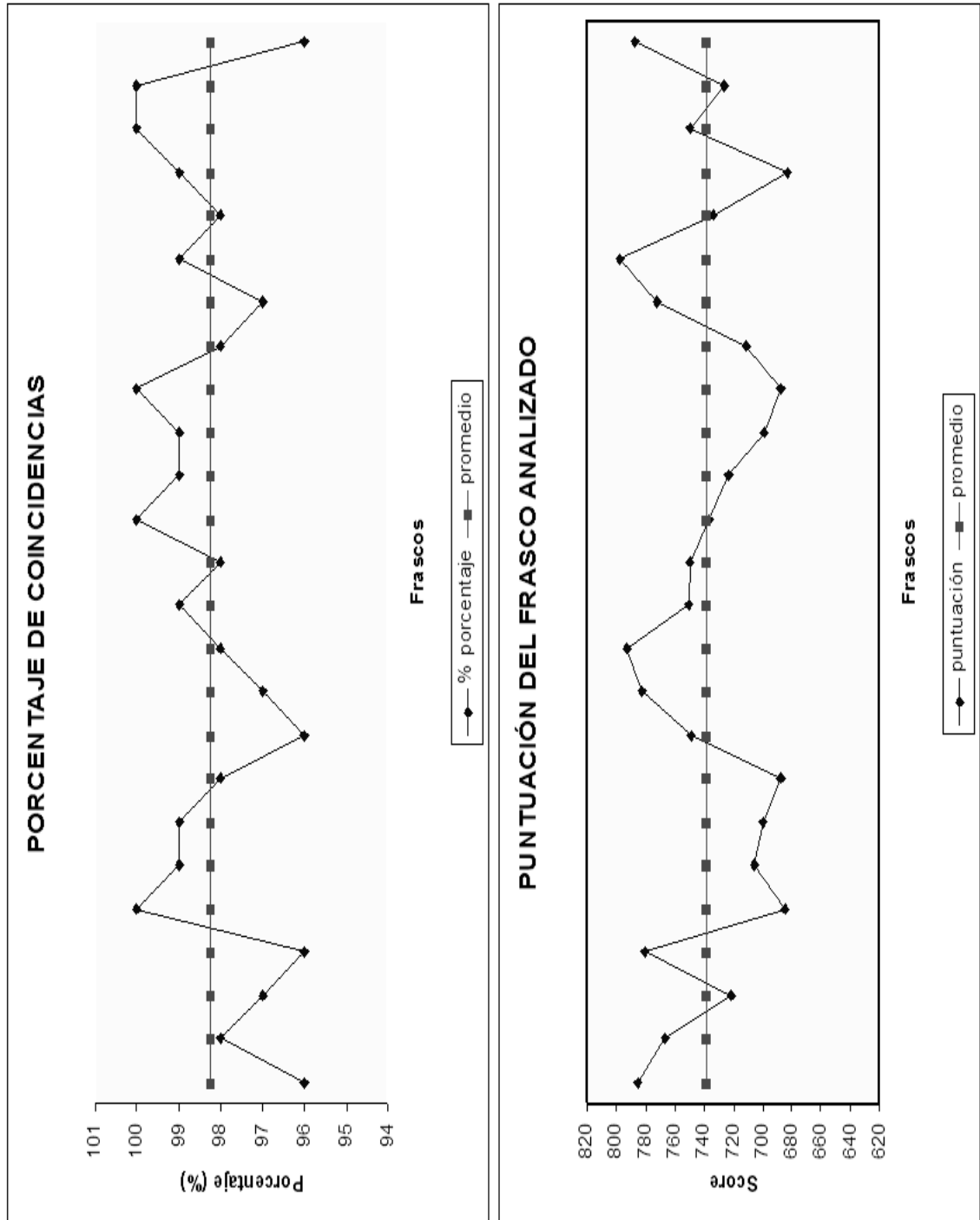


Figura 5.5 Muestreo de pruebas realizadas para frascos defectuosos

Para frascos defectuosos [Figura 5.5]:

- Porcentaje de coincidencia de la plantilla “no cumple”: Se refiere a la cantidad de aciertos que muestra el indicador “no hay tapa” del panel de control.
- Puntuación del frasco analizado: Es el puntaje asignado por el software con respecto a la calidad e la imagen analizada.

Para la obtención de datos se realizaron cincuenta pruebas en las cuales se equipararon las cifras estableciendo así, veinticinco pruebas para frascos defectuosos y veinticinco para frascos completos.

Se realizó un análisis muy básico pero fundamental a la hora de obtener conclusiones.

5.3 Análisis de resultados

- El valor central de los datos que se constituye el centro de gravedad de toda la distribución, representando a los valores observados para los frascos completos es de 98.64 % y de 98.24 % para los frascos defectuosos.

- La media aritmética nos permite resumir la tendencia central, es decir una única cifra que transmita la condición de un conjunto de datos, en ambos casos no se ha visto afectada por valores extremos obteniendo un óptimo resultado en cuanto a perfección en el proceso. Sin embargo cabe resaltar que los frascos sin tapa tuvieron un mayor grado de dificultad al ser analizados como lo indican los resultados.
- Sin embargo, el conocimiento de la forma de la distribución y de su respectivo promedio en la colección de los datos de las pruebas, puede servir para tener una idea bastante clara de su conformación, pero no de la homogeneidad de cada uno de los valores con respecto a la medida de tendencia central utilizada (media aritmética). Es posible calcular una medida que sintetice la dispersión de los datos y permita distinguirlos y compararlos. La medida más difundida es la desviación estándar que puede utilizarse para variables expresadas en escalas de intervalo o de proporción. Su valor cuantifica cuán distantes están los datos de la media aritmética.
- Para el cálculo de la desviación estándar utilizamos los desvíos, es decir la diferencia entre cada dato y la media, los desvíos positivos indican que el dato es mayor que la media y

los negativos que es menor. Obteniendo así un valor de 0.84 y 0.96 para frascos completos y defectuosos respectivamente.

- Los valores obtenidos nos permiten apreciar que los valores extremos se encuentran cerca de la media aritmética implicando que se ha tenido éxito en cuanto al desarrollo del proyecto dando una aproximación muy cercana del objetivo que se propuso.

CONCLUSIONES

El sistema de visión mediante el *PC* ofrece un aumento de productividad, robustez y fiabilidad, además de una alta eficiencia y la capacidad de realizar tareas de inspección más detalladas y sofisticadas.

Se ha desarrollado un sistema de visión artificial para el procesamiento y análisis de imágenes, integrando información proporcionada por sensores externos con la finalidad de controlar el movimiento de la banda transportadora y al brazo robótico en la tarea de inspección de frascos sin tapa. Para la realización de esta tarea se le adaptó al brazo una cámara como sensor principal del sistema de visión.

Como conclusión general, esta tesis cubre un conjunto de objetivos de investigación relacionados con la adquisición, la medida, la representación y el procesamiento de la información de color contenida en la imagen digital. La caracterización de los dispositivos de adquisición (cámaras) ha facilitado la determinación de las mejores condiciones de uso en aplicaciones colorimétricas.

El desarrollo de herramientas virtuales en *LabView* para el análisis, han permitido obtener de forma automática o semiautomática, medidas sobre pequeñas diferencias de color, realce de contornos y segmentación, relacionándolas con la respuesta que en operaciones similares proporciona la visión humana.

Su gran versatilidad y aplicabilidad ha demostrado su validez para realizar los controles de calidad en empresas desarrollando continuamente mejoras en la calidad de producción e incrementar así la competitividad. Se trata, por tanto, de una tecnología que combina las computadoras con las cámaras de video para adquirir, analizar e interpretar imágenes de una forma equivalente a la inspección visual humana, extendiéndose su uso además, en un amplio rango de sectores industriales para la automatización de tareas anteriormente reservadas para la inspección visual humana.

Las técnicas de visión artificial, como demuestra su gran uso en la industria, son particularmente apropiadas para la realización de trabajos visuales altamente repetitivos que sean fatigosos o difíciles de realizar para un operario, especialmente cuando este trabajo es ineficiente o costoso en términos económicos o temporales.

La tecnología aprendida durante el tópic y la integración de conocimientos de programación, diseño de circuitos electrónicos y fundamentos de automatización han permitido el desarrollo de un sistema de visión artificial para la detección de frascos sin tapas.

Los resultados obtenidos en la investigación llevada a cabo han cumplido satisfactoriamente los objetivos planteados como parte del proyecto, permitiendo que se escalable y se puedan desarrollar algunas aplicaciones en los ámbitos como la industria textil y farmacéutica en sistemas de control de calidad.

Consideramos que los resultados obtenidos en las aplicaciones son óptimos pero todavía preliminares, nuevas vías de trabajo se abren en ellas, para realizar en un futuro próximo, implicando un mayor número de pruebas, el análisis de más imágenes y la comparación de nuestros resultados con las valoraciones de expertos y especialistas, originando de esta forma una evolución y mejora de la aplicación de visión artificial creada.

RECOMENDACIONES

Durante la realización de pruebas y verificación del funcionamiento del prototipo se puede recomendar lo siguiente:

- No se debe mover la posición del armario que contiene la iluminación y la cámara, ya que está posicionado y orientado de manera exacta para tener un encuadre preciso del frasco a evaluar.
- No se debe tener la iluminación del armario encendida durante periodos muy elevados (2 o 3 horas en adelante), ya que la temperatura que puede llegar a adquirir el interior del armario puede ser muy elevada, pudiendo así causar algún tipo de daño a la tarjeta controladora del brazo robótico e inclusive a la cámara.
- Se debe tener cuidado con la conexión de los dispositivos eléctricos que forman parte del proyecto, ya que se puede soltar algún cable de alguna regleta e impedir que el sistema funcione correctamente.
- Se debe conservar los frascos en un lugar que no sufran demasiado deterioro, ya que patrones de comparaciones guardados pueden diferir de la inspección real si ha existido algún golpe o desperfecto e alguno de los componentes.

Se recomienda además el uso de DSPIC como un microcontrolador muy eficiente que realiza un buen desempeño como tal, así como también, el uso de *LabView* como una herramienta muy sencilla para el manejo del usuario aplicada para el control de sistemas de control.

BIBLIOGRAFIA

- [1] <http://es.wikipedia.org/wiki/Automatizaci%C3%B3n>
Automatización Industrial
- [2] http://www.inaut.unsj.edu.ar/Files/Cc1042_96.pdf
Diseño de un sistema de inspección visual.
- [3] <http://www.ni.com/labview/esa/>
Definición de Labview.- Características.
- [4] <http://es.wikipedia.org/wiki/Envase>
Generalidades de los envases.
- [5] <http://es.wikipedia.org/wiki/Botella>
Generalidades de las botellas.
- [6] Programación en LabView. Programación en lenguaje “G”. Tipos de datos simples y complejos. Estructuras de control de flujo. Trabajo con ficheros, trabajo con tarjetas de adquisición de datos, puerto serio y paralelo, TCP-IP y DDE. Monografía elaborada por Dr. Valery Moreno Vega y Msc. Adel Fernández Prieto. Abril 2005.
- [7] http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/gerardo_r_m/capitulo_2.html#

LabVIEW 7 Express y herramientas de adquisición de datos de National Instruments

- [8] <http://www.ni.com/vision/software.htm#software>
Software de Visión de National Instruments.
- [9] <http://www.ni.com/vision/vdm.htm>
Módulo de Desarrollo de Visión de National Instruments - Vision Development Module.
- [10] <http://www.ni.com>
Tutorial del Asistente de Vision. National Instruments. Febrero 2007.
- [11] <http://www.ni.com>
Manual de usuario de NI-IMAQ. June 2004.
- [12] <http://sine.ni.com/nilex/DisplayLinkAction.do?id=163NILEX>
Modulo de Adquisición de Imágenes para cámaras USB (NI-IMAQ).
- [13] Vicente Peña, Luis Paucar, " Diseño de dos bandas transportadoras de 100x10 cm y dos de 30x10 cm con motores controlados pos DSPIC", Proyecto de Tópico de Graduación, 2008.
- [14] Gabriela Sánchez, Carlos Alvarado, ""Diseño de Brazo Robótico y Diseño de Brazo Empuja Frascos Controlados por LabVIEW y DSPICs" Proyecto de Tópico de Graduación, 2008.
- [15] http://www.datasheetcatalog.net/es/datasheets_pdf/Q/R/B/1/QRB1133.shtml
Sensores Reflexivos del Objeto

- [16] <http://zone.ni.com/devzone/cda/epd/p/id/5548>
Función “Reconocimiento de patrones a color”. Color Pattern Matching.
- [17] <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/3470#toc2>
Procesamiento y análisis de imágenes utilizando el software de visión de National Instruments.
- [18] <http://www.ni.com>
Guía de usuario de NI-IMAQ para cámaras USB. Enero 2005.
- [19] <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/2887#toc2>
Región de interés ROI.
- [20] <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/D04C5EF569F1023686256F4100558E7F>
Funciones IMAQ de superposición en una imagen
- [21] <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/3763>
Estrategias para el reconocimiento de patrones utilizando el software de visión de National Instruments.
- [22] <http://html.rincondelvago.com/rodillos-y-cintas-transportadoras.html>
Funcionamiento de una Banda Transportadora
- [23] http://www.genius-kye.com/pdf/webcam_camera_april07.pdf
Características de la Webcam EYE 110
- [24] http://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_por_ancho_de_pulsos
Modulación por ancho de pulso de una señal

ANEXO A

Tabla Comparativa de Lenguajes de Programación

Características	LabVIEW	ANSI C	Visual Studio
Programación	Ambiente de programación gráfica intuitivo y fácil de usar, específicamente diseñado para el uso de científicos	Lenguaje de programación textual de propósito general. Generalmente requiere un nivel avanzado de conocimiento para	Lenguaje de programación textual de propósito general. Generalmente requiere de un nivel avanzado de

	e ingenieros. Incluye herramientas para diferentes niveles de experiencia.	desarrollar aplicaciones medianamente complejas.	programación para desarrollar aplicaciones medianamente complejas.
Compatibilidad con Versiones Anteriores	Capacidad para abrir aplicaciones desarrolladas en versiones anteriores del ambiente de desarrollo (LabVIEW), desde versiones futuras, sin problemas de compatibilidad. La actualización de la aplicación se efectúa de manera interna.	No ha cambiado durante mucho tiempo. La compatibilidad con versiones anteriores no es un problema.	Visual Basic 6.0 y .NET tienen diferentes conjuntos de instrucciones. La actualización de aplicaciones de VB 6.0 a VB .NET requiere la modificación manual del código fuente y el cambio de instrucciones que son diferentes.

<p>Interfaz Basada en Proyecto</p>	<p>(A partir de LabVIEW 8) Ventana de proyecto que permite al usuario visualizar el código fuente, organizar el código en carpetas, agregar archivos de documentación, e integrar con aplicaciones de control de código fuente.</p>	<p>Sólo algunos compiladores incluyen una ventana de Proyecto, que puede incluir una vista del código fuente, integración con aplicaciones para control de código fuente, y archivos de documentación. No incluye una vista de los diferentes dispositivos de ejecución adicionales.</p>	<p>Incluye una ventana de Proyecto, que permite al usuario visualizar el código fuente, organizar el código en carpetas, e integrar con aplicaciones de control de código fuente. No incluye una vista de los diferentes dispositivos de ejecución adicionales o tareas de adquisición de datos.</p>
<p>UI</p>	<p>Incluye elementos gráficos de la interfaz del</p>	<p>No incluye una forma nativa de desplegar</p>	<p>Incluye elementos de la interfaz del usuario de</p>

	<p>usuario específicamente científicos e ingenieriles para desplegar de manera precisas información clave al usuario, como gráficas en 2D y 3D, tablas, botones, perillas, termómetros, tanques, etc</p>	<p>información gráficamente. Basado principalmente en interacción a través de la consola. La implementación de elementos gráficos es un proceso elaborado.</p>	<p>propósito general, como cajas de texto o botones, pero no incluye de manera nativa elementos científicos o ingenieriles.</p>
<p>Entradas y Salidas a Hardware</p>	<p>Configuración basada en tecnología que permite al usuario adquirir datos sin necesidad de programar. Para usuarios avanzados, incluye funciones</p>	<p>Necesidad de incluir de manera manual las librerías o DLLs necesarios para comunicarse con el hardware. Requiere de conocimiento de las</p>	<p>Necesidad de incluir de manera manual las librerías o DLLs requeridos para comunicarse con el hardware. Requiere de</p>

	<p>poderosas de alto nivel que permiten control total sobre las operaciones de adquisición de datos.</p>	<p>llamadas de funciones para configurar y leer/escribir al dispositivo.</p>	<p>conocimiento de las llamadas de funciones para configurar y leer/escribir al dispositivo.</p>
<p>Análisis y Procesamiento de Señales</p>	<p>Funciones de análisis incluidas fáciles de usar. Incluye más de 400 funciones, como análisis en el dominio de la frecuencia y el tiempo, generación de señales, matemáticas, ajuste de curvas, filtrado, álgebra lineal e interpolación.</p>	<p>Incluye solamente funciones matemáticas de propósito general (como funciones trigonométricas). Requiere de implementación manual o compra de las funciones avanzadas de matemáticas y análisis.</p>	<p>Incluye solamente funciones matemáticas de propósito general (como funciones trigonométricas). Requiere de implementación manual o compra de las funciones avanzadas de matemáticas y análisis.</p>

<p>Comunicación con Aplicaciones Externas</p>	<p>Funcionalidad optimizada para comunicarse con aplicaciones de terceros a través de diferentes mecanismos, como DLLs, ActiveX, .NET, TCP/IP, entre otros.</p>	<p>Capacidad para comunicarse con otras aplicaciones a través de DLLs, ActiveX, .NET, TCP/IP u OPC.</p>	<p>Capacidad para comunicarse con otras aplicaciones a través de DLLs, ActiveX, .NET, TCP/IP, u OPC.</p>
<p>Soporte Técnico</p>	<p>Soporte técnico de clase mundial vía correo electrónico o teléfono. Sitio Web con documentos de soporte, tutoriales y artículos.</p>	<p>Soporte principalmente a través de publicaciones impresas (como libros o revistas), o por medio de foros de discusión y de</p>	<p>Soporte principalmente a través de publicaciones impresas (como libros o revistas) o mediante foros de discusión y noticias en Internet.</p>

	Comunidad de usuarios a través de los Foros de Discusión.	noticias en Internet.	Acceso soporte de Microsoft a través del correo o teléfono.
--	--	------------------------------	--

ANEXO B

Tabla comparativa entre Vision Builder y Vision Development

Comparación de NI Vision Software		
	Vision Assistant for Automated Inspection	Vision Development Module
Adquisición de imágenes		

One-shot acquisition	X	X
Continuous acquisition	X	X
Camera configuration	X	X
Full frame-rate display	X	X
Save images to	X	X

disk		
Procesamiento de imágenes		
Image manipulation tools	X	X
Image filters	X	X
Image segmentation	X	X

Machine Vision		
Fourier analysis		X
Particle analysis	X	X
Edge detection	X	X
Shape detection		X

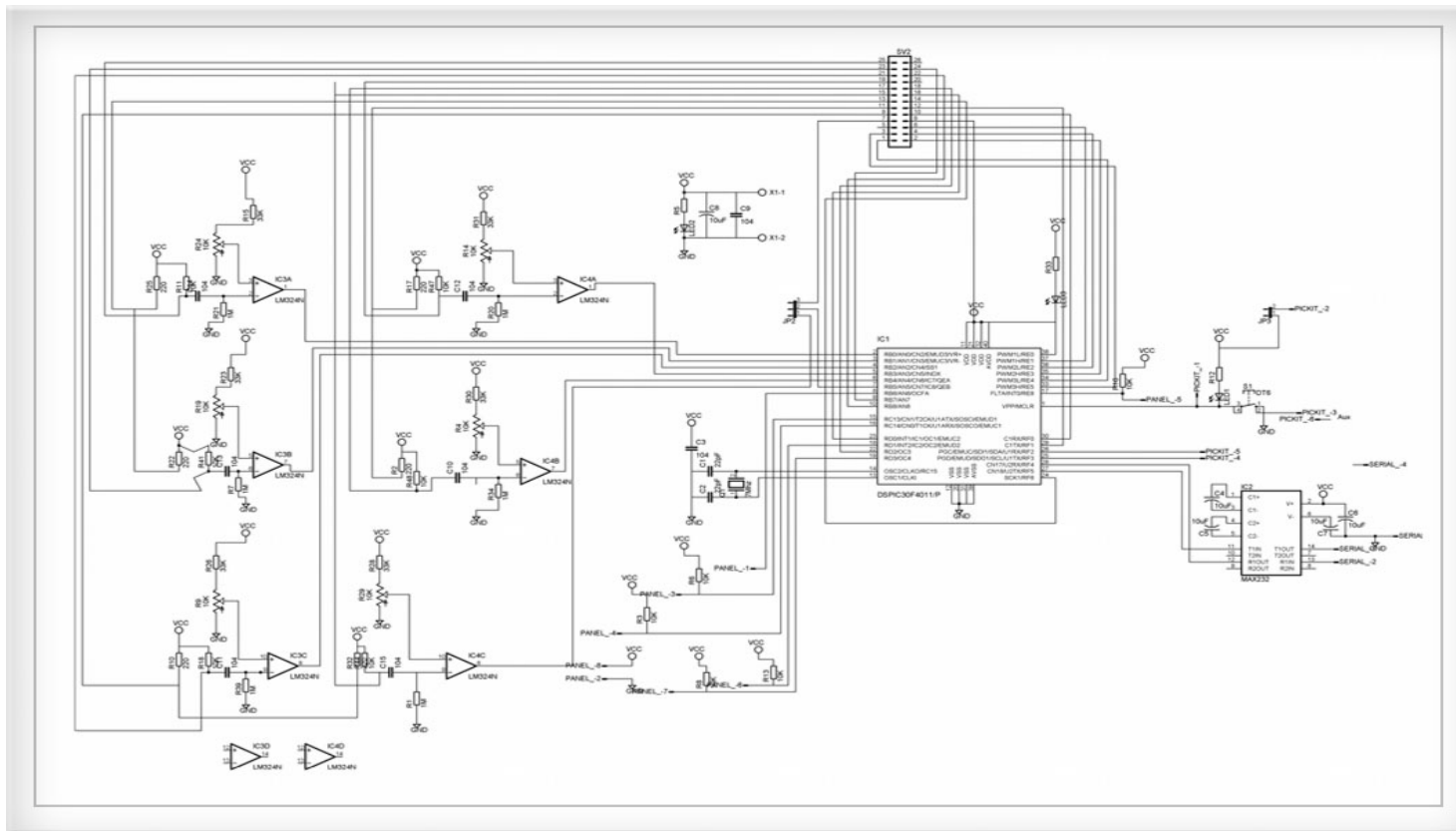
Pattern matching	X	X
Geometric matching	X	X
Color matching	X	X
Color pattern matching	X	X
Golden template comparison		X
Object	X	X

classification		
1D barcode readers	X	X
Herramientas de Visión		
LabVIEW VI generation	X	X
C code generation		X

Visual Basic code generation		X
Data acquisition integration		X

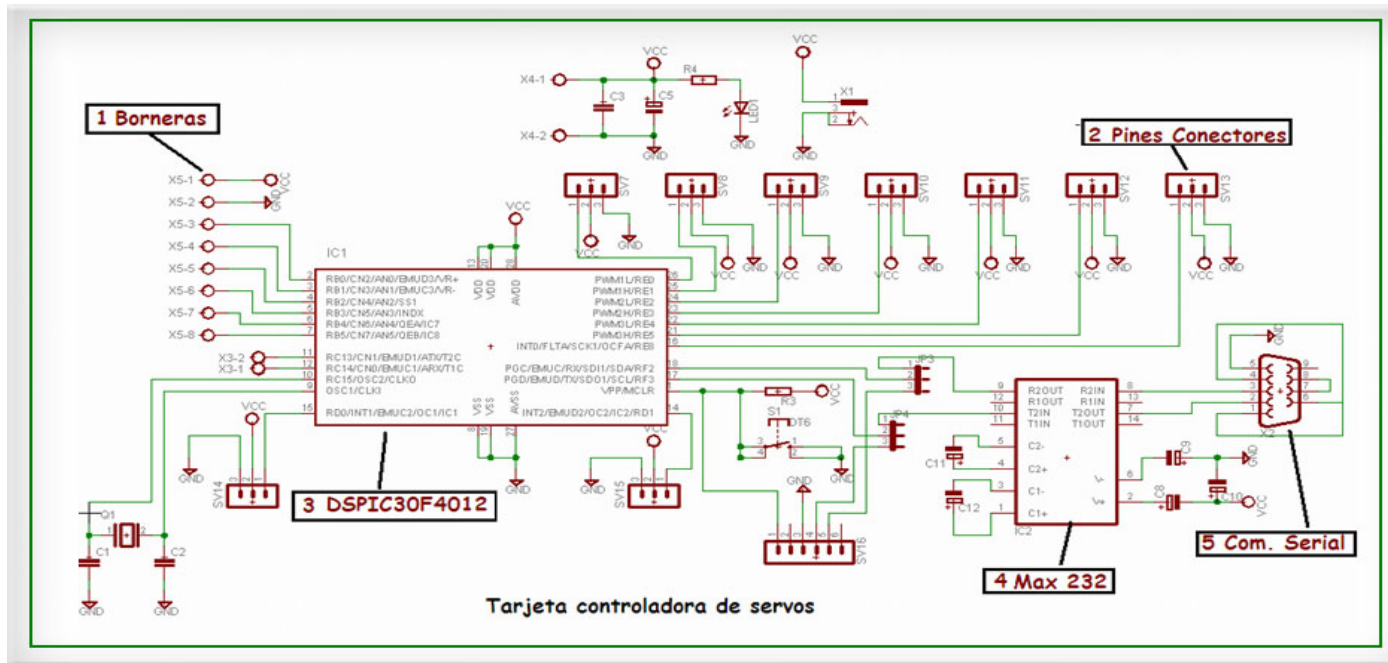
ANEXO C

Tarjeta Controladora de la banda transportadora



ANEXO D

Tarjeta Controladora de Servomotores



ANEXO E

Especificaciones técnicas - fuente de alimentación

POWER SUPPLY / TAIWAN	
Modelo No:	A2M4017
Input:	120 VAC / 60Hz - 25W / 0,2 A
Output:	15VDC - 1,2 A - 18W

ANEXO F

Sensor QRB1133- Especificaciones eléctricas

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$)						
PARAMETER	TEST CONDITIONS	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNITS
EMITTER						
Forward Voltage	$I_F = 40 \text{ mA}$	V_F	—	—	1.7	V
Reverse Current	$V_R = 2.0 \text{ V}$	I_R	—	—	100	μA
Peak Emission Wavelength	$I_F = 20 \text{ mA}$	λ_{PE}	—	940	—	nm
SENSOR						
Collector-Emitter Breakdown Voltage	$I_C = 1 \text{ mA}$	BV_{CEO}	30	—	—	V
Emitter-Collector Breakdown Voltage	$I_E = 0.1 \text{ mA}$	BV_{ECO}	5	—	—	V
Collector-Emitter Dark Current	$V_{CE} = 10 \text{ V}, I_F = 0 \text{ mA}$	I_{CEO}	—	—	100	nA
COUPLED						
On-state Collector Current QRB1133	$I_F = 40 \text{ mA}, V_{CE} = 5 \text{ V}$ $D = .150^{(5,6)}$	$I_{C(ON)}$	0.20	—	—	mA
QRB1134			0.60	—	—	
Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_F = 20 \text{ mA}, I_C = 0.5 \text{ mA}$	$V_{CE(SAT)}$	—	—	0.4	V
Rise Time	$V_{CE} = 5 \text{ V}, R_L = 100 \Omega$ $I_{C(ON)} = 5 \text{ mA}$	t_r	—	8	—	μs
Fall Time		t_f	—	8	—	
Cross Talk	$I_F = 40 \text{ mA}, V_{CE} = 5 \text{ V}^{(7)}$	I_{CX}	—	—	1.00	μA

ANEXO G

Servo HITEC HS422- Especificaciones técnicas

Servo Hitec HS422	
Sistema de Control	Control por Anchura de Pulso. 1,5 ms al centro
Tensión de funcionamiento	4,8V a 6 V
Velocidad a 6V	0,16 Seg /60 grados sin carga
Fuerza a 6V	4,1 Kg · cm
Corriente en reposo	8 mA
Corriente funcionamiento en	150 mA sin carga
Corriente Máxima	1100 mA
Zona Neutra	8 µsec
Rango Trabajo	1100 a 1900 µsec
Dimensiones	40,6 x 19,8 x 36,6 mm
Peso	45,5 g
Rodamiento Principal	Metálico
Engranajes	Plástico
Longitud del cable	300 mm

ANEXO H









Características físicas del frasco modelo

Características Físicas del Frasco Modelo	
Tapa	
Altura	2,2 cm
Diametro	1,1 cm
Detalle	Tapa rosca color blanco
Frasco	
Diametro Superior	1,8 cm
Diametro Inferior	4,2 cm
Altura	10,4 cm
Detalle	Color transparente



ANEXO I

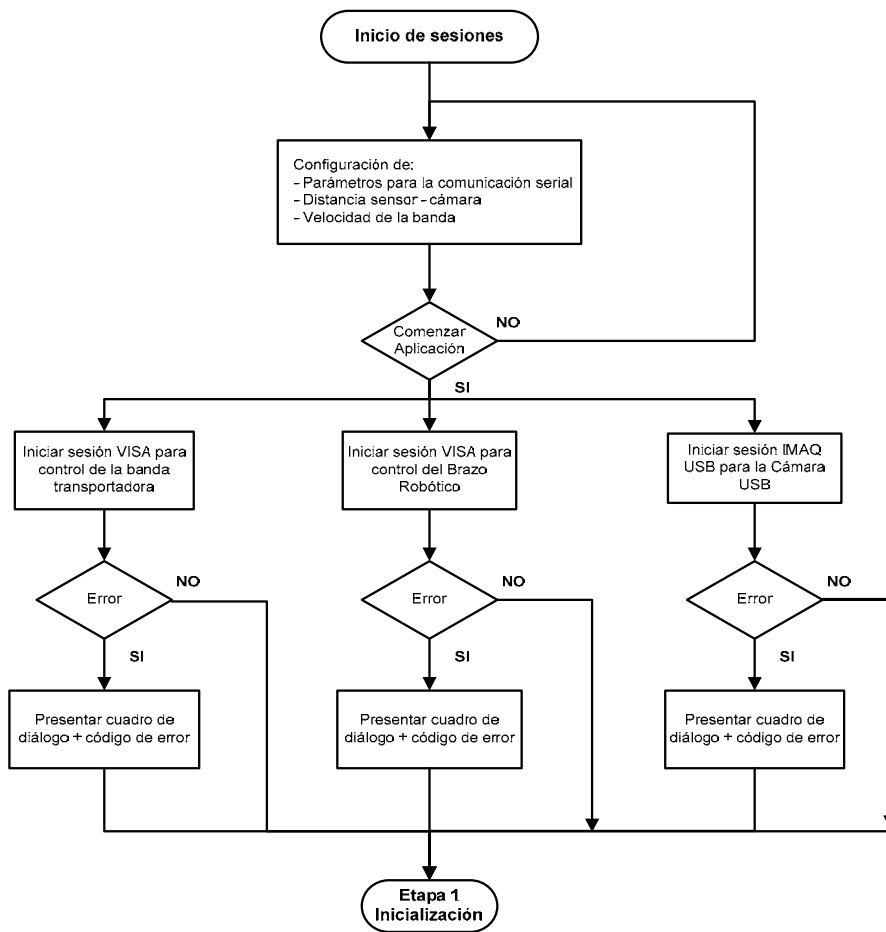
Estructura de los *Cluster* de error

ESTRUCTURA DE UN CLUSTER DE ERROR		
SIMBOLO	INDICADOR	DESCRIPCION
	ERROR DE ENTRADA	Describe el estado de error antes de que la función o VI sea ejecutado, si ocurre un error previo a la ejecución de la instrucción, esta no se ejecutara y simplemente la información del error pasara hacia la salida de error. En caso de que no se haya producido algún error, entonces el procedimiento se ejecuta normalmente y establece su propia condición de error en la salida.
	VERDADERO	Se activa este estado si se ha producido un error antes de que la instrucción sea llamada.
	CODIGO	Número de identificación de un error o de alerta.
	FUENTE	Cadena de caracteres que indica el origen del error, si los hubiere. Por lo general la fuente es el nombre del VI en el que se ha producido un error
	ERROR DE SALIDA	Describe el estado de error después de que se ejecuta una instrucción. Si se ha producido un error antes de que el VI o función fuera llamado, el error de salida es el mismo que el de entrada. En caso contrario, se muestra el mensaje de error, si se produce alguno durante la ejecución de la instrucción
	VERDADERO	Se activa este estado si se ha producido un error durante la ejecución de la instrucción llamada
	CODIGO	Número de identificación de un error o de alerta.
	FUENTE	Cadena de caracteres que indica el origen del error, si los hubiere. Por lo general la fuente es el nombre del VI en el que se ha producido un error

ANEXO J

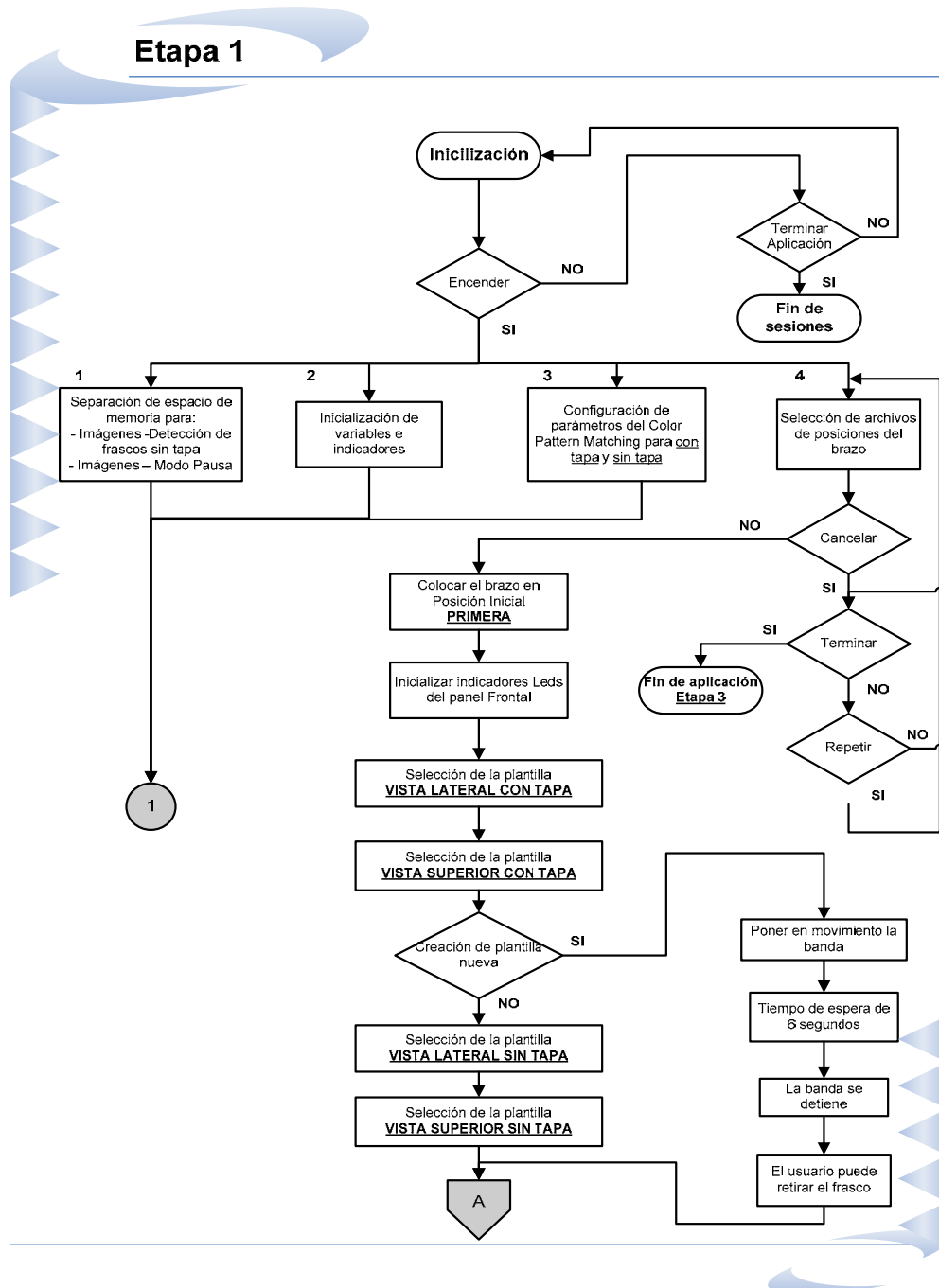
Diagrama de flujo – Inicio de Sesiones

Inicio de Sesiones

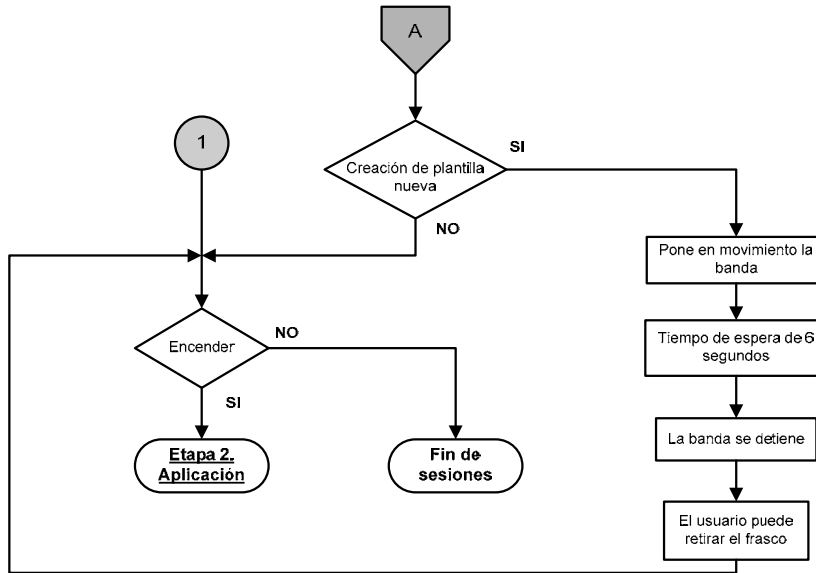


ANEXO K

Diagrama de flujo – Inicio de Sesiones

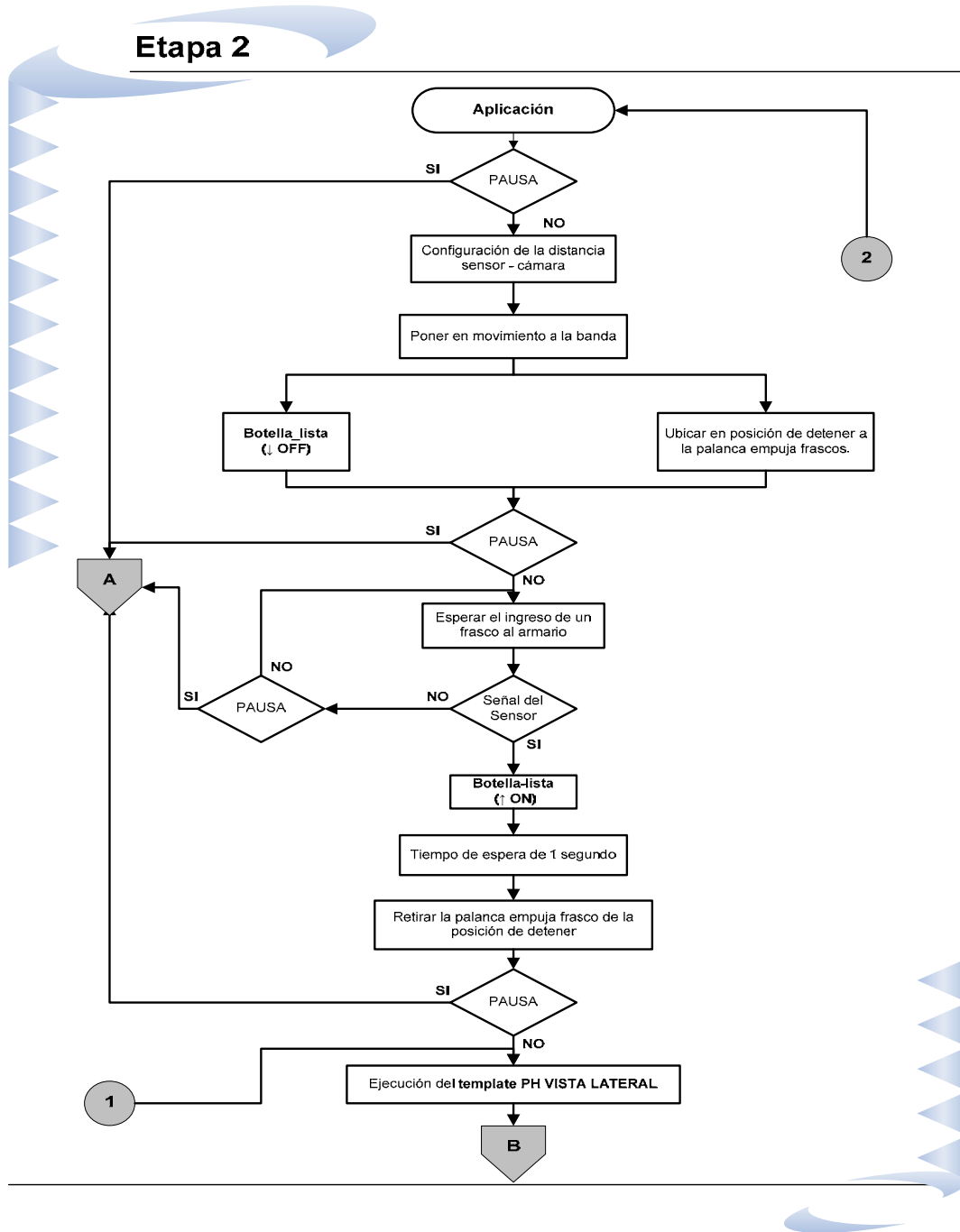


Etapa 1

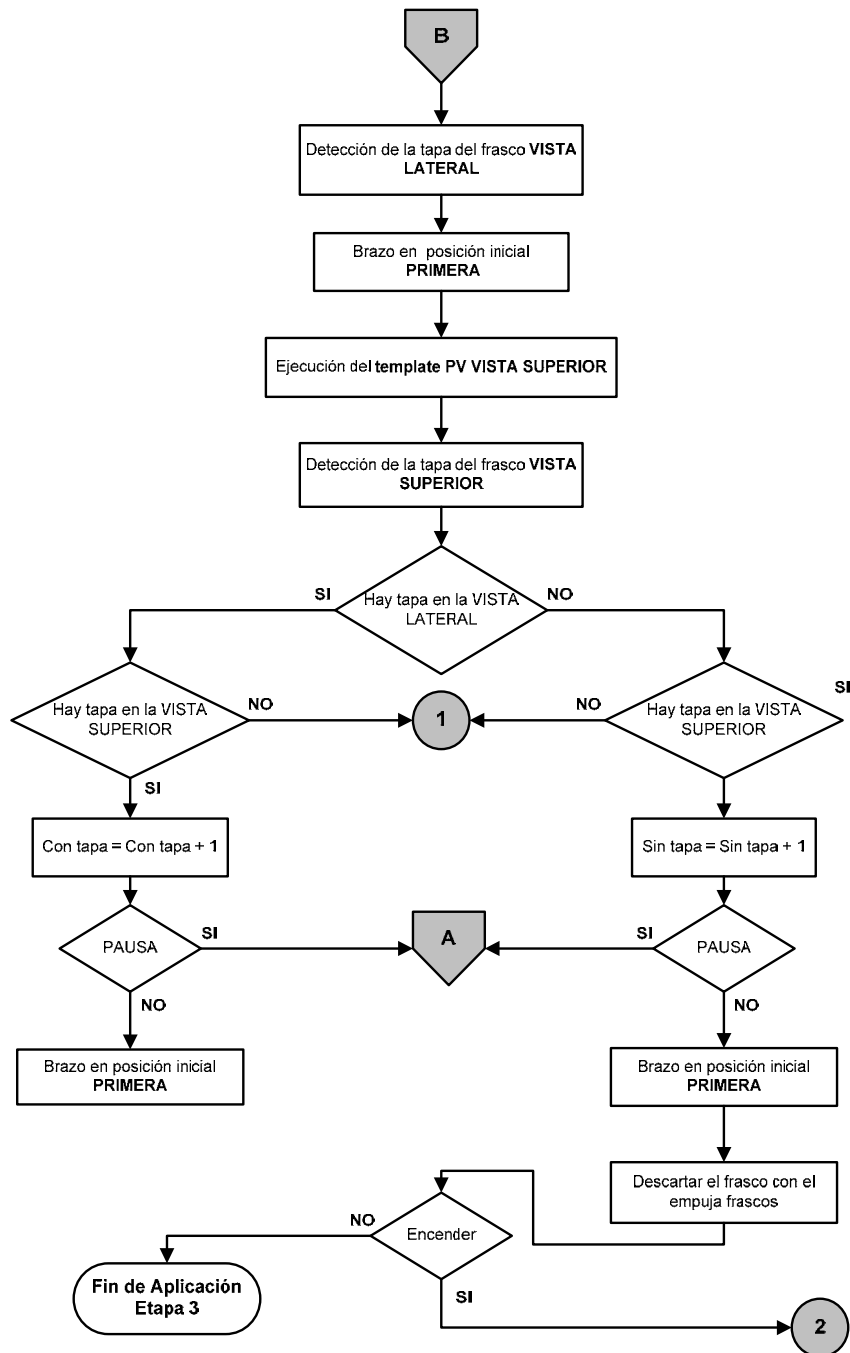


ANEXO L

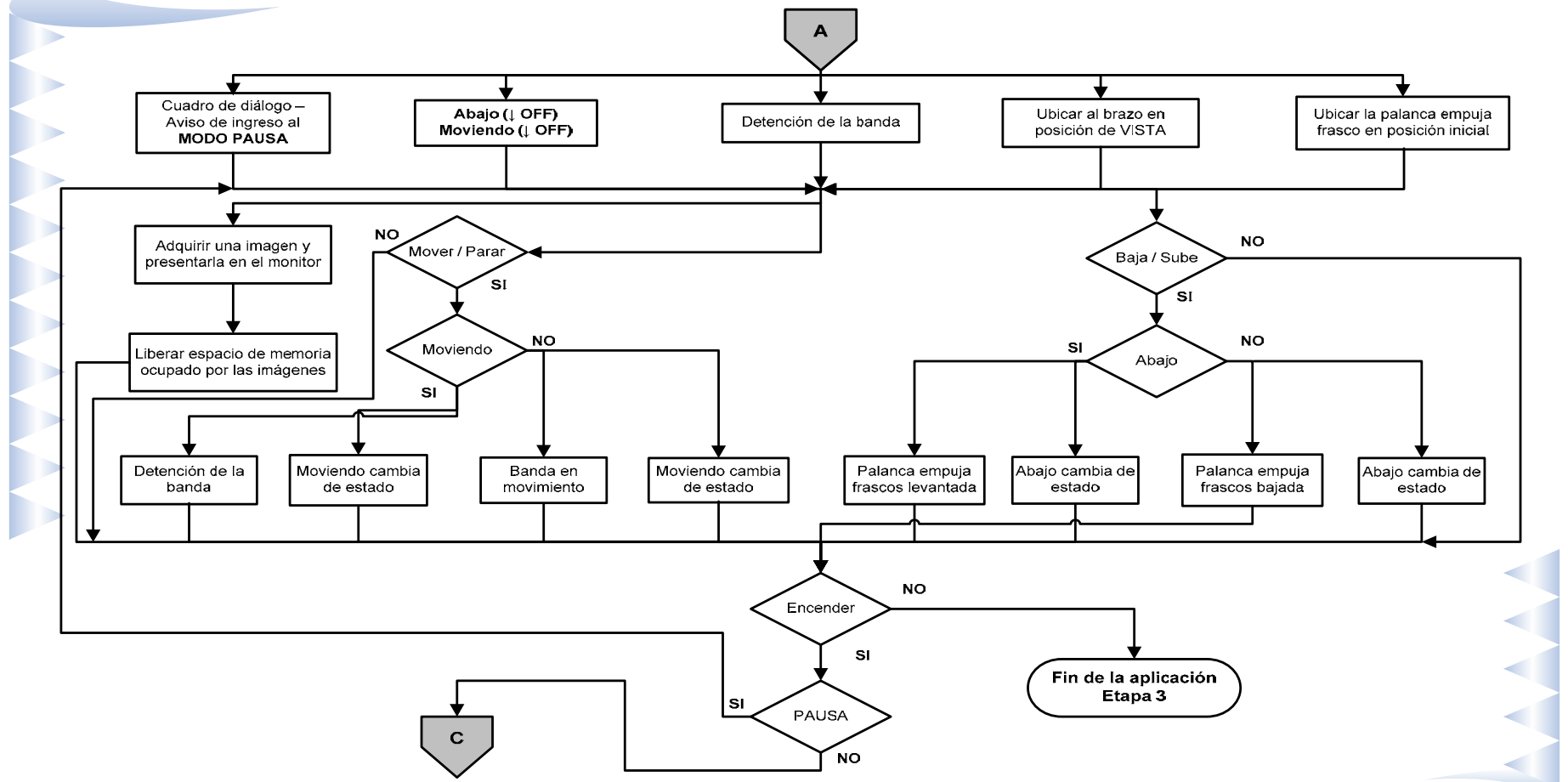
Diagrama de flujo – Etapa de Aplicación



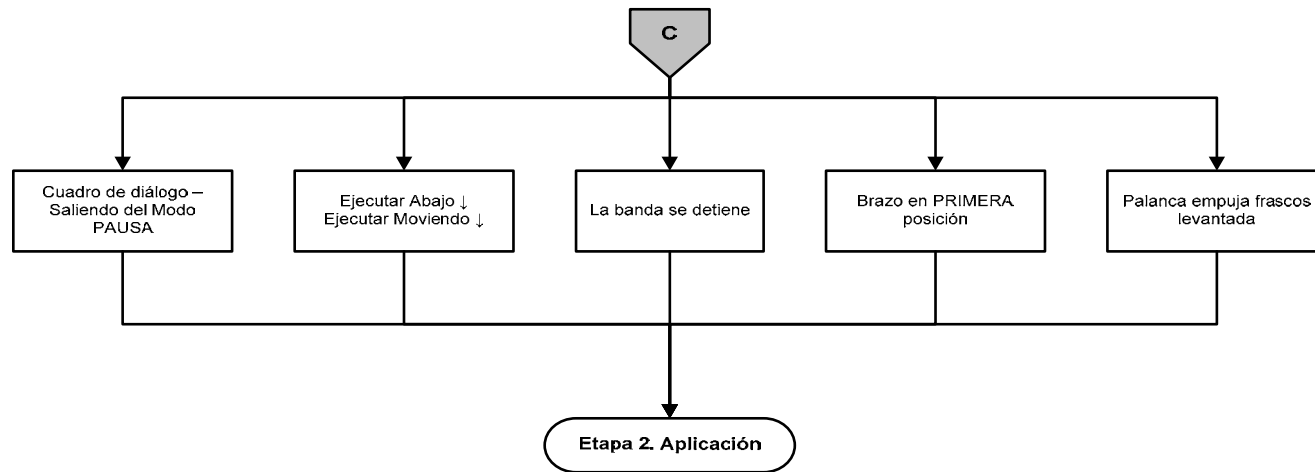
Etapa 2



Etapa 2

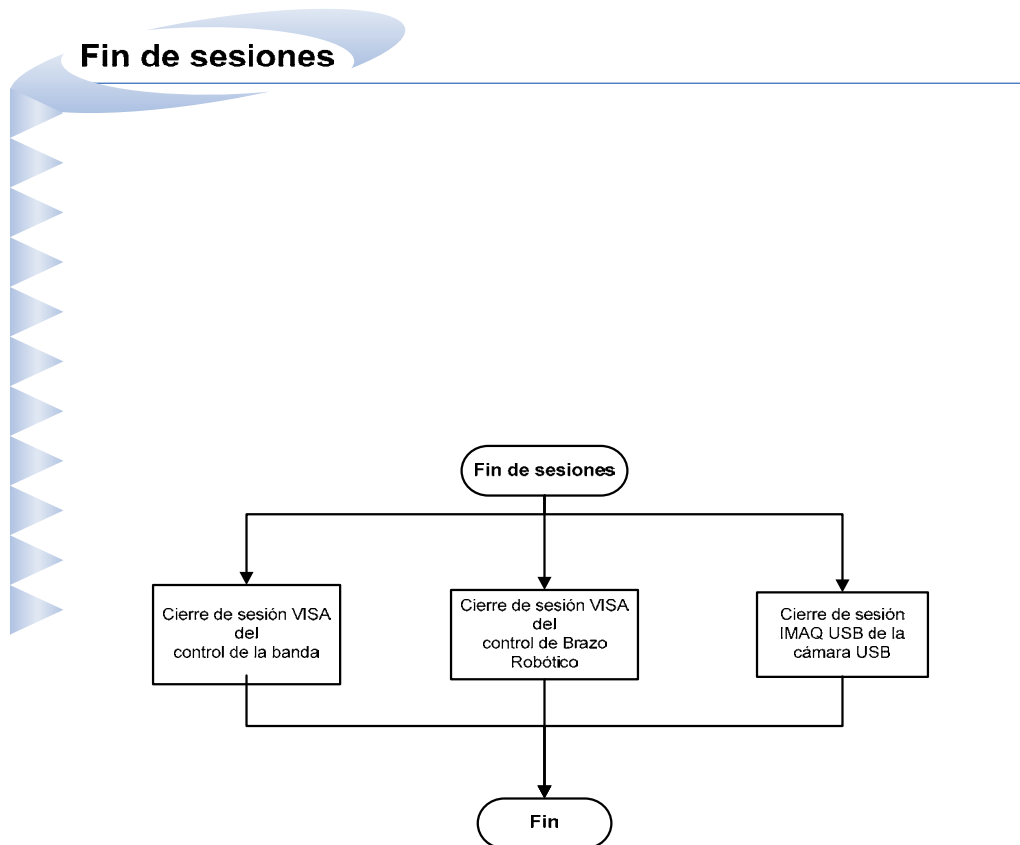


Etapa 2



ANEXO M

Diagrama de flujo – Fin de sesiones



ANEXO N

Diagrama de flujo – SubVI Inicio

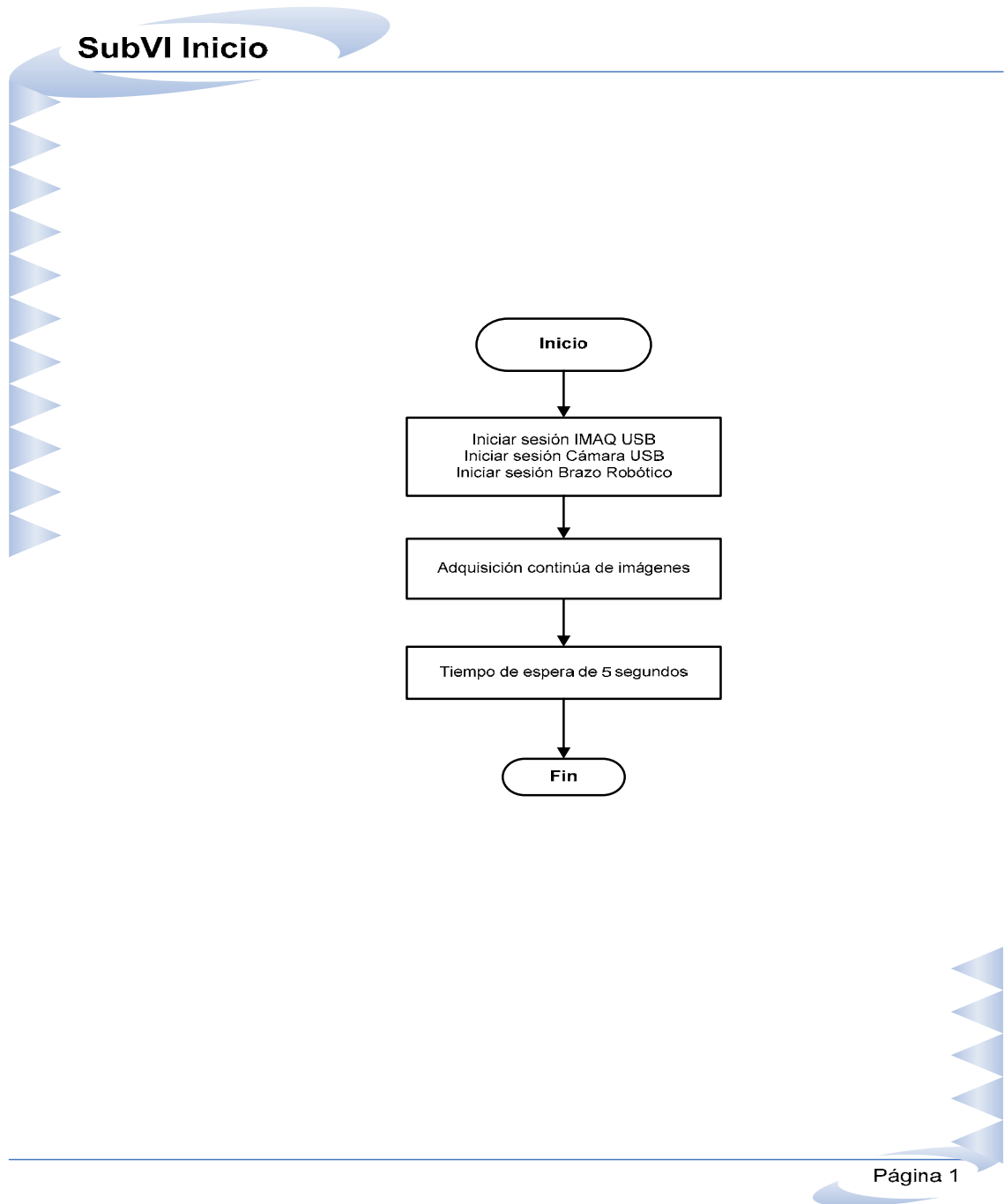


Diagrama de flujo – SubVI Posición

Botella

SubVI Posición_botella

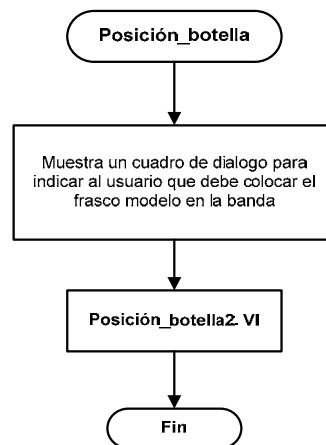


Diagrama de flujo – SubVI Posición Botella 2

SubVI Posición_botella 2

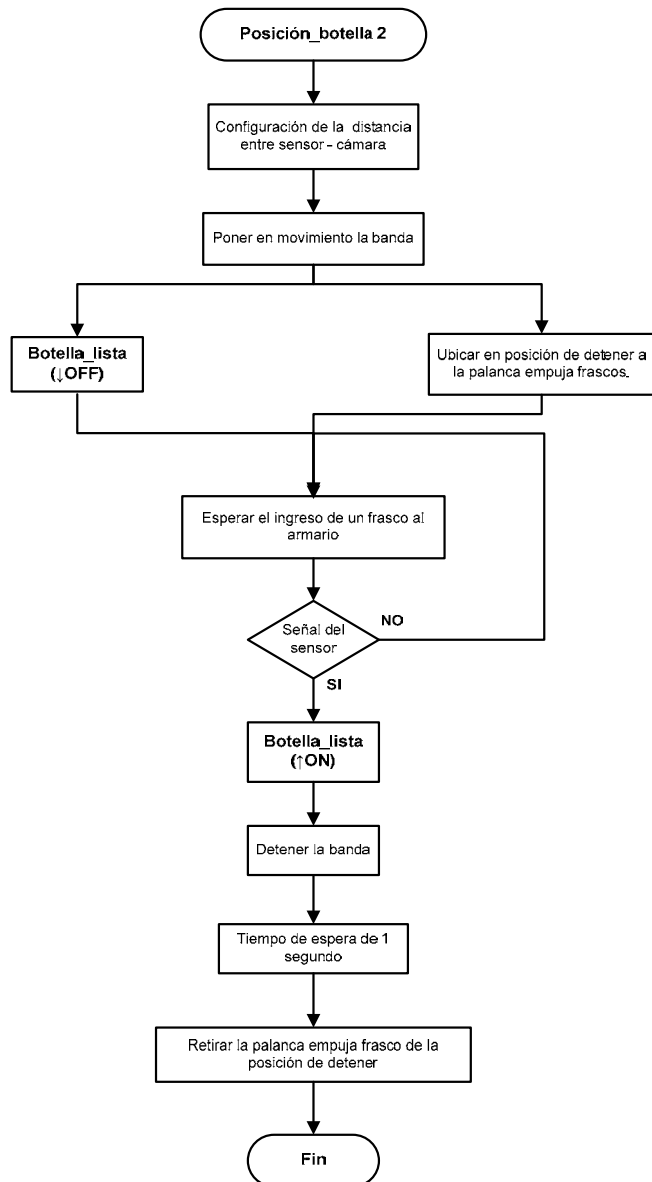


Diagrama de flujo – SubVi Crear Template

SubVI Crear_plantilla

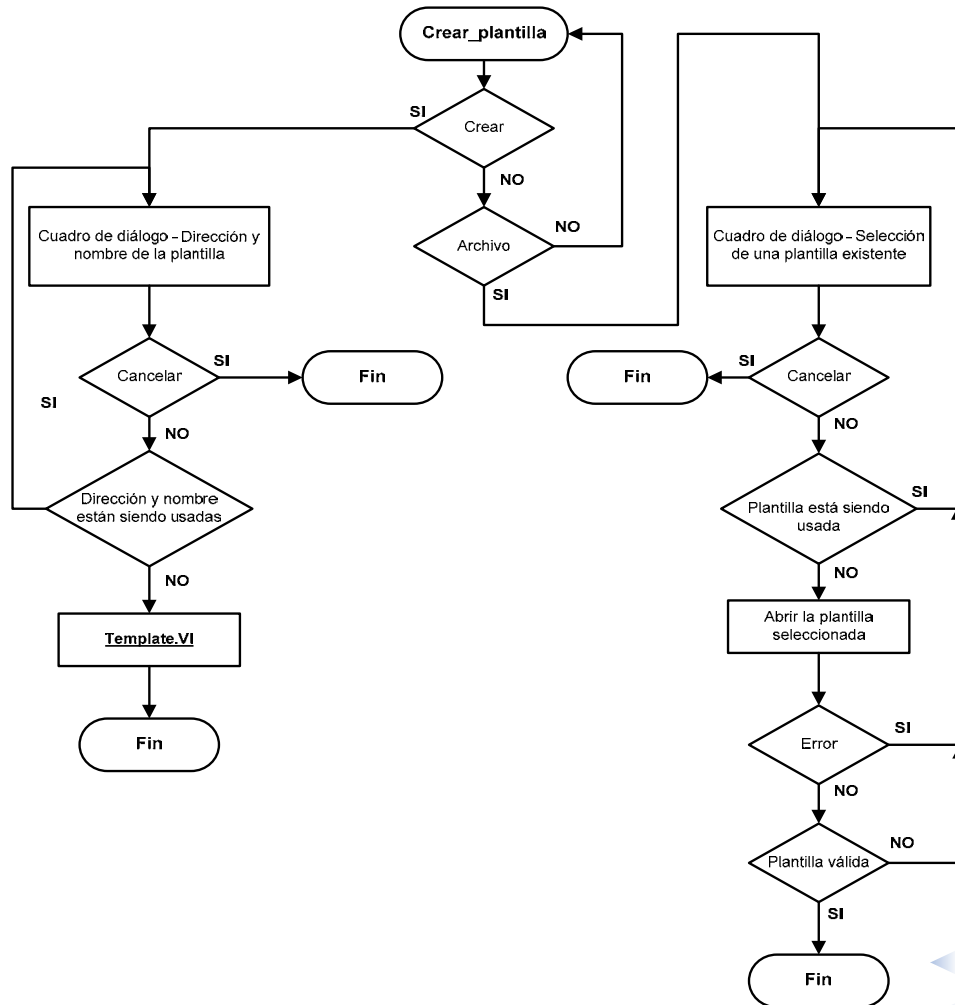


Diagrama de flujo – SubVi Comprobación

SubVI Comprobación

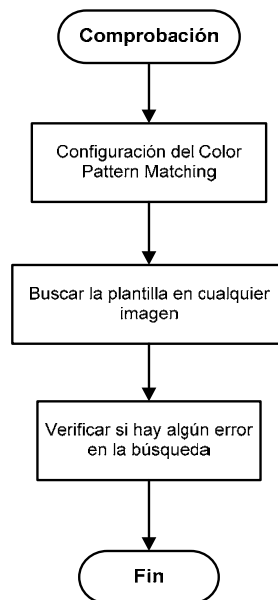


Diagrama de flujo – SubVI Template

SubVI Template

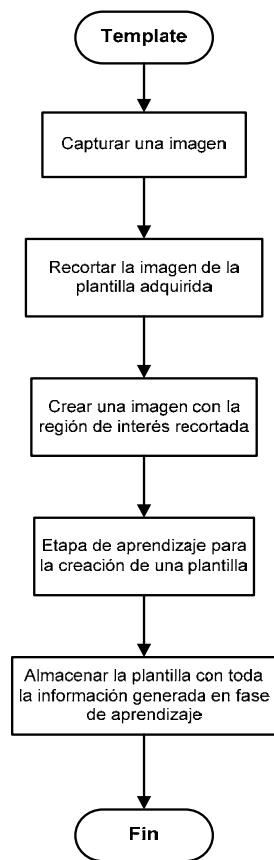


Diagrama de flujo – SubVI Comparar sin tapa

SubVI Comparar_sin_tapa

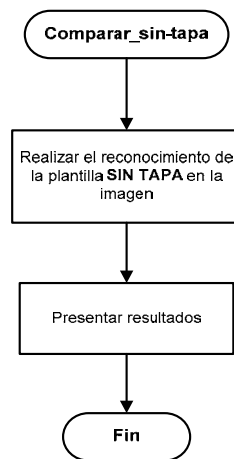
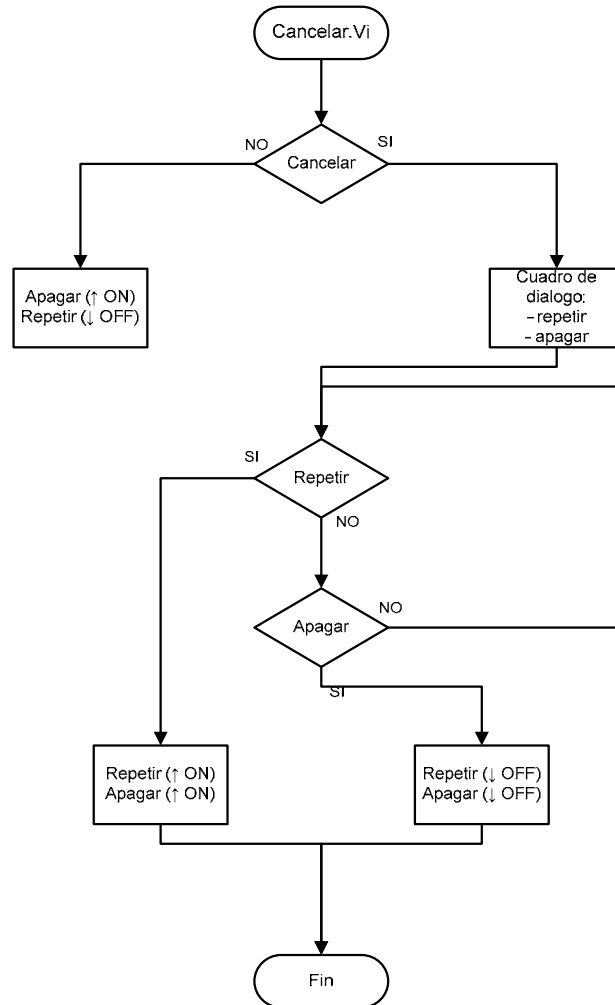


Diagrama de flujo – SubVi Cancelar

SubVi Cancelar



ANEXO O

Detalle de Costos de la banda transportadora

TARJETA CONTROLADORA CON DSPIC

CANTIDAD	ELEMENTO	P. UNIT.	TOTAL
1	Programador PicKit 2	75.00	75.00
1	Construcción tarjeta PCB doble cara 10cm x11cm	25.00	25.00
1	Adaptador USB a serial	24.00	24.00
1	C.I. dsPic30F4011	18.00	12.00
2	C.I. LM324	2.50	5.00
1	C.I. MAX232	6.00	6.00
1	Cristal de 7 Mhz	5.00	5.00
2	Capacitor 22pF/25V	0.30	0.60
8	Capacitor 100nF/25V	0.30	2.40
5	Capacitor 10uF/ 25V	0.40	2.00
3	Leds	0.20	0.60
1	Bornera de 2 servicios	0.30	0.30
1	Pin conector DB25	2.00	2.00
1	Conector macho DB25	1.00	1.00
1	Conector macho DB9	1.00	1.00
2	Jumper	0.05	0.10
6	Potenciómetro 10 K Ω / ½ W	0.50	5.00
6	Resistencia de 1M Ω / ¼ W	0.05	0.05
6	Resistencia 33K Ω / ¼ W,	0.05	0.30
11	Resistencia de 10k Ω / ¼ W	0.05	0.55
9	Resistencia 220 Ω / ¼ W,	0.05	0.45
1	Base socket 14 pines	0.20	0.20
2	Base socket 16 pines	0.20	0.40
1	Base socket 40 pines	0.40	0.40
1	Socket 8 pines	0.20	0.20
1	Socket 6 pines	0.20	0.20
1	Socket 4 pines	0.20	0.20
1	Pulsador	0.30	0.30
4	Bases con tomillos	0.05	0.20
	TOTAL		\$ 170.45

ESTRUCTURA MÉCANICA

UNIDAD,	ELEMENTO	P, UNITARIO,	TOTAL
16	Rulimanes 3/8"x 1"	2.00	32.00
3	Canaletas plasticas	5.00	5.00
1	Plancha acrílico	12.00	12.00
1	Juego de ruedas	3.00	3.00
3	Metro de malla ranurada plástica	2.00	6.00
2	Paquete masilla epóxica	7.18	7.18
1	Tomillos, pernos, tuercas varias medidas	4.96	4.96
2	Cintas: aislante/ papel	1.00	2.00
2	Tarro spray negro	5.00	10.00
1	Paquete hojas sierra para caladora	2.41	2.41
1	Paquete x100 remaches	2.92	2.92
1	Juego brocas	12.00	12.00
1	Costos mano obra fabricación	90.00	90.00
1	Servicios adicionales (fabricación de bocines, soldadura eléctrica y autógena)	32.00	32.00
1	Adhesivo UHU	3.00	3.00
2	Adhesivo cianoacrilato	0.50	1.00
	TOTAL		\$ 225.47

COMPONENTES DE CONTROL

CANTIDAD	ELEMENTO	P. UNIT.	TOTAL
4	Motores DC con reductor	30.00	120.00
4	Tarjetas de control de motor DC	49.00	196.00
1	Encoder KOYO serie E5 1024 PPR	60.00	60.00
5	Sensores reflex QRB1134	5.00	25.00
1	Webcam	15.00	15.00
2	Pulsadores	2.00	4.00
1	Selector 3 posiciones	3.50	3.50
1	Luz piloto led	2.00	2.00
1	Potenciómetro 10K	0.50	0.50
1	Regleta con fusible	4.00	4.00
4	Metro cable UTP 5E	0.60	2.40
1	Cable paralelo 24 hilos	4.00	4.00
4	Borneras	0.90	3.60
	TOTAL		\$ 440.00

Detalle de Costos del Brazo Robótico

DISEÑO DE LA TARJETA CONTROLADORA PARA BRAZOS ROBÓTICOS			
Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Precio Total
1	diseño de tarjeta PCB	6,00	6,00
1	dsPIC30F4012	9,85	9,85
1	MAX232	3,00	3,00
1	Cristal 10Mhz	1,50	1,50
1	Led	0,08	0,08
2	Capacitores 22pF	0,30	0,60
5	Capacitores Electrolíticos 1uF	0,35	1,75
1	Capacitor Electrolítico 10uF	0,40	0,40
1	Capacitor Fijo 0.1uF	0,30	0,30
1	Resistencia 1Kohm 1/4w	0,03	0,03
1	Resistencia 4.7Kohm 1/4w	0,03	0,03
1	Jack	0,50	0,50
1	Conector serial hembra	1,00	1,00
6	Borneras tornillo	0,30	1,80
	Espadines 40 pines	0,40	0,40
2	Puentes	0,05	0,10
1	Botonera	0,10	0,10
	TOTAL		27,44

CONSTRUCCIÓN DEL BRAZO EMPUJA FRASCOS

Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Precio Total
1	Servomotor Futaba S3003	24,50	24,50
4	Pernos cabeza de tornillo 4*1 1/2 con tuerca	0,05	0,20
	MDF	1,00	1,00
1	Pieza plástica en forma de U		0,00
2	Pernos cabeza de tornillo 4*2 con doble tuerca	0,10	0,20
1	Tornillo Tripa de pato 6x1/2	0,03	0,03
2	Pernos cabeza de tornillo 4*3/4 con tuerca	0,05	0,10
25 cm	Lámina de aluminio 1/2x1/16	5,00	5,00
1/2 m	perfil de aluminio	10,00	10,00
TOTAL			41,03