



ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO  
EXTENSIÓN LATACUNGA

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA  
AUTOMÁTICO DE CONTROL E INSPECCIÓN DE BOTELLAS  
SELLADAS CON TAPAS TIPO ROSCA, PARA OPTIMIZAR  
TIEMPOS EN EL PROCESO DE EMPAQUETADO  
UTILIZANDO PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES.”

LEONARDO JAVIER VILLACÍS REYES

HERNÁN ANDRÉS RAMOS CORDERO

Tesis presentada como requisito previo a la obtención del  
grado de:

INGENIERO MECATRÓNICO

Año 2012

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Leonardo Javier Villacís Reyes

Hernán Andrés Ramos Cordero

**DECLARAMOS QUE:**

El proyecto de grado denominado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROL E INSPECCIÓN DE BOTELLAS SELLADAS CON TAPAS TIPO ROSCA, PARA OPTIMIZAR TIEMPOS EN EL PROCESO DE EMPAQUETADO UTILIZANDO PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES.”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan el pie de las páginas correspondiente, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, julio del 2012

---

Leonardo Villacís

---

Hernán Ramos

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

## **INGENIERÍA MECATRÓNICA**

### **CERTIFICADO**

Ing. Eddie Galarza (DIRECTOR)

Ing. Héctor Terán (CODIRECTOR)

### **CERTIFICAN**

Que el trabajo titulado “Diseño y construcción de un sistema automático de control e inspección de botellas selladas con tapas tipo rosca, para optimizar tiempos en el proceso de empaquetado utilizando procesamiento digital de imágenes.” realizado por Leonardo Villacís y Hernán Ramos, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Debido a automatizaciones futuras mediante la utilización de procesamiento de imágenes, si recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a Leonardo Villacís y Hernán Ramos que lo entregue a Ing. Fausto Acuña, en su calidad de Director de la Carrera.

Latacunga, julio del 2012

---

Ing. Eddie Galarza

DIRECTOR

---

Ing. Héctor Terán

CODIRECTOR

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

## **INGENIERÍA MECATRÓNICA**

### **AUTORIZACIÓN**

Nosotros, Leonardo Javier Villacís Reyes

Y

Hernán Andrés Ramos Cordero

Autorizamos a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “Diseño y construcción de un sistema automático de control e inspección de botellas selladas con tapas tipo rosca, para optimizar tiempos en el proceso de empaquetado utilizando procesamiento digital de imágenes.”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, julio del 2012

---

Leonardo Villacís

---

Hernán Ramos

## **DEDICATORIA**

A Dios por brindarme la oportunidad y la dicha de la vida, al brindarme los medios necesarios para continuar mi formación como ingeniero, y siendo un apoyo incondicional para lograrlo ya que sin él no hubiera podido.

A mi madre quien permanentemente me apoyó con su espíritu alentador, contribuyendo incondicionalmente a lograr mis metas y objetivos propuestos, al brindarme con su ejemplo a ser perseverante y darme la fuerza que me impulsó a conseguirlo.

A mi familia que me acompañaron a lo largo del camino, brindándome la fuerza necesaria para continuar, así mismo ayudándome en lo que fuera posible, dándome consejos y orientación.

**Leonardo**

El presente proyecto lo dedico a Dios, mi familia y amigos.

**Hernán**

## **AGRADECIMIENTO**

La presente tesis es un esfuerzo en el cual, directa o indirectamente participaron varias personas, leyendo, opinando, corrigiendo, teniéndome paciencia, dándome ánimo, acompañándome en los momentos de crisis y en los momentos de felicidad.

Mi más amplio agradecimiento para el Ing. Eddie Galarza, director de la tesis por su valiosa orientación y apoyo para la conclusión de la misma, al Ing. Héctor Terán, codirector de la tesis, quien con su excelente respaldo e interés hizo posible la realización de este estudio.

Y desde luego llego al final de este proyecto gracias a Dios; al invaluable apoyo e inspiración que generaron mis padres, hermanos a quienes siempre tengo presente.

A todos mi mayor reconocimiento y gratitud.

**Leonardo**

Agradezco a Dios, a mis directores de tesis, mi familia y a mis amigos.

**Hernán**

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

## CAPÍTULO I – GENERALIDADES

1.1	Visión artificial.....	1
1.2.	Dispositivos de Visión Artificial.....	1
1.2.1.	Vision Builder para Inspección Automatizada 2010.....	1
1.2.2.	NI LabVIEW FPGA Module.....	2
1.2.3.	Sistema NI Compact Vision en Tiempo Real para Cámaras IEEE 1394.....	2
1.3.	Fundamentos de una Imagen Digital.....	3
1.3.1.	Definiciones.....	3
1.3.2.	Color de una imagen digital.....	4
1.3.3.	Elementos de un sistema de procesamiento digital de imágenes.....	7
1.3.4.	Mejoramiento de una imagen.....	8
1.3.5.	Filtrado Espacial.....	11
1.3.6.	Filtro de Frecuencia.....	13
1.3.7.	Codificación de Imágenes.....	14
1.4.	Software de adquisición y procesamiento de imágenes.....	14
1.4.1.	LabView – National Instruments.....	15
1.4.2.	IMAQ Vision.....	17
1.5.	Tarjetas de Adquisición de Datos por USB.....	18

1.6. Dispositivos de Control Eléctrico.....	19
1.6.1. Servomotores.....	19
1.6.2. Relés.....	20
1.7. Bandas Transportadoras.....	21
1.7.1. Introducción.....	21
1.7.2. Funcionamiento de una Banda Transportadora.....	21
1.7.3. Funcionamiento Rodillo Transportador.....	22
1.7.4. Cálculos para la Fabricación.....	23
1.8. Sistemas de Control.....	29
1.8.1. Introducción.....	29
1.8.2. Clasificación de los sistemas de control.....	30
1.8.3. Métodos de diseño.....	34

## **CAPÍTULO II – DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN**

2.1. Diseño Mecánico.....	35
2.1.1. Estructura Mecánica.....	35
2.1.2 Banda transportadora principal.....	39
2.1.3. Banda transportadora secundaria.....	44
2.2. Diseño Neumático.....	48
2.3. Diseño Eléctrico.....	51
2.3.1. Circuito de potencia motor DC.....	51

2.4. Diseño de Software.....	53
2.4.1 Herramientas de Labiew.....	53
2.4.2. Diagramas de bloques.....	56
2.5. Implementación.....	59
2.5.1. Construcción Mecánica.....	59
2.5.2. Control Eléctrico y Electrónico.....	60
2.5.3. Elaboración del software.....	62
2.5.4. Aplicación Instalada.....	64

### **CAPÍTULO III – ANÁLISIS Y PRUEBAS DE RESULTADOS**

3.1. Pruebas y Resultados Mecánicos.....	66
3.1.1. Pruebas Mecánicas.....	66
3.1.2. Resultados Mecánicos.....	70
3.2. Pruebas y Resultados Eléctricos.....	75
3.2.1. Control Eléctrico.....	75
3.2.2. Circuito de control.....	76
3.3. Pruebas de Comunicación entre Software y DAQ.....	77
3.4. Pruebas de Adquisición de Imágenes.....	79
3.4.1. Pruebas realizadas con diferentes botellas.....	80
3.5. Validación de Hipótesis.....	84

## **CAPÍTULO IV – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

4.1. Conclusiones.....85

4.2. Recomendaciones.....87

**REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....88**

**ANEXOS.....89**

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO I – GENERALIDADES

Figura 1.1: Interfaz de Vision Builder.....	2
Figura 1.2: Módulo NI LabView FPGA.....	2
Figura 1.3: Sistema NI Compact Vision.....	3
Figura 1.4: Ejemplo de imagen blanco y negro.....	5
Figura 1.5: Ejemplo imagen en escala de grises.....	5
Figura 1.6: Ejemplo imagen en color indexado 256.....	6
Figura 1.7: Ejemplo imagen de color real RVA.....	6
Figura 1.8: Ejemplo imagen en color real CMAN.....	7
Figura 1.9: Imagen original.....	9
Figura 1.10: Histograma de la imagen original.....	10
Figura 1.11: Imagen ecualizada.....	10
Figura 1.12: Histograma de la imagen ecualizada.....	11
Figura 1.13: Ejemplo filtro pasa-bajos.....	12
Figura 1.14: Ejemplo filtro pasa-altos.....	13
Figura 1.15: Ejemplo filtro pasa-altos en frecuencia.....	13
Figura 1.16: Ejemplo filtro pasa-bajos en frecuencia.....	14
Figura 1.17: Aplicación de LabView – Diagrama de bloques.....	15
Figura 1.18: Panel frontal de interfaz programa LabView.....	16
Figura 1.19: Diagrama de bloques de interfaz de LabView.....	17

Figura 1.20: Servomotor.....	19
Figura 1.21: Conexión del Servomotor.....	20
Figura 1.22: Estructura de un relé.....	20
Figura 1.23: Partes de un sistema de transporte usando bandas transportadoras.....	22
Figura 1.24: Composición rodillo transportador.....	22
Figura 1.25: Esquema general de un sistema.....	29
Figura 1.26: Esquema general de un sistema de control.....	30
Figura 1.27: Sistema en Lazo Abierto.....	31
Figura 1.28: Sistema en Lazo Cerrado.....	31

## **CAPÍTULO II – DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN**

Figura 2.1: Diagrama de fuerzas y momentos de la estructura la banda principal.....	35
Figura 2.2: Diagrama de fuerzas y momentos de la estructura de contención.....	37
Figura 2.3: Diagrama de fuerzas y momentos de la estructura base.....	38
Figura 2.4: Longitud de la carrera del pistón de doble efecto.....	48
Figura 2.5: Diagrama de cuerpo libre de la botella.....	49
Figura 2.6: Diámetro interno del pistón de doble efecto.....	49
Figura 2.7: Esquema de funcionamiento del sistema neumático.....	50
Figura 2.8: Circuito de potencia motores DC.....	51

Figura 2.9: Circuito de activación de las electroválvulas.....	52
Figura 2.10: Diagramas de bloques circuito PWM.....	56
Figura 2.11: Diagrama de bloques sensor visual.....	57
Figura 2.12: Diagrama de bloques adquisición de imágenes.....	58
Figura 2.13: Diagrama de búsqueda de patrones.....	58
Figura 2.14: Ensamble final de la estructura mecánica.....	59
Figura 2.15: Estructura mecánica.....	60
Figura 2.16: Diagrama del Panel Eléctrico.....	60
Figura 2.17: Circuito simulado de control de motores.....	61
Figura 2.18: Placa del circuito de control.....	61
Figura 2.19: Interior del panel de control.....	62
Figura 2.20: Diagrama de flujo del Programa de la Aplicación.....	63
Figura 2.21: Activación de las electroválvulas.....	64
Figura 2.22: Aplicación para Procesamiento de Imágenes.....	65

### **CAPÍTULO III – ANÁLISIS Y PRUEBAS DE RESULTADOS**

Figura 3.1: Simulación del estudio de Tensiones de la estructura principal.....	67
Figura 3.2: Simulación del estudio de tensiones de la estructura secundaria.....	68
Figura 3.3: Simulación del Factor de seguridad de la estructura secundaria.....	69

Figura 3.4: Motor de la banda principal conectado al rodillo.....	70
Figura 3.5: Motor de la banda secundaria conectado al rodillo.....	70
Figura 3.6: Pistones neumáticos.....	71
Figura 3.7: Botella activando el primer interruptor.....	72
Figura 3.8: Rodillos de amortiguamiento.....	72
Figura 3.9: Botella transportada a la banda secundaria.....	73
Figura 3.10: Transporte de botellas usando el segundo pistón.....	73
Figura 3.11: Guías de la banda secundaria.....	74
Figura 3.12: Pruebas del Circuito de Control en FluidSim.....	75
Figura 3.13: Circuito del Control Eléctrico.....	76
Figura 3.14: Circuito de control de los motores simulado en Proteus.....	76
Figura 3.15: Circuito de control.....	77
Figura 3.16: Tarjeta DAQ conectada a los circuitos de control.....	78
Figura 3.17: Activación de la salida digital de la Tarjeta DAQ.....	78
Figura 3.18: Herramienta de visión Image Display.....	79
Figura 3.19: Botella correcta azul.....	80
Figura 3.20: Botella correcta verde.....	81
Figura 3.21: Botella correcta roja.....	81
Figura 3.22: Botella incorrecta de tapa azul.....	82
Figura 3.23: Botella incorrecta de tapa verde.....	83
Figura 3.24: Botella incorrecta de tapa roja.....	83

## RESUMEN

El presente proyecto consiste en una máquina automática, que mediante el uso de una banda transportadora, las botellas con tapa tipo rosca son transportadas mientras una cámara inspecciona, mediante procesamiento de imágenes, el color de las tapas y del líquido de cada botella, además de la verificación que todas las botella se encuentran correctamente tapadas, de no ser así, se activa una electroválvula que controla un pistón que retira la botella mal tapada, o cuyo líquido no corresponde al color de la tapa, de la banda transportadora. Otra electroválvula activa un segundo pistón para enviar la botella, correctamente tapada, al lugar donde se encuentran las botellas listas para ser empaquetadas.

El procesamiento de imágenes se realiza mediante el uso de software con herramientas de visión artificial; las electroválvulas y la banda transportadora son controladas por el mismo programa mediante la utilización de una DAQ. El motor de la banda transportadora se controla mediante un puerto de salida de la DAQ que activa un circuito de potencia, y de esta manera poder unir satisfactoriamente las partes de control y potencia.

Mediante este proyecto deseamos conseguir interés en la automatización de procesos utilizando procesamiento de imágenes, ya que esto puede tener una múltiple funcionalidad. En el futuro una sola cámara podrá remplazar a un sin número de sensores, ahorrando de esta manera costos de producción y mantenimiento, además de una considerable disminución de los paros en las maquinarias.

# **CAPÍTULO I**

## **GENERALIDADES**

### **1.1. VISIÓN ARTIFICIAL <sup>(1)</sup>**

La visión artificial, también conocida como visión por computador o visión técnica. El propósito de la visión artificial es programar un computador para que "entienda" una escena o las características de una imagen.

Una imagen digital se compone de una matriz rectangular (o cuadrada) de píxeles que representan una serie de valores de intensidad ordenados en un sistema de coordenadas (x,y).

El procesamiento digital de la imagen permite una modificación reversible prácticamente libre de ruido en forma de una matriz de enteros, en vez de las clásicas manipulaciones en el cuarto oscuro o filtración de voltajes dependientes del tiempo necesarios para las imágenes analógicas y señales de video.

### **1.2. DISPOSITIVOS DE VISIÓN ARTIFICIAL**

#### **1.2.1. Vision Builder para Inspección Automatizada 2010 <sup>(2)</sup>**

La última versión de Vision Builder AI 2010 (Figura 1.1) contiene nuevos algoritmos que incluyen inspección de contornos para el análisis de contornos de objetos y su desviación de contornos deseados, la segmentación de textura y la segmentación de color.

---

1: [http://es.wikipedia.org/wiki/Visi%C3%B3n\\_artificial](http://es.wikipedia.org/wiki/Visi%C3%B3n_artificial)  
2: <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/8355>

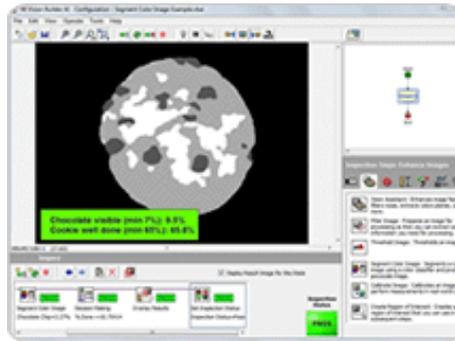


Figura 1.1: Interfaz de Vision Builder

### 1.2.2. NI LabVIEW FPGA Module <sup>(3)</sup>

El Módulo NI LabVIEW FPGA (Figura 1.2) es una extensión natural del entorno de programación gráfica de LabVIEW. LabVIEW FPGA puede reducir drásticamente el tiempo de desarrollo de aplicaciones que requieren una programación FPGA, lo que elimina la necesidad de diseños de hardware personalizados.



Figura 1.2: Módulo NI LabView FPGA

### 1.2.3. Sistema NI Compact Vision en Tiempo Real para Cámaras IEEE 1394. <sup>(4)</sup>

El sistema NI compact Vision (Figura 1.3) es un paquete de completo de visión artificial para la obtención de datos en tiempo real y adaptable para aumentar la zona de visualización incrementando más cámaras.

---

3: <http://www.ni.com/fpga/>

4: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/208266>

Cuenta con las siguientes características:

- Sistema de visión en tiempo real con diseño industrial sin ventilador
- 3 puertos de entrada IEEE 1394 para cámaras IEEE 1394a
- Implementación con PACs o PLCs vía serial, Ethernet, Modbus, o E/S digital
- Paquete de Desarrollo de Visión con NI LabVIEW Real-Time y el entorno gráfico de LabVIEW
- 29 líneas de E/S digitales reconfigurables TTL y aisladas de manera óptica



Figura 1.3: Sistema NI Compact Vision

## 1.3. FUNDAMENTOS DE UNA IMAGEN DIGITAL

### 1.3.1. Definiciones <sup>(5)</sup>

#### a) Imagen

El término imagen monocroma o simplemente imagen, se refiere a una función bidimensional representando intensidad de luz, donde  $x$  e  $y$  son las coordenadas espaciales y el valor de  $f$  en cualquier punto  $(x,y)$  es proporcional al brillo (o nivel de gris) de la imagen en ese punto.

5: <http://www.innovanet.com.ar/gis/TELEDETE/TELEDETE/tradiimg.htm>

### **b) Imagen Digital**

Es una imagen que ha sido discretizada tanto en coordenadas espaciales como en brillo. Podemos considerar una imagen digital como una matriz cuyos índices de filas y columnas identifican un punto en la imagen y el correspondiente elemento de matriz identifica el valor de gris en ese punto.

### **c) Píxel**

Acrónimo formado con las palabras inglesas 'Picture' 'element'. Es el elemento simple de una imagen digital.

## **1.3.2. Color de una imagen digital**

Según la definición anterior, la función de imagen digital representa un valor de brillo en ese punto, pero cuando se quiere representar una imagen en color, esa interpretación puede cambiar. En la división de colores en un cubo RGB, podemos descomponer toda la imagen en tres bandas representando el brillo de rojo, de verde y de azul.

El color visualizado en un punto concreto será el resultante de combinar los valores de ese punto en las tres bandas, en la proporción indicada por esos valores.

### **a) Imagen en blanco y negro**

Cada píxel de una imagen en blanco y negro es blanco o negro (Figura 1.4). Los tonos intermedios (grises) se crean ordenando los píxeles blancos y negros para simular gris. Es lo que se llama técnica de 'dithering'.



Figura 1.4: Ejemplo de imagen blanco y negro

### **b) Imagen en escala de grises**

Cada píxel de una imagen en escala de grises puede ser uno de los 256 valores distintos de gris, del negro (cero) al blanco (255). Este tipo de datos muestra suaves cambios de tono utilizando tonos intermedios de gris (Figura 1.5).

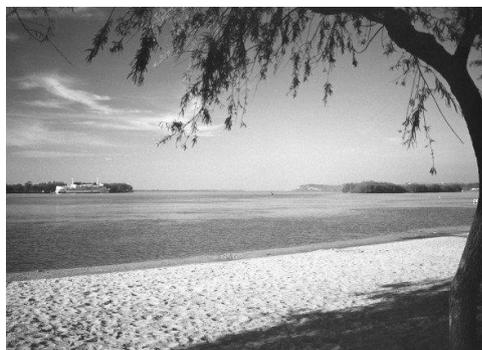


Figura 1.5: Ejemplo imagen en escala de grises

### **c) Imagen en color indexado 16 y 256**

En una imagen en color indexado, cada píxel puede ser uno de 16 o de 256 colores. Estos colores vienen especificados en la tabla de colores de la imagen. A cada píxel se le asigna un número que se refiere a un color de la tabla de colores (Figura 1.6).



Figura 1.6: Ejemplo imagen en color indexado 256

#### **d) Imagen en color real RVA**

En una imagen en color real RVA, cada píxel puede ser uno de los más de 16,7 millones de colores disponibles (Figura 1.7). El tipo de datos de color real RVA es actualmente el mejor tipo de datos para editar imágenes en color debido a que retiene mayor cantidad de información.



Figura 1.7: Ejemplo imagen de color real RVA

#### **e) Imagen en color real CMAN**

Las imágenes en color real CMAN utilizan el mismo modelo de color que la impresión industrial: todos los colores se representan en porcentajes de cian, magenta, amarillo y negro (Figura 1.8). Puesto que hay cuatro colores en cada píxel, las imágenes en color real CMAN se llaman imágenes de 32 bits.



Figura 1.8: Ejemplo imagen en color real CMAN

### **1.3.3. Elementos de un sistema de procesamiento digital de imágenes.**

Los componentes generales de un sistema de tratamiento digital de imagen se pueden organizar de la siguiente forma:

#### **a) Digitalizador (unidad de entrada de datos)**

Es un dispositivo que convierte una imagen en una representación numérica (imagen digital). Existen multitud de aparatos que realizan esta función.

#### **b) Procesador (unidad de proceso de datos)**

Se entiende por tal un dispositivo capaz de realizar algún tipo de manipulación con imágenes digitales. Entran en esta categoría desde pequeños microprocesadores especializados hasta grandes ordenadores.

#### **c) Pantalla (unidad de salida de datos)**

La función de la pantalla es la inversa que la del digitalizador, esto es, convertir las matrices numéricas que representan imágenes digitales en

alguna forma de representación discernible por el ser humano a través de los sentidos.

#### **1.3.4. Mejoramiento de una imagen**

##### **a) Introducción**

El principal objetivo de las técnicas de mejoramiento de imagen es procesar una imagen con el fin de hacerla más adecuada para una determinada aplicación o procesamiento posterior. Depende por tanto del problema específico a resolver el que se emplee una u otra técnica.

##### **b) Técnicas de modificación del histograma**

Estas técnicas van principalmente enfocadas a mejorar la visualización de una imagen. El histograma de una imagen es un gráfico que ofrece una descripción global de la apariencia de la imagen. En el eje de abscisas se representa el rango de valores de píxeles de la imagen, mientras que en el eje de ordenadas se representa el rango de valores que pueden tomar esos píxeles.

##### **c) Estiramiento lineal**

Es la forma más sencilla de efectuar el contraste. Consiste en buscar una función lineal que ajuste tal que el rango  $ND_{min}$  a  $ND_{max}$  se transforme en  $NV_{min}$  a  $NV_{max}$ , por lo tanto:  $ND_{max} = NV_{max}$  y  $ND_{min} = NV_{min}$ .

El resto de valores  $ND$  serán transformados en otros según esa transformación lineal. De forma general se puede establecer:

$$NV = a + b \cdot ND \qquad \text{Ec. 1.1}$$

O expresando la transformación en un sólo término:

$$NV = \frac{ND - ND_{min}}{ND_{max} - ND_{min}} \cdot NV_{max} \quad \text{Ec. 1.2}$$

Como caso particular de la transformación lineal, cabe destacar la transformación lineal por trozos, que aplica esta misma fórmula no a todo el rango de ND sino a un subrango determinado que queramos enfatizar especialmente.



Figura 1.9: Imagen original

En el Figura 1.10, se puede observar cómo los valores de todos los píxeles del Figura 1.9 se encuentran ahora en todo el rango de la tabla de color. La imagen se ve ahora con una mejor calidad.

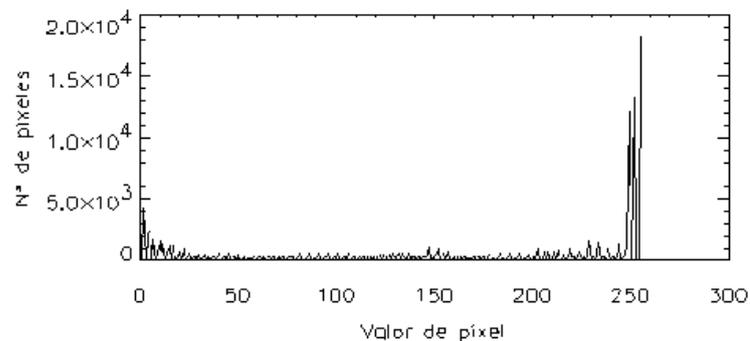


Figura 1.10: Histograma de la imagen original

El estiramiento lineal sólo tiene en cuenta como parámetros los valores máximo y mínimo del histograma original. Así, el NV de cada ND está en proporción no sólo a su valor sino también a su frecuencia; aquellos ND con mayor número de píxeles serán los que proporcionalmente ocupen un mayor rango de visualización (Figura 1.11).



Figura 1.11: Imagen ecualizada

Obsérvese cómo los valores de los píxeles en el Figura 1.12 se intentan distribuir de forma uniforme en todo el rango 0-255. Como no es posible separar un valor cualquiera en dos diferentes, donde hay relativamente gran número de píxeles se separa del resto en proporción del número de píxeles de ese valor. El resultado visual es mucho más 'brusco'.

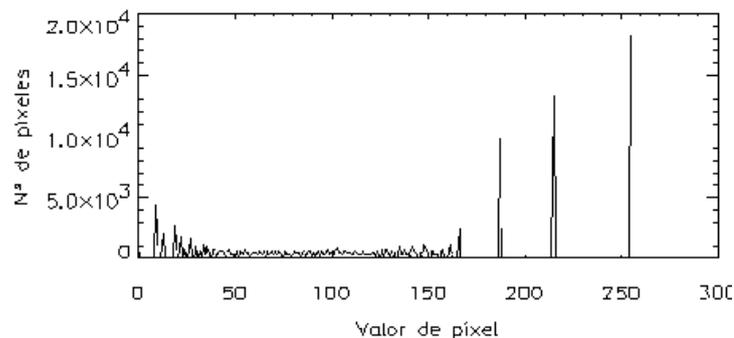


Figura 1.12: Histograma de la imagen ecualizada

### 1.3.5. Filtrado Espacial

Filtrado espacial es una operación "local" en procesamiento de imagen en el sentido de que modifica el valor de cada píxel de acuerdo con los valores de los píxeles que lo rodean; se trata de transformar los ND originales de tal forma que se parezcan o diferencien más de los correspondientes a los píxeles cercanos.

El filtrado espacial se realiza trasladando una matriz rectangular de dos dimensiones o ponderaciones sobre la imagen en cada localización de píxel. Se evalúa el píxel central de la ventana de acuerdo con los píxeles de alrededor y sus valores de ponderación.

#### a) Filtro pasa-bajos

Enfatizan las bajas frecuencias, suavizando las imágenes y suprimiendo ruidos. Se trata de asemejar el ND de cada píxel al ND de los píxeles vecinos, reduciendo la variabilidad espacial de la imagen. La matriz a continuación representa el ejemplo de un kernel de filtro pasa-bajo:

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Lo que se realiza es una media aritmética de los nueve píxeles que componen la ventana de filtrado (Figura 1.13), con lo que se reducen los espurios y la variabilidad de la imagen.

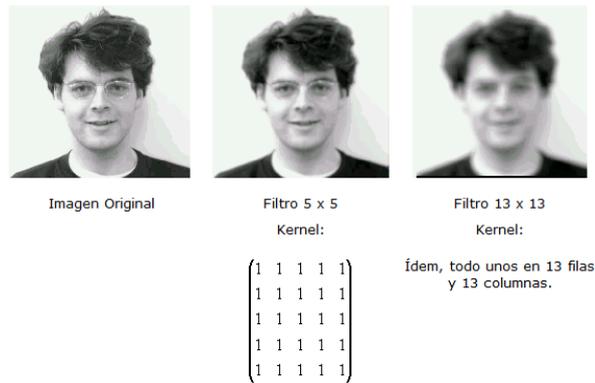


Figura 1.13: Ejemplo filtro pasa-bajos

### b) Filtro pasa-altos

Enfatizan las altas frecuencias, realizan por tanto el efecto contrario a los filtros pasa-bajos. La matriz a continuación representa el ejemplo de un kernel de filtro pasa-alto:

$$\begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix}$$

Otra forma de obtener una imagen así filtrada es sustraer a la imagen original, la misma imagen filtrada paso-bajos (Figura 1.14).

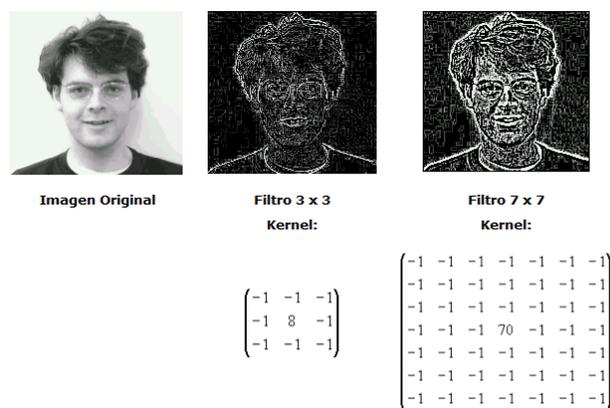


Figura 1.14: Ejemplo filtro pasa-altos

### 1.3.6. Filtro de Frecuencia

En el dominio frecuencial también puede realizarse el proceso de filtrado, ya que en una imagen en el dominio frecuencial se sabe dónde se encuentran los distintos rangos de frecuencias. Luego con la operación:

$$G(u, v) = H(u, v) \cdot F(u, v) \quad \text{Ec. 1.3}$$

Donde  $F(u,v)$  es la imagen en frecuencia, el único problema es la correcta especificación de  $H(u,v)$  (Dependiendo del tipo de filtro que se desee aplicar)



Figura 1.15: Ejemplo filtro pasa-altos en frecuencia



Figura 1.16: Ejemplo filtro pasa-bajos en frecuencia

Se puede observar en las Figuras 1.15 y 1.16 que los resultados son iguales que con el filtrado en el dominio espacial (convolución) pero en

este caso se trabaja con otras variables y se manejan conceptos diferentes.

### **1.3.7. Codificación de Imágenes**

La representación digital de una imagen, usualmente requiere enormes cantidades de recursos del sistema en forma de memoria. Es por ello que las técnicas de codificación son de una importancia tremenda, de cara a lograr la máxima eficiencia en este sentido.

Es de señalar, como en casi todas las técnicas, que el tratamiento concreto a realizar dependerá en gran medida de la aplicación a la que vaya dirigido.

## **1.4. SOFTWARE DE ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE IMÁGENES**

La ejecución de un programa para la manipulación y transformación de los píxeles de una imagen, generalmente requiere más tiempo que los circuitos que realizan la misma función por hardware.

Los programas de procesado de imágenes suelen ser el lenguaje ensamblador o lenguaje C, es decir, aquellos que son más cercanos al lenguaje de máquina, para optimizar tiempo y tamaño de la memoria. <sup>(6)</sup>

A veces, en la propia tarjeta de visión se incluye un procesador especializado, que trabaja con instrucciones apropiadas en el tratamiento de imágenes.

La elección del procesador es crucial en el rendimiento del sistema de visión. La velocidad de procesamiento de las instrucciones y el tamaño del bus, son las características más determinantes.

### 1.4.1. LabView – National Instruments (7)

LabVIEW constituye un revolucionario sistema de programación gráfica para aplicaciones que involucren adquisición, control, análisis y presentación de datos, mediante el uso de lenguaje G para crear programas basados en diagramas de bloques (Figura 1.17).

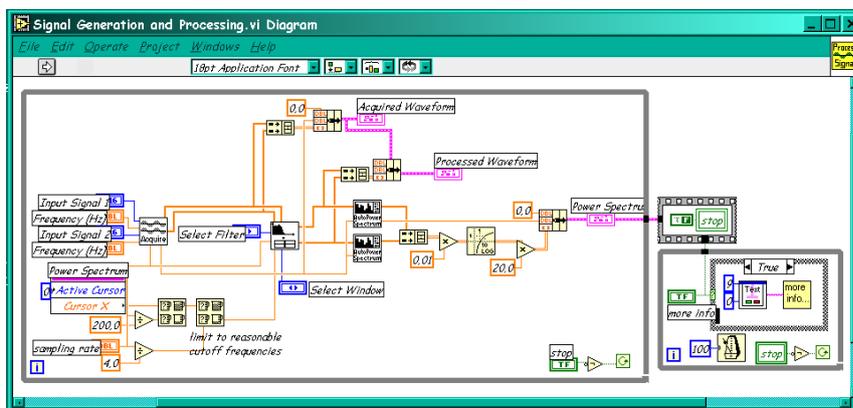


Figura 1.17: Aplicación de LabView – Diagrama de bloques

6: <http://es.scribd.com/doc/23371/Procesamiento-de-imagenes-con-Matlab>

7: <http://www.esi2.us.es/~asun/LCPC06/TutorialLabview.pdf>

Los programas desarrollados mediante LabVIEW se denominan Instrumentos Virtuales (VIs), porque su apariencia y funcionamiento imitan los de un instrumento real. Sin embargo son análogos a las funciones creadas con los lenguajes de programación convencionales.

Todos los VIs tienen un panel frontal y un diagrama de bloques.

#### a) Panel Frontal

Se trata de la interfaz gráfica del VI con el usuario. Esta interfaz recoge las entradas procedentes del usuario y representa las salidas proporcionadas por el programa; está formado por una serie de botones, pulsadores, potenciómetros, gráficos, etc. (Figura 1.18).

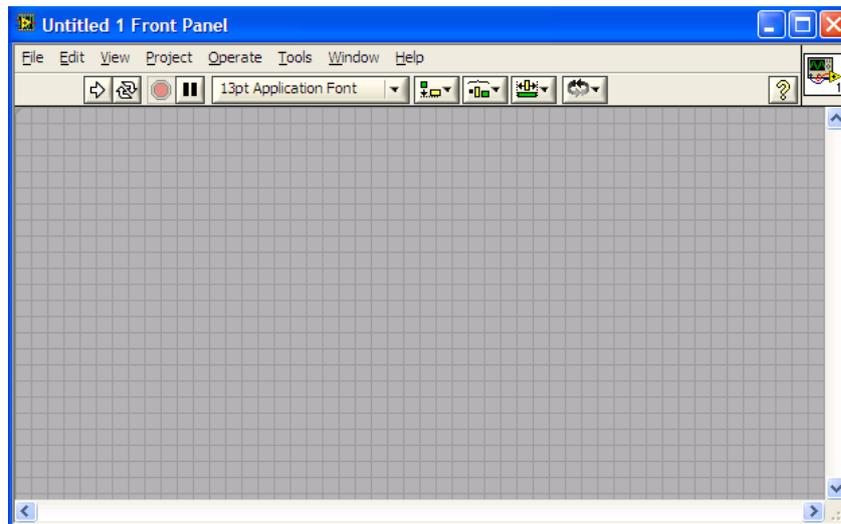


Figura 1.18: Panel frontal de interfaz programa LabView

### **b) Diagrama de bloques**

El diagrama de bloques constituye el código fuente del VI. En el diagrama de bloques es donde se realiza la implementación del programa del VI para controlar o realizar cualquier procesamiento de las entradas y salidas que se crearon en el panel frontal.

Los controles e indicadores que se colocaron previamente en el Panel Frontal, se materializan en el diagrama de bloques mediante los terminales mostrados en la Figura 1.19.

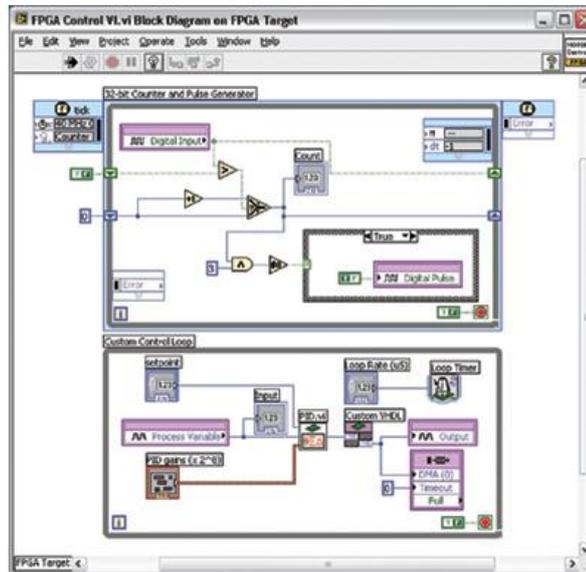


Figura 1.19: Diagrama de bloques de interfaz de LabView

El diagrama de bloques se construye conectando los distintos objetos entre sí, como si de un circuito se tratara. Los cables unen terminales de entrada y salida con los objetos correspondientes, y por ellos fluyen los datos.

#### 1.4.2. IMAQ Vision <sup>(8)</sup>

IMAQ Vision es una nueva librería para LabView que permite implementar aplicaciones inteligentes de una imagen y visión, presenta herramientas complejas de procesamiento digital de imágenes como los detectores de borde y reconocimiento de patrones complejos entre otros.

8: <http://www.csun.edu/~rd436460/Labview/IMAQ-Manual.pdf>

IMAQ Vision está organizado en tres principales paletas de funciones principales:

- Vision Utilities: con sus herramientas permite manipular y mostrar las imágenes en IMAQ Vision.
- Image Processing: permite analizar, filtrar y procesar las imágenes adquiridas en IMAQ Vision.
- Machine Vision: son VI de alto nivel que simplifican las tareas comunes de la visión artificial.

### **1.5. TARJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS POR USB <sup>(9)</sup>**

Las tarjetas DAQ (adquisición de datos) son, generalmente, las interfaces entre la señal de un sistema y un PC. Contienen módulos que pueden ser conectados a la computadora mediante los puertos paralelo, serie, USB o ranuras de tarjetas (PCI, ISA) para conectarlas en la placa madre.

El cable conectado entre el sistema y el PC tiene una robustez elevada debido a su estructura y blindaje necesario para soportar el entorno del sistema. Las tarjetas DAQ, por lo general, contienen múltiples componentes multiplexores, ADC, DAC, TTL-IO, temporizadores de alta velocidad, memoria RAM. El controlador de la tarjeta es más flexible que una unidad lógica de un PC, pero más barato que una CPU, de modo que es muy factible para realizar operaciones cuya programación sea simple o compleja.

---

9: [http://es.wikipedia.org/wiki/Adquisici%C3%B3n\\_de\\_datos](http://es.wikipedia.org/wiki/Adquisici%C3%B3n_de_datos)

### **1.6. DISPOSITIVOS DE CONTROL ELÉCTRICO**

Un dispositivo de control eléctrico está compuesto por un electroimán y medios adaptados para la atracción. Partiendo de una posición en reposo, con la excitación de la bobina del electroimán, se genera un campo magnético provocando que la posición de reposo cambie a una posición final, es decir, el dispositivo de control eléctrico cambia su posición de cerrado a abierto y viceversa. En combinación con el dispositivo, hay medios para ajustar el campo magnético, es decir, existen dispositivos de control eléctrico con más de 2 posiciones. Dichos dispositivos son utilizados en circuitos de control de potencia pero su mayor desventaja es el tiempo de conmutación o cambio de posiciones que resulta ser mayor que los elementos electrónicos.<sup>(10)</sup>

### 1.6.1. Servomotores <sup>(11)</sup>

Los servos son un tipo especial de motor que se caracterizan por su capacidad de poder ser llevados a posiciones angulares específicas (Figura 1.20), al enviar una señal codificada, dentro de un rango de operación.



Figura 1.20: Servomotor

10: <http://es.patents.com/us-4008449.html>

11: <http://www.angelfire.com/electronic2/jhueso/servo.ppt>

Los valores más generales se encuentran entre 1 ms y 2 ms, que dejarían al motor en ambos extremos. El valor 1,5 ms indicaría la posición central,

mientras que otros valores del pulso lo dejan en posiciones intermedias. Estos valores suelen ser los recomendados, sin embargo, es posible emplear pulsos menores de 1 ms o mayores de 2 ms, pudiéndose conseguir ángulos mayores de 180° (Figura 1.21).

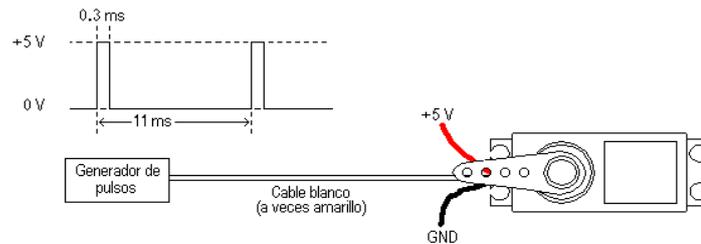


Figura 1.21: Conexión del Servomotor

### 1.6.2. Relés <sup>(12)</sup>

El relé es un dispositivo electromecánico. Funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán se acciona un juego de uno o varios contactos (Figura 1.22) que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes

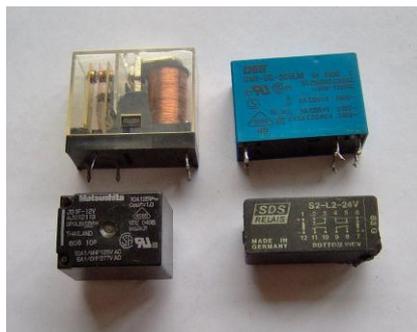


Figura 1.22: Estructura de un relé

12: <http://www.angelfire.com/electronic2/jhueso/RELE.ppt>

Dado que el relé es capaz de controlar un circuito de salida de mayor potencia que el de entrada, puede considerarse, en un amplio sentido, como un amplificador eléctrico. Como tal se emplearon en telegrafía,

haciendo la función de repetidores que generaban una nueva señal con corriente procedente de pilas locales a partir de la señal débil recibida por la línea.

## **1.7. BANDAS TRANSPORTADORAS**

### **1.7.1. Introducción <sup>(13)</sup>**

En el transporte de materiales, materias primas, minerales y diversos productos se han creado diversas formas; pero una de las más eficientes es el transporte por medio de bandas y rodillos transportadores, ya que estos elementos son de una gran sencillez de funcionamiento, que una vez instaladas, en condiciones adecuadas, suelen dar pocos problemas mecánicos y de mantenimiento.

Las bandas y rodillos transportadoras son elementos auxiliares de las instalaciones, cuya misión es la de recibir un producto de forma más o menos continua y regular para conducirlo a otro punto.

### **1.7.2. Funcionamiento de una Banda Transportadora**

Este tipo de transportadoras continuas están constituidas básicamente por una banda sinfín flexible que se desplaza apoyada sobre unos rodillos de giro libre. El desplazamiento de la banda se realiza por la acción de arrastre que le transmite uno de los tambores extremos, generalmente el situado en "cabeza".

---

13: <http://html.rincondelvago.com/rodillos-y-cintas-transportadoras.html>

Todos los componentes y accesorios del conjunto se disponen sobre un bastidor, casi siempre metálico, que les da soporte y cohesión (Figura 1.23).

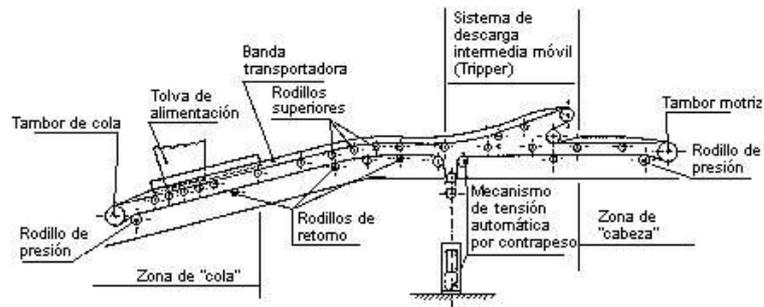


Figura 1.23: Partes de un sistema de transporte usando bandas transportadoras

### 1.7.3. Funcionamiento Rodillo Transportador

El funcionamiento del sistema de rodillos depende de un motor de rotación que está encargado de transferir la energía a los diferentes rodillos por medio de cadenas, cintas u otro elemento, lo cual hace que el sistema opere de una manera eficiente haciendo rodar todos los rodillos a una misma revolución (Figura 1.24), lo cual hará giran a una misma velocidad todos los rodillos.

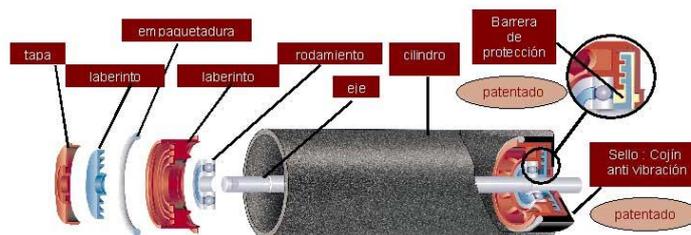


Figura 1.24: Composición rodillo transportador

### 1.7.4. Cálculos para la Fabricación <sup>(14)</sup>

#### a) Cálculo de la holgura de la banda.

La holgura de la banda se ubica en los costados de la banda, ésta permite tener un margen de espacio utilizado para impedir que el material a transportar rebalse.

$$c = 0,055(B + 0,9) \quad \text{Ec. 1.4}$$

Siendo:

$c$ = holgura de la banda (plg)

$B$ = ancho de la banda (plg)

#### **b) Cálculo del ancho plano de la banda (material).**

El ancho plano de la banda es donde se ubicará el material al ser transportado.

$$0,371 * B \quad \text{Ec. 1.5}$$

Siendo:

$B$ = ancho de la banda (plg)

#### **c) Cálculo del área del material a transportar.**

$$A = h * b \quad \text{Ec. 1.6}$$

---

14: Manual de fabricación de bandas y rodillos transportadores- Pirelly, Willian-Editorial Mac Graw Hill- Impreso en Madrid (España) 1992

Siendo:

$A$ = área del material (m<sup>2</sup>)

$h$ = altura del material (m)

$b$ = base del material (m)

**d) Cálculo de la cinta completamente cargada.**

$$V_c = L * A \quad \text{Ec. 1.7}$$

Siendo:

$V_c$ = cinta completamente cargada (m<sup>3</sup>)

$L$ = largo de la cinta (m)

$A$ = área del material (m<sup>2</sup>)

**e) Cálculo de la velocidad necesaria.**

Para el cálculo de la velocidad necesaria, deberemos tener el dato de la capacidad volumétrica de la cinta transportadora. Dato que por lo demás siempre es conocido ya que es la cantidad de material a descargar por hora.

Primero se calcula la velocidad en número de veces que la cinta deba ser llenada o cargada.

$$N_{veces} = \frac{cap}{V_{tot}} \quad \text{Ec. 1.8}$$

Siendo:

$N_{veces}$ = número de veces que la cinta debe ser cargada por hora.

$cap$  = capacidad (m<sup>3</sup>)

$V_{tot}$ = volumen total (m<sup>3</sup>)

Ahora se calculará la velocidad en  $m/h$

$$V = N_{\text{veces}} * L \quad \text{Ec. 1.9}$$

Siendo:

$V$  = velocidad (m/h)

$N_{\text{veces}}$  = número de veces que la cinta debe ser cargada por hora.

$L$  = largo de la cinta (m)

Para efectos de cálculo la velocidad deberá ser trabajada en m/s, por lo tanto se realizará la conversión necesaria.

#### f) Esfuerzo necesario para mover la cinta en vacío

Para el cálculo del esfuerzo necesario se toma en cuenta la siguiente:

$l'$  = coeficiente de rozamiento de los rodillos (Tabla 1).

$l_o$  = un suplemento ficticio destinado a incrementar la distancia entre ejes; como promedio puede adoptarse.

$$l_o = 60 - 0.2L \text{ (metros)} \quad \text{Ec. 1.10}$$

$Q_p$  = peso de la cinta y de las partes rodantes (kg).

$q_p = \frac{Q_p}{L}$  = peso de la cinta y de las partes rodantes referido a 1m de distancia real entre ejes (kg/m).

El esfuerzo necesario para mover la cinta en vacío será:

$$P_1 = l'q_p(L + l_o) \quad \text{Ec. 1.11}$$

Este esfuerzo puede considerarse subdividido en el esfuerzo necesario para mover el tramo cargado  $P_\lambda$  y el tramo del retorno  $P_R$  siendo:

$$P_1 = P_\lambda + P_R \quad \text{Ec. 1.12}$$

En general  $P_\lambda > P_R$  ya que los rodillos de soporte de la cinta están más distanciados en el ramal de retorno que en el ramal cargado. En la mayoría de los casos se tiene:

$$P_\lambda = \frac{2}{3} P_1 \quad P_R = \frac{1}{3} P_1$$

Si se desea una valorización más precisa se deberá calcular separadamente  $P_\lambda$  y  $P_R$  con las fórmulas:

$$P_\lambda = l' + q_o(L + l_o) \quad \text{Ec. 1.13}$$

$$P_R = l' + q_r(L + l_o) \quad \text{Ec. 1.14}$$

En donde  $q_o$  y  $q_r$  representan el peso por metro de la cinta y partes rodantes del tramo cargando y el tramo de retorno respectivamente.

Tabla 1: Tabla de coeficiente de rozamiento de rodillos

Elementos que producen rozamiento	
Rodillos porlantes con cojinetes a bolas, mantenimiento óptimo.....	0,022
Rodillos porlantes con cojinetes a bolas, mantenimiento normal.....	0,03
Rodillos porlantes con cojinetes de bronce, mantenimiento deficiente.....	0,05
Cinta sin cobertura de goma deslizada sobre superficie metaliza pulida.....	0,3
Cinta sin cobertura de goma deslizada sobre superficie de madera lisa.....	0,35
Cinta con cobertura de goma deslizada sobre superficie metaliza pulida.....	0,5
Cinta con cobertura de goma deslizada sobre superficie de madera lisa.....	0,45

**g) Esfuerzo necesario para mover el material.**

Adoptando los mismos símbolos del párrafo anterior, pero indicando con  $q_m$  el peso del material transportado por metro lineal del transportador (kg/m) se tiene:

$$P_1 = I + q_m (I + I_o) \quad \text{Ec. 1.15}$$

Siendo

$$q_m = \frac{Q}{3,6v}$$

Por lo tanto

$$P_1 = f \frac{Q}{3,6v} (I + I_o) \quad \text{Ec. 1.16}$$

#### **h) Esfuerzo necesario para mover verticalmente el material.**

Viene dado por la relación:

$$P_3 = \frac{QH}{3,6v} \quad \text{Ec. 1.17}$$

#### **i) Cálculo de la Potencia Motriz necesaria <sup>(15)</sup>**

$$P_m = \frac{P_t}{\eta} \quad \text{Ec. 1.18}$$

Siendo:

$P_m$  = potencia motriz necesaria. (Kw)

$P_t$  = potencia tambor motriz. (Kw)

15: <http://descom.jmc.utfsm.cl/sgeywitz/procesos/CINTAS.htm>

$\eta$  = rendimiento (89% = 0.89).

Con el cálculo de la potencia motriz necesaria se puede realizar la selección del motor mediante catálogo.

### j) Cálculo de la Potencia efectiva

El cálculo realizado anteriormente, (potencia motriz necesaria), permitirá realizar la selección del motor que va a utilizar, éste motor entregará una potencia diferente a la obtenida por cálculo (generalmente mayor), por esto se debe calcular la potencia efectiva de éste motor dada por la ecuación 1.19.

$$P_{\text{efectiva}} = P_m * \eta \quad \text{Ec. 1.19}$$

Siendo:

$P_{\text{efectiva}}$  = potencia efectiva. (Kw)

$P_m$  = potencia entregada por el motor. (Kw)

$\eta$  = rendimiento (89% = 0.89).

### k) Cálculo de la Fuerza periférica del Tambor

$$F_{pt} = \frac{P_{\text{efectiva}} * 100}{V} \quad \text{Ec. 1.20}$$

Siendo:

$F_{pt}$  = fuerza periférica en el tambor. (N)

$P_{\text{efectiva}}$  = potencia efectiva. (Kw)

$V$  = velocidad. (m/s)

## 1.8. SISTEMAS DE CONTROL

### 1.8.1. Introducción <sup>(16)</sup>

Un sistema dinámico puede definirse conceptualmente como un ente que recibe unas acciones externas o variables de entrada, y cuya respuesta a estas acciones externas son las denominadas variables de salida.

La Figura 1.25 ilustra de un modo conceptual el funcionamiento de un sistema.

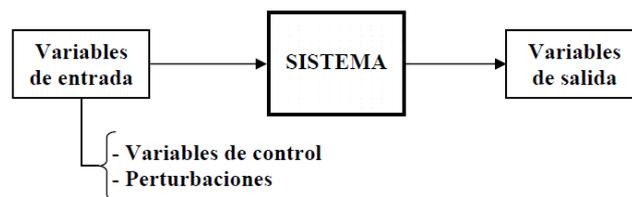


Figura 1.25: Esquema general de un sistema

Un sistema de control ideal debe ser capaz de conseguir su objetivo cumpliendo los siguientes requisitos:

- Garantizar la estabilidad y, particularmente, ser robusto frente a perturbaciones y errores en los modelos.
- Ser tan eficiente como sea posible, según un criterio preestablecido.
- Ser fácilmente implementable y cómodo de operar en tiempo real con ayuda de un ordenador.

16: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3330/5/34059-5.pdf>

El Figura 1.26 ilustra el esquema de funcionamiento de un sistema de control genérico.

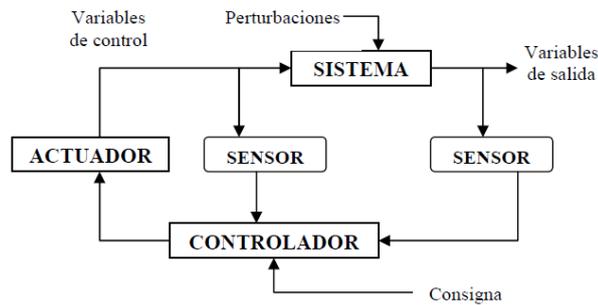


Figura 1.26: Esquema general de un sistema de control

### 1.8.2. Clasificación de los sistemas de control

Son muchas las clasificaciones posibles de realizar; aquí se presentan algunas de mayor interés:

- De acuerdo a la acción de control
- De acuerdo a la fuente de energía
- De acuerdo a como se genera la acción de control
- De acuerdo a la función
- De acuerdo a las propiedades

#### a) De acuerdo a la acción de control

Variable que activa el sistema a controlar

- Lazo abierto: La acción de control se calcula conociendo la dinámica del sistema, las consignas y estimando las perturbaciones (Figura 1.27). Sin embargo, el lazo abierto generalmente es insuficiente, debido a los errores del modelo y a los errores en la estimación de las perturbaciones.

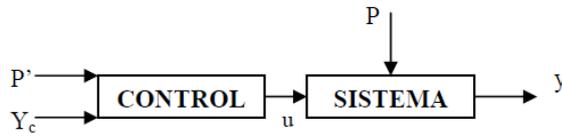


Figura 1.27: Sistema en Lazo Abierto

Donde:

$P'$  = perturbaciones estimadas

$P$  = perturbaciones

$y$  = variable controlada

$Y_c$  = consigna

$u$  = acción de control

- Lazo Cerrado: La acción de control se calcula en función del error medido entre la variable controlada y la consigna deseada (Figura 1.28). La gran mayoría de los sistemas de control que se desarrollan en la actualidad son en lazo cerrado.

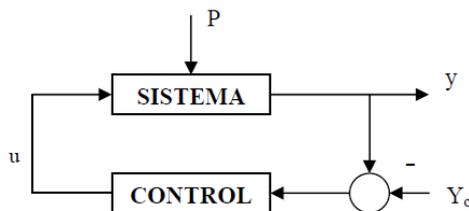


Figura 1.28: Sistema en Lazo Cerrado

Donde:

$P'$  = perturbaciones estimadas

$P$  = perturbaciones

$y$  = variable controlada

$Y_c$  = consigna

$u$  = acción de control

### **b) De acuerdo a la fuente de energía <sup>(17)</sup>**

La fuente de energía del elemento que genera la acción de control:

- Neumáticos (Aire a presión).
- Hidráulicos (Aceite o agua a presión).
- Eléctricos - Electrónicos (Electricidad).

### **c) De acuerdo a como se genera la acción de control**

Tomando en cuenta el error:

- Todo - Nada (ON - OFF).
- Proporcional (P), Integral (I), Proporcional Integral (PI), Proporcional Derivativo (PD), Proporcional Integral Derivativo (PID).
- Adelanto y/o Atraso de Fase.
- RST

---

17: NISE, NORMAN, Sistemas de Control para Ingeniería, Editorial CECSA, 3ra Edición.

### **d) De acuerdo a las propiedades**

Dependen de las propiedades de proceso controlado:

- Parámetros Concentrados - Distribuidos.

- Determinístico - Estocástico.
- Continuo - Discreto (Flujo del producto).
- Estático - Dinámico.
- Variante - Invariante.
- Lineal - No lineal.

**e) De acuerdo a la aplicación industrial**

De Procesos: temperatura, flujo, presión, PH, nivel, densidad, composición, viscosidad, color, etc.

De Manufactura: Producción de partes: autos, equipos domésticos, etc.

**f) De acuerdo a la estrategia de control**

Dependiendo de la conexión:

- Directo (feedforward) - Realimentado (feedback).
- Serie - Paralelo.
- Centralizado - Distribuido
- Cascada, sobrerango, selectivo, etc.

**1.8.3. Métodos de diseño**

Los métodos de análisis de sistemas y de diseño de los controladores han evolucionado del mismo modo que la mayoría de las herramientas utilizadas en ingeniería. La evolución en los sistemas informáticos ha

permitido que actualmente estén disponibles entornos en los que se pueden realizar simulaciones dinámicas.

#### **a) Forma digital vs forma analógica**

En un esquema analógico, todas las variables son función de un tiempo continuo; en cambio, en un esquema digital las variables se conocen en unos instantes determinados, en un tiempo discreto.

Los sistemas de control digital presentan una serie de ventajas como son una menor susceptibilidad al deterioro debido al transcurso del tiempo o a factores del entorno, presenta unos componentes menos sensibles a los ruidos y a las vibraciones en las señales, tienen una mayor flexibilidad a la hora de programar, o poseen una mejor sensibilidad frente a la variación de parámetros.

#### **b) Métodos monovariantes vs métodos multivariantes**

Un controlador es monovariante si trabaja con una única variable de entrada y una única variable de salida, es decir con variables escalares. En cambio, un controlador es multivariante cuando trabaja con más de una variable de entrada y más de una variable de salida, es decir, las variables de entrada y salida son vectoriales.

Hasta el día de hoy se han desarrollado diversos métodos multivariantes, aunque su utilización en el control de canales es casi nula. Entre ellos se puede destacar el controlador PID multivariante.

## **CAPÍTULO II**

### **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN**

#### **2.1. DISEÑO MECÁNICO**

### 2.1.1. Estructura Mecánica

En el diseño de la estructura mecánica se ha considerado que el material usado sea: Perfil de 2cm de acero AISI 1020.

#### a) Estructura principal, transporte de botellas de banda principal

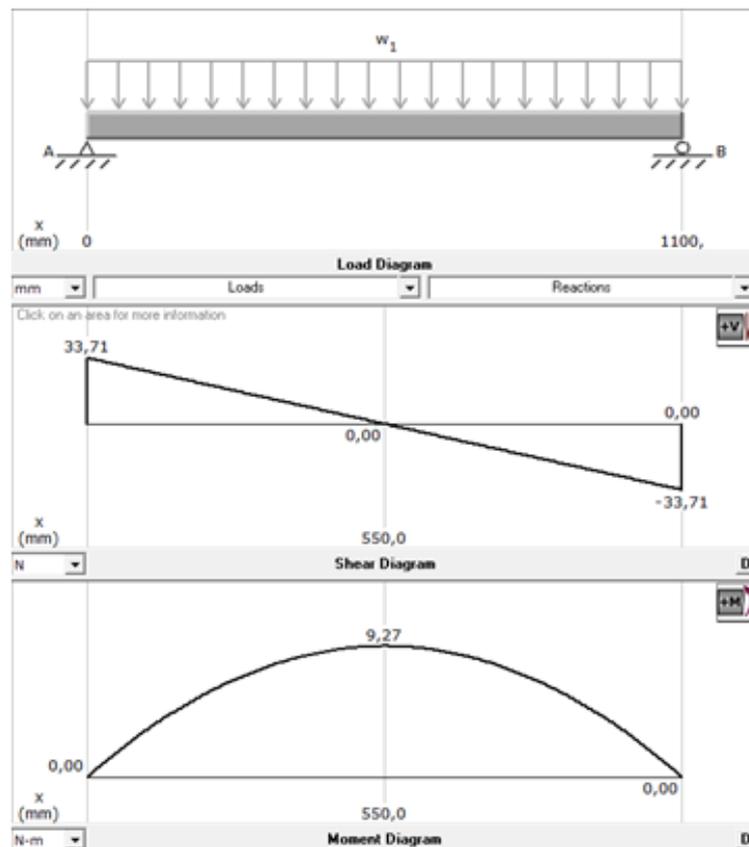


Figura 2.1: Diagrama de fuerzas y momentos de la estructura la banda principal

En el diseño de la estructura principal se toma en consideración el peso total de las botellas que pueden estar en la banda;  $W_1$  representa la carga distribuida de las 16 botellas de 430 ml.

$$W_1=61,2945 \text{ N/m}$$

$\sigma_{flex\ max}$  muestra la energía necesaria para la deformación de la estructura principal.

$$\sigma_{flex\ max} = \frac{M}{S} \quad \text{Ec. 2.1}$$

$$\sigma_{flex\ max} = 6,9525 \text{ MPa}$$

La ecuación 2.2 representa el esfuerzo cortante para el cual está diseñada la estructura.

$$\tau_{corte} = \frac{4V}{3A} \quad \text{Ec. 2.2}$$

$$\tau_{corte} = 0,112 \text{ MPa}$$

#### b) Estructura secundaria, contención de la estructura principal

Para el diseño de la estructura secundaria se toma los datos  $P_2$  y  $P_3$ , calculados anteriormente en la estructura principal, fuerza establecida en los puntos A y B del diagrama de carga de la figura 2.1; mientras que  $P_1$  y  $P_4$  corresponde al peso de los rodillos usados para el movimiento de la banda principal (Figura 2.2).

$$P_1 = 25,25362 \text{ N}$$

$$P_2 = 33,7 \text{ N}$$

$$P_3 = 33,7 \text{ N}$$

$$P_4 = 21,71876 \text{ N}$$

Usando la ecuación 2.1 se obtiene la energía de deformación que puede soportar la estructura secundaria.

$$\sigma_{flex\ max} = 6,72435 \text{ MPa}$$

$\tau_{corte}$ , mediante la ecuación 2.2, es el esfuerzo cortante que la estructura secundaria resiste.

$$\tau_{\text{corte}} = 0,195648 \text{ MPa}$$

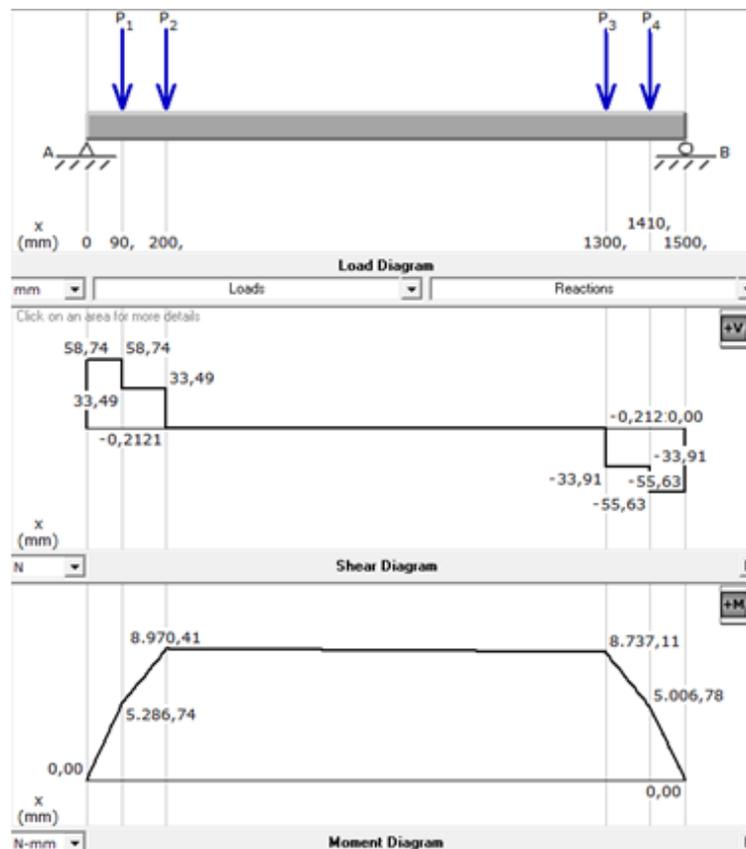


Figura 2.2: Diagrama de fuerzas y momentos de la estructura de contención

c) **Estructura base, contención y transporte de botellas de banda secundaria**

Para el diseño de la estructura de la estructura base se toman los datos  $P_1$  y  $P_2$ , que es el peso repartido de los rodillos de la banda principal;  $P_3$  y  $P_4$  es el peso de los rodillos que transmiten el movimiento de la banda secundaria y  $W_1$  es la carga distribuida de 12 botellas, la cantidad máxima que puede contener en la banda secundaria (Figura 2.3).

$$\begin{aligned}
 P_1 &= 12,62681 \text{ N} \\
 P_2 &= 12,62681 \text{ N} \\
 P_3 &= 55,8257 \text{ N} \\
 P_4 &= 54,4664 \text{ N} \\
 W_1 &= 50,6196 \text{ N/m}
 \end{aligned}$$

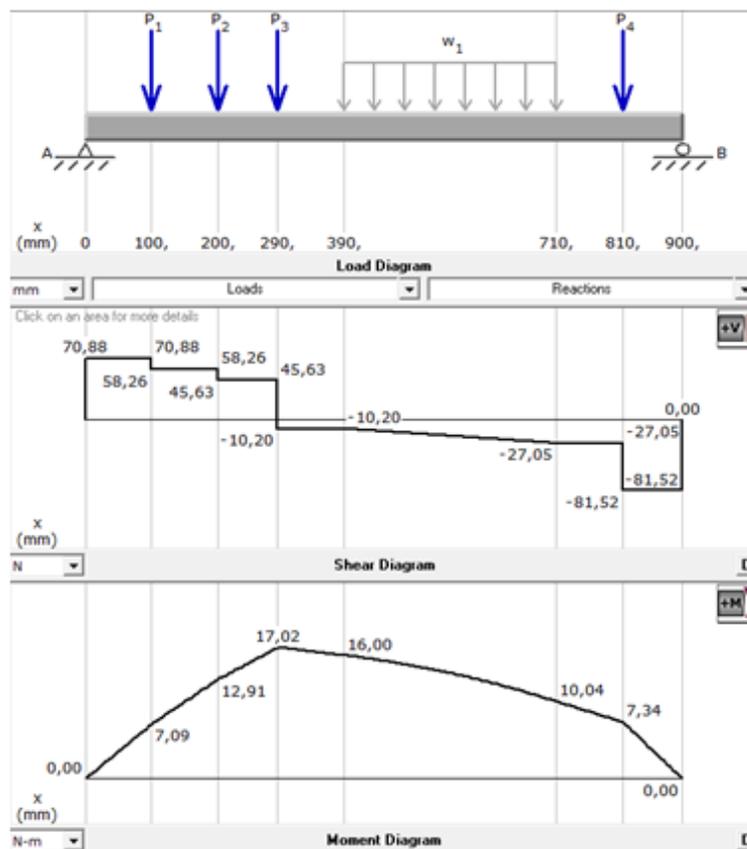


Figura 2.3: Diagrama de fuerzas y momentos de la estructura base

$\sigma_{flex \max}$ , mediante la ecuación 2.1, muestra la energía necesaria para la deformación de la estructura de la banda secundaria.

$$\sigma_{flex \max} = 12,765 \text{ MPa}$$

Usando la ecuación 2.2 se obtiene el esfuerzo cortante para el cual está diseñada la estructura.

$$\tau_{\text{corte}}=0,271988 \text{ MPa}$$

### 2.1.2 Banda transportadora principal

Para el diseño de las bandas se ha establecido como material de construcción caucho sintético con las siguientes especificaciones:

Cubierta superior=1,2 mm

Cubierta inferior=1,5 mm

Largo de la banda (L)=1320 mm

Ancho de la banda (B)=90 mm

Establecidas las especificaciones del material se procede en el diseño de la banda.

- a) Holgadura de la banda (c), para que las botellas no rebalsen se toman en cuenta los datos donde B es el ancho de la banda principal, 90 mm (3,54331 plg).

$$c=0,055*(B+0,9) \quad \text{Ec. 2.3}$$

$$c=0,055*(3,54331+0,9) \\ c=0,2444 \text{ plg}$$

- b) Ancho plano de la banda – material (APB), B es el valor del ancho de la banda usado en la ecuación 2.3.

$$APB=0,371*B \quad \text{Ec. 2.4}$$

$$APB=0,371*3,54331 \\ APB=1,31457 \text{ plg}$$

- c) Área del material a transportar (A), en donde h es la altura de la botella y b es el diámetro de la misma.

$$A=h*b \quad \text{Ec. 2.5}$$

$$A=0,23*(0,066)$$

$$A=0,01518 \text{ m}^2$$

- d) Cinta completamente cargada ( $V_c$ ), donde L es la longitud entre rodillos de la banda y A es el resultado de la ecuación 2.5.

$$V_c=L*A \quad \text{Ec. 2.6}$$

$$V_c=1,32*0,01518$$

$$V_c=0,02004 \text{ m}^3$$

- e) Velocidad necesaria (V),  $N_{\text{veces}}$  es la cantidad de veces que pasan las botellas por hora (para este diseño se estima 70 veces/h) y L es la longitud de la banda usada en la ecuación 2.6.

$$V=N_{\text{veces}}*L \quad \text{Ec. 2.7}$$

$$V=70*1,32$$

$$V=92,4 \text{ m/h}$$

Para el cálculo del esfuerzo requerido se han tomado en cuenta los siguientes parámetros:

Diámetro de rodillos=90 mm

Peso de rodillo conectado al motor= 2,5769 Kg

Peso de rodillo exterior= 2,2162 Kg

Peso banda transportadora= 1,04 Kg

- f) Esfuerzo necesario para mover la cinta en vacío ( $P_1$ ), donde  $Q_p$  es el peso de la banda y de los rodillos

$$l_o = 60 - 0,2L \quad \text{Ec. 2.8}$$

$$l_o = 60 - 0,2(1,32) \\ l_o = 59,736 \text{ m}$$

$$q_p = \frac{Q_p}{L} \quad \text{Ec. 2.9}$$

$$q_p = \frac{5,8331 \text{ Kg}}{1,32 \text{ m}} \\ q_p = 4,41902 \text{ Kg/m}$$

$L$  es la longitud de la banda;  $l'$  proviene de la tabla 1 capítulo I;  $P_\Delta$  y  $P_R$  es la el esfuerzo necesario para el movimiento en el tramo de carga y retorno, respectivamente.

$$P_1 = l' * q_p (L + l_o) \quad \text{Ec. 2.10}$$

$$P_1 = 0,03(4,41902)(1,32 + 59,736) \\ P_1 = 8,09423 \text{ Kg}$$

$$P_\Delta = \frac{2}{3} P_1 \quad \text{Ec. 2.11}$$

$$P_\Delta = \frac{2}{3} (8,09423) \\ P_\Delta = 5,39615 \text{ Kg}$$

$$P_R = \frac{1}{3} P_1 \quad \text{Ec. 2.12}$$

$$P_R = \frac{1}{3} P_1 = \frac{1}{3} (8,09423)$$

$$P_R = 2,69808 \text{ Kg}$$

g) Esfuerzo necesario para mover el material ( $P_2$ )

$$\text{líquido} = 421 \text{ ml} = 421 \text{ gr}_{\text{líquido}} + 9 \text{ gr}_{\text{botella}} = 430 \text{ gr}_{\text{total}}$$

$$Q = \text{peso} * N_{\text{veces}} \quad \text{Ec. 2.13}$$

$$Q = 0,43 \text{ gr} \left( \frac{70}{\text{h}} \right) = 30,1 \text{ Kg/h}$$

Q es el peso que transporta la banda por hora y v es la velocidad necesaria cuyo valor proviene de la ecuación 2.7.

$$P_2 = l' \frac{Q}{3,6 v} (L + l_0) \quad \text{Ec. 2.14}$$

$$P_2 = 0,03 \frac{30,1 \text{ Kg/h}}{3,6 \left( \frac{92,4 \text{ m}}{\text{h}} \right)} (1,32 + 59,736)$$

$$P_2 = 0,16575 \text{ Kg}$$

h) Esfuerzo total periférico del tambor motriz (P), es la suma de los resultados de las ecuaciones 2.10 y 2.14.

$$P = P_1 + P_2 \quad \text{Ec. 2.15}$$

$$P = 8,09423 + 0,16575$$

$$P = 8,25998 \text{ Kg}$$

i) Potencia absorbida por el transportador ( $P_t$ ), v es la velocidad de la ecuación 2.7 expresada en m/s.

$$P_t = \frac{P}{75} v \quad \text{Ec. 2.16}$$

$$P_t = \frac{8,25998 \text{ Kg}}{75} (1,54 \text{ m/s})$$

$$N = 0,169605 \text{ CV}$$

$$P_t = 124,65962 \text{ W}$$

- j) Potencia motriz necesaria ( $P_m$ ),  $\eta$  es el rendimiento que por sugerencia de diseño se usa el 89%.

$$P_m = \frac{P_t}{\eta} \quad \text{Ec. 2.17}$$

$$P_m = \frac{124,65962 \text{ W}}{0,89} = 140,0669 \text{ W}$$

- k) Cálculo de la potencia efectiva ( $P_{\text{efectiva}}$ ), se usa el resultado de la ecuación 2.17.

$$P_{\text{efectiva}} = P_m * \eta \quad \text{Ec. 2.18}$$

$$P_{\text{efectiva}} = 140,0669 * 0,89$$

$$P_{\text{efectiva}} = 124,6595 \text{ W}$$

- l) Cálculo de la fuerza periférica en el tambor ( $F_{pt}$ ),  $v$  es la velocidad de la ecuación 2.7 expresada en m/s.

$$F_{pt} = \frac{P_{\text{efectiva}} * 100}{v} \quad \text{Ec. 2.19}$$

$$F_{pt} = \frac{0,1246595 \text{ KW} * 100}{1,54 \text{ m/s}}$$

$$F_{pt} = 8,09473 \text{ N}$$

### 2.1.3. Banda transportadora secundaria

En el diseño de la banda se ha especificado que el material y las características de las cubiertas superior e inferior son las mismas que la banda principal, además se han tomado en cuenta los siguientes datos técnicos:

Largo de la banda (L)=550 mm

Ancho de la banda (B)=290 mm

m) Holgadura de la banda (c), usando la ecuación 2.3, donde B es el ancho de la banda principal, 290 mm (11,41732 plg).

$$c=0,055*(11,41732+0,9)$$
$$c=0,67745 \text{ plg}$$

n) Ancho plano de la banda – material (APB), usando la ecuación 2.4, B es el valor del ancho de la banda usado en el literal m).

$$APB=0,371*11,41732 \text{ plg}$$
$$APB=3,94370 \text{ plg}$$

o) Área del material a transportar (A), usando la ecuación 2.5, en donde h es la altura de la botella y b es el diámetro de la misma, tomando en cuenta que la banda transporta 2 líneas de botellas.

$$A=0,23*(0,132)$$
$$A=0,03036 \text{ m}^2$$

p) Cinta completamente cargada ( $V_c$ ), usando la ecuación 2.6, donde L es la longitud entre rodillos de la banda y A es el resultado obtenido en el literal o).

$$V_c = 0,55 * 0,03036$$
$$V_c = 0,016698 \text{ m}^3$$

q) Velocidad necesaria (V), usando la ecuación 2.7,  $N_{\text{veces}}$  es la cantidad de veces que pasan las botellas por hora (para este diseño se estima 70 veces/h) y L es la longitud de la banda usada en el literal p).

$$V = 70 * 0,55$$
$$V = 38,5 \text{ m/h}$$

En el cálculo del esfuerzo requerido se han tomado en cuenta los siguientes parámetros:

Diámetro de rodillos=90 mm

Peso de rodillo conectado al motor= 5,6965 Kg

Peso de rodillo exterior= 5,5578 Kg

Peso banda transportadora= 1,93 Kg

r) Esfuerzo necesario para mover la cinta en vacío ( $P_1$ ), donde  $Q_p$  es el peso de la banda y de los rodillos.

Usando la ecuación 2.8 obtenemos:

$$I_o = 60 - 0,2(0,55)$$
$$I_o = 59,89 \text{ m}$$

Usando la ecuación 2.9 obtenemos:

$$q_p = \frac{13,1843 \text{ Kg}}{0,55 \text{ m}}$$

$$q_p = 23,97145 \text{ Kg/m}$$

L es la longitud de la banda; l' proviene de la tabla 1 capítulo I; P<sub>Δ</sub> y P<sub>R</sub> es la el esfuerzo necesario para el movimiento en el tramo de carga y retorno, respectivamente.

Mediante la ecuación 2.10 obtenemos:

$$P_1 = 0,03(23,97145)(0,55+59,89)$$

$$P_1 = 43,46503 \text{ Kg}$$

Mediante la ecuación 2.11 obtenemos:

$$P_{\Delta} = \frac{2}{3}(43,46503)$$

$$P_{\Delta} = 28,97669 \text{ Kg}$$

Mediante la ecuación 2.12 obtenemos:

$$P_R = \frac{1}{3}P_1 = \frac{1}{3}(43,46503)$$

$$P_R = 14,48834 \text{ Kg}$$

- s) Esfuerzo necesario para mover el material (P<sub>2</sub>), usando la ecuación 2.14, Q es el peso que transporta la banda por hora proveniente de la ecuación 2.13 y v es la velocidad necesaria cuyo valor proviene del literal q).

$$P_2 = 0,03 \frac{30,1 \text{ Kg/h}}{3,6 \left( \frac{38,5 \text{ m}}{\text{h}} \right)} (0,55+59,89) \text{ m}$$

$$P_2 = 0,39378 \text{ Kg}$$

- t) Esfuerzo total periférico del tambor motriz (P), usando la ecuación 2.15, es la suma de los resultados P<sub>1</sub> y P<sub>2</sub> de los literales r) y s).

$$P=43,46503+0,39378$$

$$P=43,85881 \text{ Kg}$$

- u) Potencia absorbida por el transportador (P<sub>t</sub>), usando la ecuación 2.16, v es la velocidad del literal q) expresada en m/s.

$$P_t = \frac{43,85881 \text{ Kg}}{75} (0,64167 \text{ m/s})$$

$$P_t = 0,375 \text{ CV}$$

$$P_t = 275,18 \text{ W}$$

- v) Potencia motriz necesaria (P<sub>m</sub>), usando la ecuación 2.17, η es el rendimiento que por sugerencia de diseño se usa el 89%.

$$P_m = \frac{275,8 \text{ W}}{0,89} = 309,89 \text{ W}$$

- w) Cálculo de la potencia efectiva (P<sub>efectiva</sub>), usando la ecuación 2.18, se usa el resultado del literal v).

$$P_{efectiva} = 309,89 * 0,89$$

$$P_{efectiva} = 275,8021 \text{ W}$$

- x) Cálculo de la fuerza periférica en el tambor (F<sub>pt</sub>), usando la ecuación 2.19, v es la velocidad del literal q) expresada en m/s.

$$F_{pt} = \frac{0,2758021 \text{ KW} \cdot 100}{0,6417 \text{ m/s}}$$

$$F_{pt} = 42,9799 \text{ N}$$

## 2.2. DISEÑO NEUMÁTICO

Se calcula la aceleración de la botella para ello se parte de la carrera del pistón que en este caso es de 16 cm (Figura 2.4), el pistón parte del reposo, el tiempo máximo requerido para el desplazamiento es de 1s.

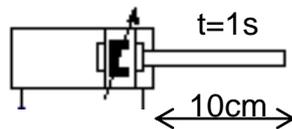


Figura 2.4: Longitud de la carrera del pistón de doble efecto

Por cálculo se obtiene que el pistón se extiende a una aceleración de  $a=0,32 \text{ m/s}^2$

Se realiza el diagrama de cuerpo libre de la botella (Figura 2.5) en la cual intervienen las siguientes fuerzas.

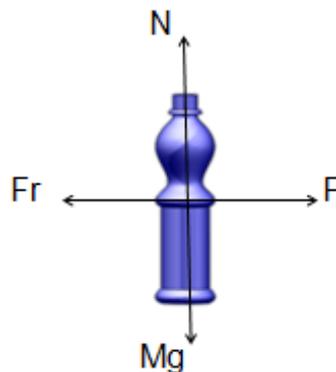


Figura 2.5: Diagrama de cuerpo libre de la botella

Donde:

F= Fuerza ejercida por el pistón para mover a la botella

Fr= Fuerza de rozamiento ejercida por la banda con un  $\mu=0,4$

Mediante la sumatoria de fuerza, se obtiene que el pistón empuja a la botella con una fuerza de  $F=1,827 \text{ N}$

Calculamos el área del pistón para un diámetro interno de 3,5 cm (Figura 2.6).

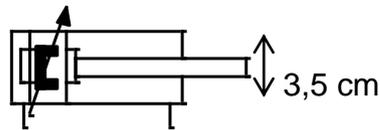


Figura 2.6: Diámetro interno del pistón de doble efecto

Con un radio de 1.75 cm se obtiene:

$$A=\pi r^2 \quad \text{Ec. 2.20}$$

$$A=9,621 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Procedemos a calcular la presión requerida por el pistón para desplazar la botella.

$$P=\frac{F}{A} \quad \text{Ec. 2.21}$$

$$P=\frac{1,827 \text{ N}}{9,621 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$P=1898,97 \text{ Pa}$$

$$P=1,89 \text{ bar}$$

En consecuencia, el diseño neumático consta de dos electroválvulas, activadas mediante 2 salidas de la DAQ (Figura 2.9), 2 pistones de 10 cm de carrera y 3,5 de diámetro interno (Figura 2.7) y una presión de aire de 1,89 bares.

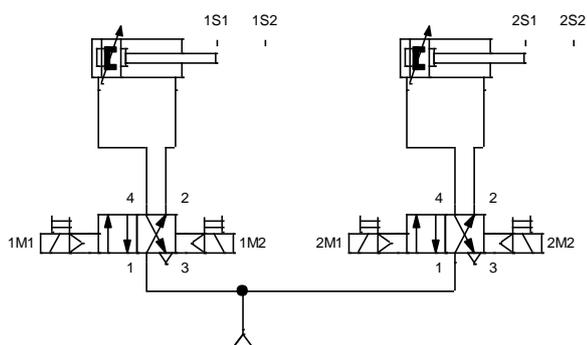


Figura 2.7: Esquema de funcionamiento del sistema neumático

## 2.3. DISEÑO ELÉCTRICO

### 2.3.1. Circuito de potencia motor DC

El diseño del circuito de potencia toma como referencia la señal de salida PWM, usada para el control de la velocidad de motores DC, proveniente de una salida de la DAQ.

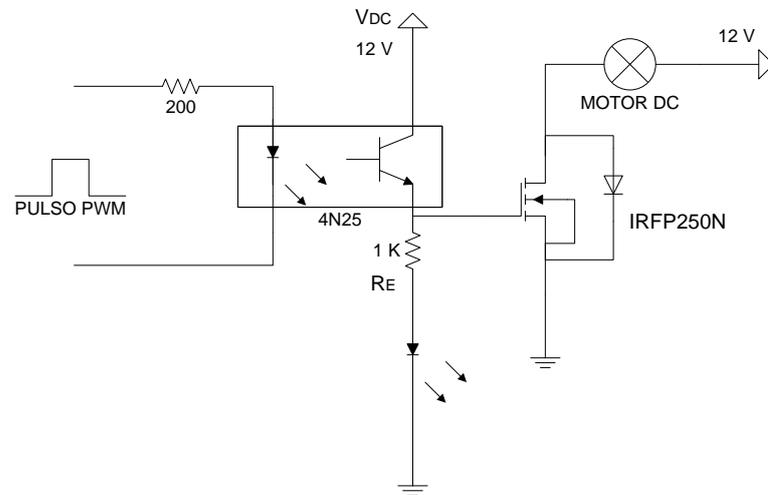


Figura 2.8: Circuito de potencia motores DC

La figura 2.8 muestra el diseño del circuito tomado en cuenta que la señal PWM es programable desde la computadora.

El uso del circuito integrado 4N25 permite proteger la señal de control, generada por la tarjeta DAQ, con el circuito de potencia para la conexión del motor DC.

Para el diseño del circuito se considera  $V_{DC}=12\text{ V}$  y que la corriente que circula por el transistor cerrado es de  $I_T=5\text{ mA}$  y con un coeficiente  $\beta=160$ . Además, para asegurar que el Mosfet se cierre completamente, se asume que en la resistencia del emisor del transistor existe  $2\text{ V}$ .

$$R_E = \frac{V_{DC}}{I_T} \quad \text{Ec. 2.22}$$

$$R_E = \frac{(12 - 0,2 - 1,8 - 2)\text{V}}{5\text{mA}}$$

$$R_E = 1600\Omega \approx 1\text{K}\Omega$$

$$I_{SAT} = \frac{V}{R} \quad \text{Ec. 2.23}$$

$$I_{SAT} = \frac{12V}{200\Omega}$$

$$I_{SAT} = 60mA$$

$$I_{B_{SAT}} = \frac{I_{SAT}}{\beta}$$

Ec. 2.24

$$I_{B_{SAT}} = \frac{60mA}{160}$$

$$I_{B_{SAT}} = 375\mu A$$

La activación de las electroválvulas se la realiza mediante la señal de 2 salidas de la tarjeta DAQ, por lo tanto, el circuito anterior puede ser re-diseñado para la activación de las bobinas de las electroválvulas.

En el re-diseño se cambia el mosfet de potencia IRFP250N de canal N por IRF9630 de canal P.

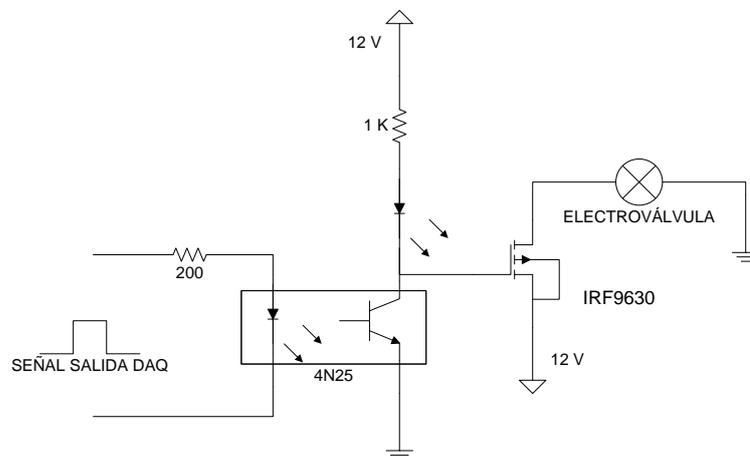


Figura 2.9: Circuito de activación de las electroválvulas

## 2.4 DISEÑO DE SOFTWARE

### 2.4.1 Herramientas de Labiew

Labview 2010 es un potente programa con mucha versatilidad, ya que sus herramientas han permitido que el procesamiento de imágenes y el control de todo el sistema se haga desde un mismo programa.

Entre las herramientas utilizadas para el diseño del software de control del sistema tenemos:

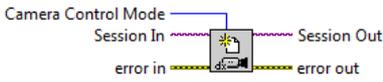
a)  **error in**  **task out**  **error out**      Config crt0: Configuración de un contador de la DAQ para realizar un pwm.

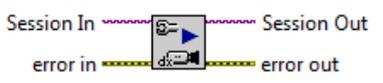
b)  **task/channels in**  **task out**  **error in**  **error out**      DAQmx Start Task: Transición de la tarea al estado de ejecución, comenzará la generación de pulsos. El uso de este VI es necesario para algunas aplicaciones y es opcional para otras.

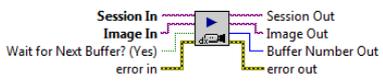
c)  **reference**  **error in (no error)**  **property 2**  **class**  **name 1**  **name 2**  **property 1**  **reference out**  **error out**  **property 1**  **...**      Property Node: Obtiene lecturas y escribe las propiedades de una referencia. Este nodo de propiedad obtiene instancias remotas de aplicaciones, VIs, y los objetos. También accede a los datos privados de una clase LabView.

d)  **task in**  **error in**  **error out**      DAQmx Clear Task: Borra la tarea, antes de borrar, este VI aborta la tarea, si es necesario, y libera todos los recursos de la tarea reservados. No se puede

utilizar una tarea después de que se desactive a menos que se recree la tarea.

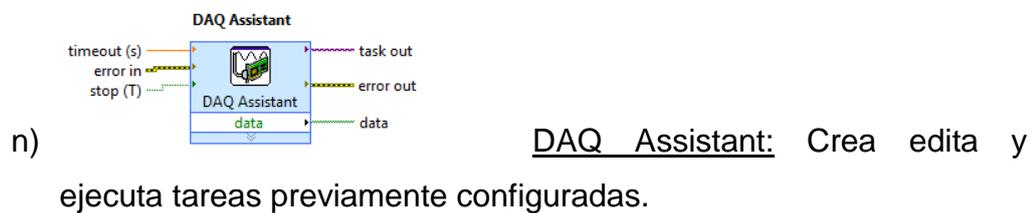
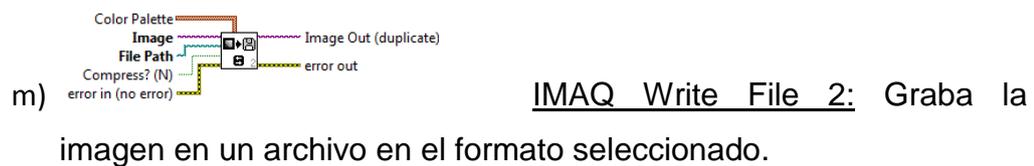
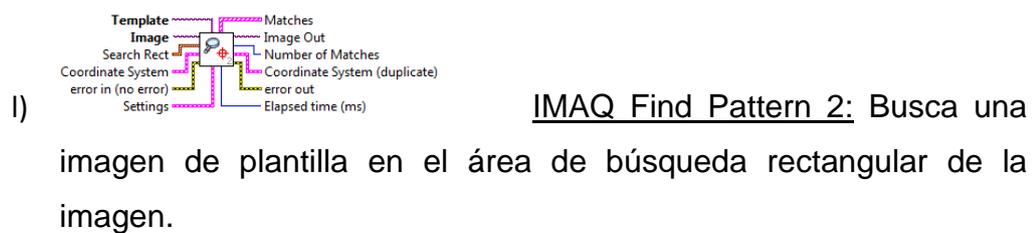
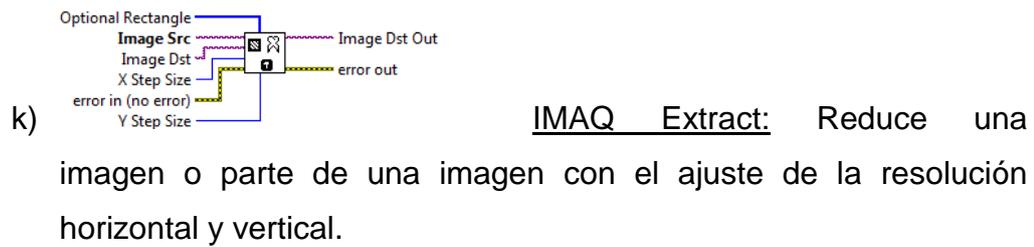
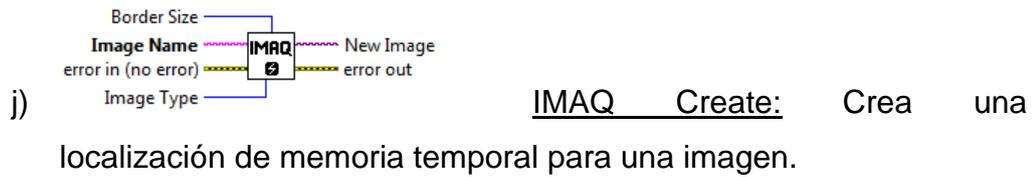
- e)  IMAQdx Open Camera: Abre una cámara, consulta las capacidades de la cámara, carga un archivo de configuración de la cámara, y crea una referencia única.

- f)  IMAQdx Configure Grab: Configura e inicia una adquisición de grabación que se repite continuamente en un anillo. Adquiere imágenes a alta velocidad. Copia una imagen de la memoria intermedia.

- g)  IMAQdx Grab: Adquiere el marco de la imagen. Si el tipo de imagen no coincide con el formato de vídeo de la cámara, este VI cambia el tipo de imagen a un formato adecuado.

- h)  IMAQdx Close Camera: Detiene la adquisición y se cierra la sesión de la cámara especificada.

- i)  IMAQ ExtractSingleColorPlane: Extrae un plano simple de la imagen a color.



## 2.4.2. Diagramas de bloques

### a) Programa PWM

El circuito digital mostrado en la Figura 2.10 configura una salida de la tarjeta DAQ USB-6210 como un generador de pulsos para el control de la velocidad de los motores, es decir, que la salida funcione como un control PWM.

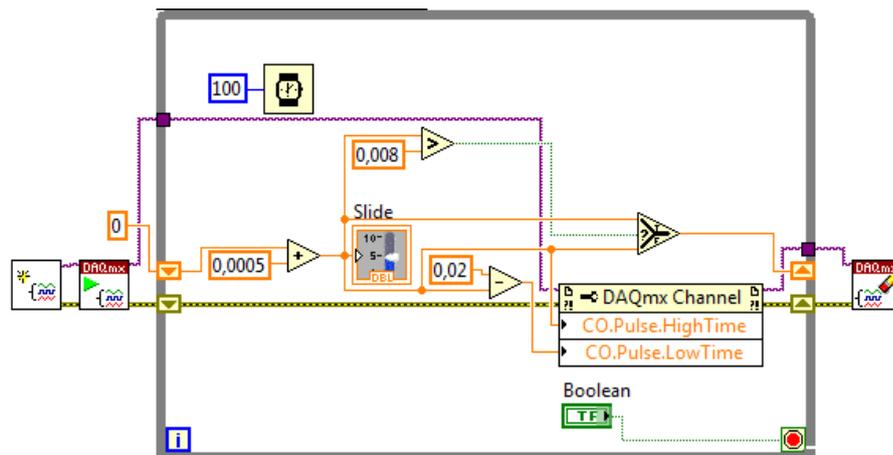


Figura 2.10: Diagramas de bloques circuito PWM

### b) Programa Sensor Visual

La versatilidad de la cámara es considerada y usada como un sensor visual, el diagrama de bloques de la Figura 2.11 muestra la configuración establecida para que la cámara capte el instante en el que pasa una botella y capture la imagen. El VI primero activa la cámara seleccionada por el operador para que las herramientas realicen el procesamiento de imágenes, luego buscan un patrón similar a la plantilla guardada en la base de datos; de ser encontrada una coincidencia, por último, se muestra un recuadro rojo visible en la sección de la imagen para que el operador pueda asegurarse que es correcta el procesamiento de la imagen.

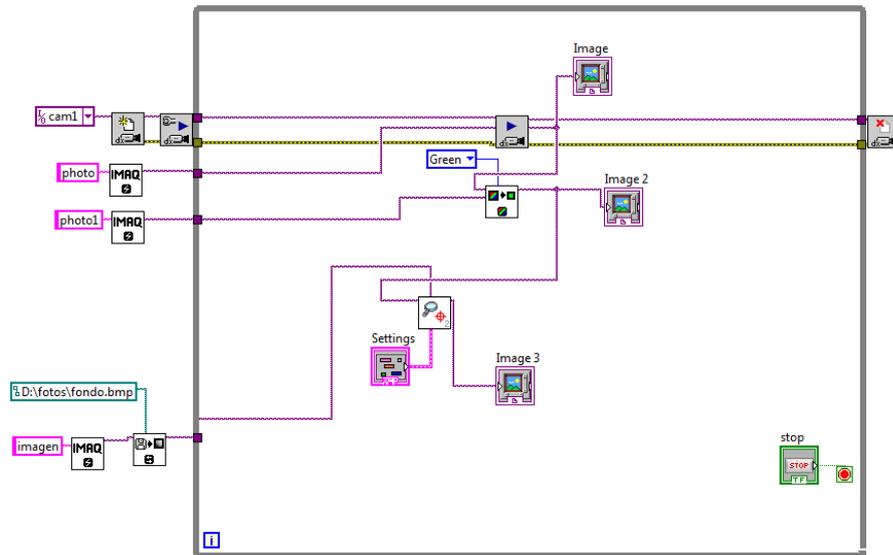


Figura 2.11: Diagrama de bloques sensor visual

### c) Programa de adquisición de imágenes

La Figura 2.12 muestra el circuito establecido para la adquisición de imágenes usando la misma cámara. El VI es la terminación del que se encuentra en el literal a), lo que se agrega en el diagrama es que al instante de que se encuentra una coincidencia, el programa guarda automáticamente la imagen en la dirección y con la extensión que el operador indique.

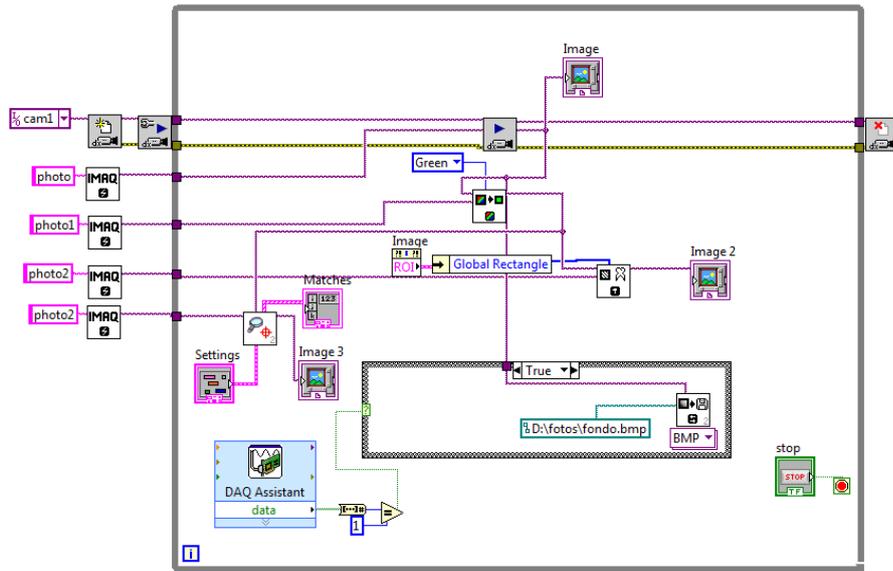


Figura 2.12: Diagrama de bloques adquisición de imágenes

#### d) Programa de búsqueda de patrones

Para el reconocimiento de las botellas, el programa usa plantillas que son previamente establecidas para cada color. La Figura 2.13 muestra el diagrama para el reconocimiento del color de las botellas. Las herramientas conectadas indican los parámetros que serán usados, o a su vez calibrados, en el proceso de búsqueda de color de la plantilla de la base de datos para ser mostrados en el panel frontal del programa.

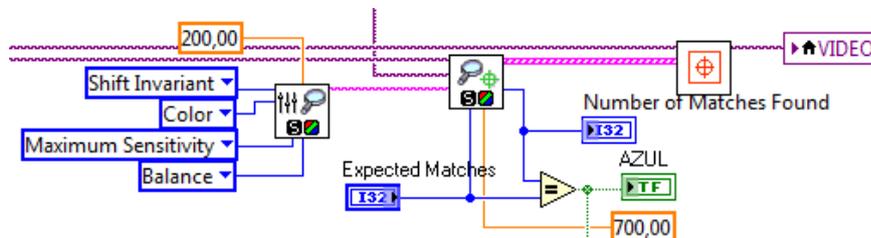


Figura 2.13: Diagrama de búsqueda de patrones

## 2.5. IMPLEMENTACIÓN

### 2.5.1. Construcción Mecánica

La construcción y montaje del prototipo empieza con el diseño en un software para ingeniería, en este caso se trata de SolidWorks 2010 en el cual fue creado el ensamble final (Figura 2.14) y los planos de construcción para ser ocupados en la fabricación del prototipo.

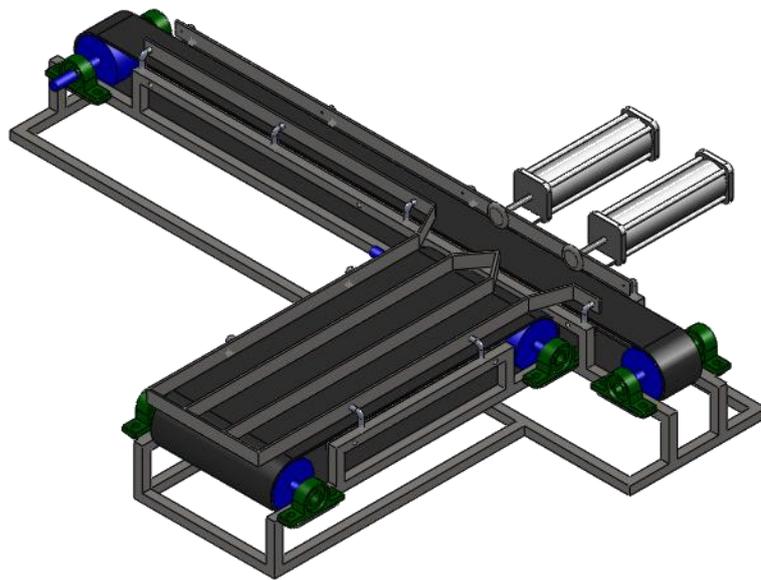


Figura 2.14: Ensamble final de la estructura mecánica

El ensamble inicia con la construcción de la estructura mecánica hecha con perfiles de 2cm de acero 1020. Los rodillos que transfieren el movimiento del motor son ejes de acero de 9cm de diámetro torneados en los extremos para ser sujetos por chumaceras de  $\frac{3}{4}$  plg. La estructura cuenta con 2 placas que permiten la sujeción de los pistones a una distancia y en una posición apropiada para que puedan extenderse sin complicaciones (Figura 2.15); además, un acople soldado para la ubicación y fijación de la cámara para el procesamiento de imágenes.



Figura 2.15: Estructura mecánica

### 2.5.2. Control Eléctrico y Electrónico

La elaboración del control eléctrico tiene su inicio en el panel de control, que permite la alimentación de energía a toda la aplicación (Figura 2.16), es decir, enciende la fuente de alimentación y energiza los circuitos de control de los motores y las electroválvulas.

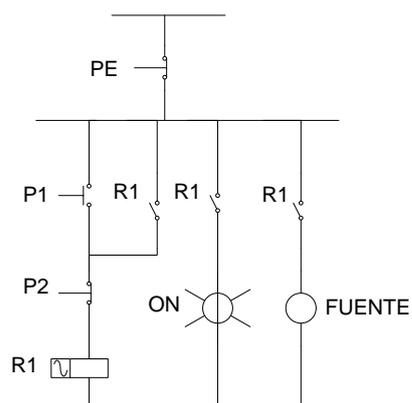


Figura 2.16: Diagrama del Panel Eléctrico

El diseño de los circutos de control se realiza en un programa de simulación, en este caso se trata de Proteus, la Figura 2.17 muestra el circuito simulado en el programa.

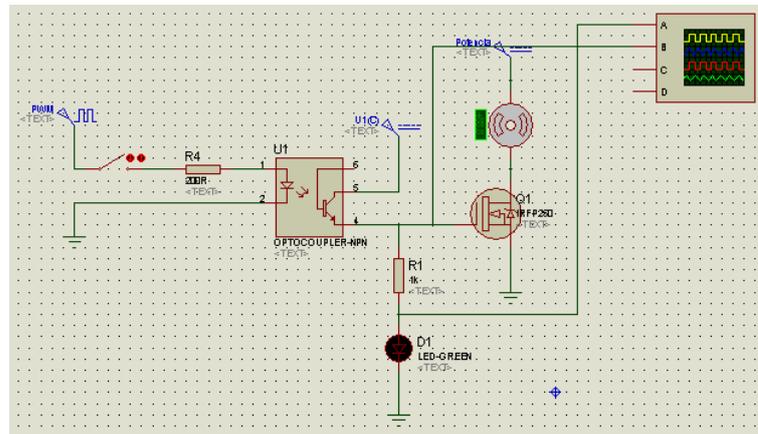


Figura 2.17: Circuito simulado de control de motores

Concluyendo que en el simulador el circuito funciona perfectamente se procede a realizar las placas para el panel de control. La Figura 2.18 muestra la placa del circuito con sus elementos.

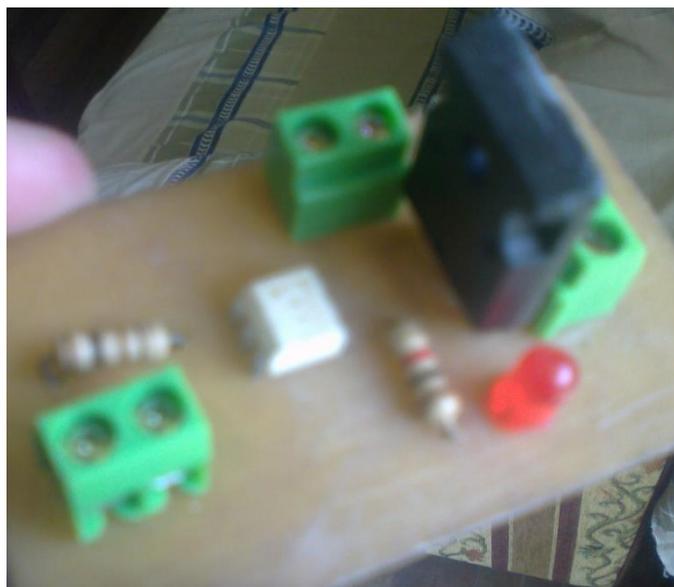


Figura 2.18: Placa del circuito de control

La Figura 2.19 muestra el interior del panel con el control eléctrico, la fuente de alimentación y los circuitos de control.



Figura 2.19: Interior del panel de control

### 2.5.3. Elaboración del software

El software de control de la aplicación se basa en las herramientas de visión de LabView 2010, de los diagramas de bloques (anteriormente especificadas en la sección 2.4) y de un algoritmo apropiado para que su funcionamiento vaya en perfecta concordancia con la parte mecánica y eléctrica del sistema.

La adquisición de imágenes, el funcionamiento de los motores y la activación de las electroválvulas se encuentran en el mismo lazo repetitivo (Figura 2.20), con la finalidad de que se activen y desactiven en el mismo instante en el que el programa detecte las botellas y su color.

Para la selección de las botellas es necesario realizar un registro de cada una, por lo que, el registro también se encuentra dentro del mismo lazo de repetición.

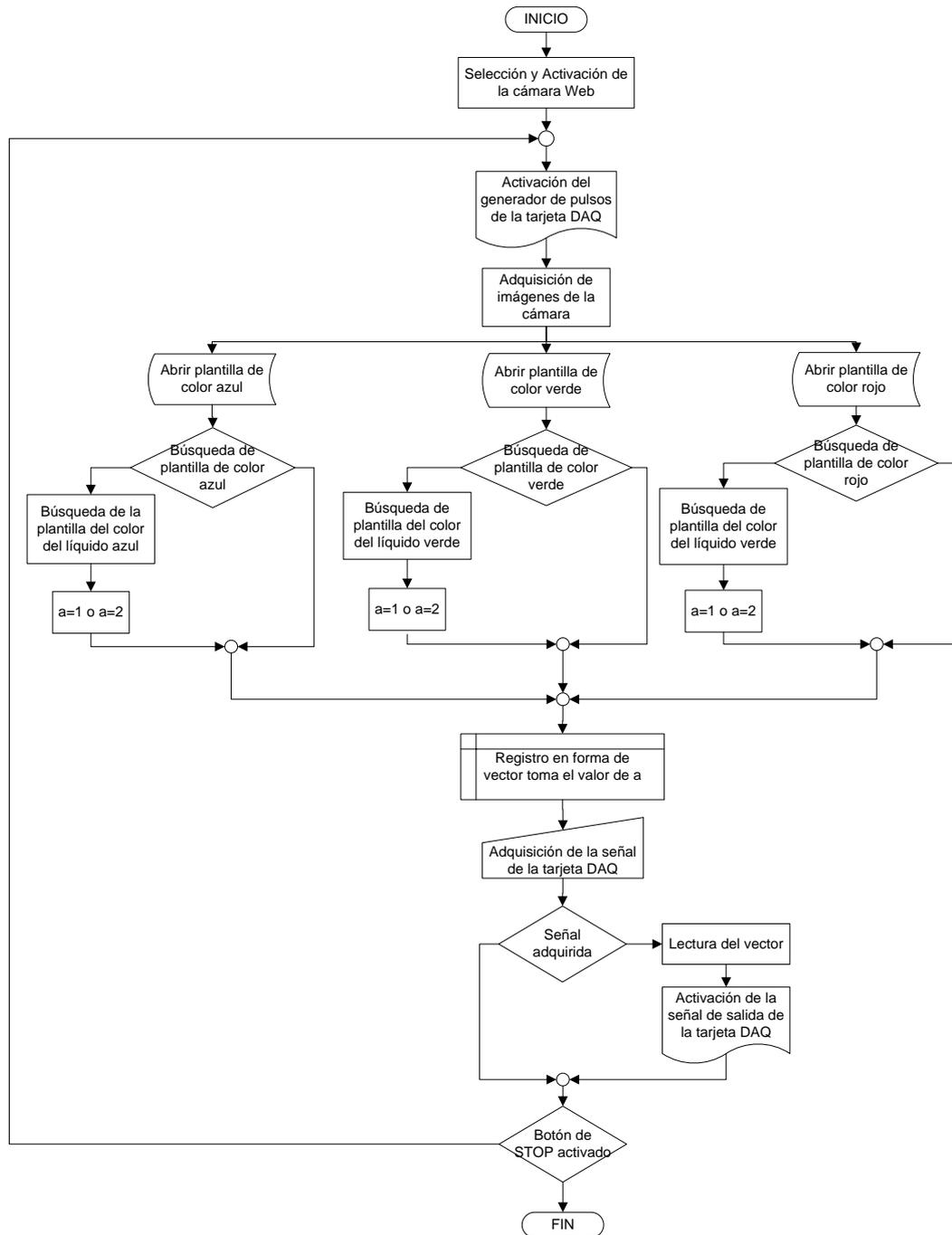


Figura 2.20: Diagrama de flujo del Programa de la Aplicación

La activación de los pistones neumáticos se efectúa en el instante en el que la tarjeta DAQ recibe una señal en una de sus entradas, de ser

verdadera la lectura de la señal de entrada, el programa procede a leer el registro para comprobar si las botellas son buenas o son malas. Dependiendo de la lectura del registro, se activa el primer pistón en caso de ser botellas buenas o el segundo pistón en caso de ser malas. Para la activación de cada pistón el programa envía una señal para que se active el circuito del pistón mediante una de las salidas de la tarjeta (Figura 2.21).

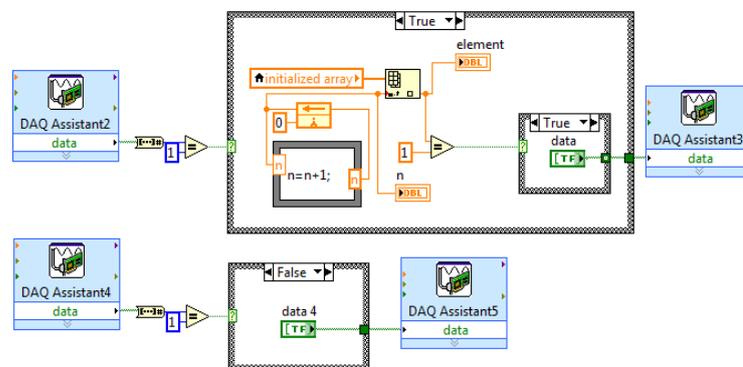


Figura 2.21: Activación de las electroválvulas

El diseño del programa tiene previsto el tiempo necesario para que la activación de la señal de salida de la DAQ perdure lo suficiente, permitiendo que el pistón se extienda completamente y se retraiga en el preciso momento cuando la botella pase a la banda secundaria.

#### 2.5.4. Aplicación Instalada

La Figura 2.22 muestra el sistema totalmente instalado tanto la parte mecánica, eléctrica y software.



Figura 2.22: Aplicación para Procesamiento de Imágenes

## CAPÍTULO III

### ANÁLISIS Y PRUEBAS DE RESULTADOS

#### 3.1. PRUEBAS Y RESULTADOS MECÁNICOS

##### 3.1.1. Pruebas Mecánicas

Para las pruebas de la estructura mecánica se las efectuaron en el programa de diseño y simulación SolidWork 2010. El ensamble final es en el que se efectúa el análisis de Tensión de Von Mises y el factor de seguridad. Para el ensamble se establece que el material es acero AISI 1020 debido a sus características técnicas que lo hacen manejable para una construcción mecánica.

##### a) Tensiones de la estructura principal, transporte de botellas de banda principal

La estructura principal está diseñada para que soporte una fuerza de  $W_1=61,2945 \text{ N/m}$  que corresponde al peso máximo de la banda totalmente cargada con las botellas a ser verificadas (Tabla 3.1).

Tabla 3.1. Tensión Von Mises, estructura principal

Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Tensión de von Mises	0.000455751 N/m <sup>2</sup>	(19.6503 mm, -100 mm, 155 mm)	3.23867e+006 N/m <sup>2</sup>	(433.329 mm, 44.5787 mm, -65.5167 mm)

En la Figura 3.1 se muestra de manera gráfica la sección que debería tender a deformarse en la estructura principal.

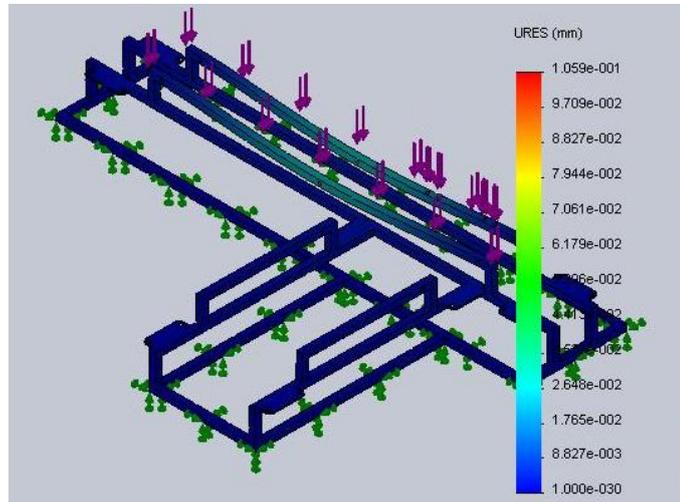


Figura 3.1: Simulación del estudio de Tensiones de la estructura principal

### b) Propiedades físicas de la estructura principal

En resumen el análisis de la estructura principal consta de las propiedades físicas mostradas en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Propiedades físicas de la estructura principal

Nombre de propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	2e+011	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.29	NA
Módulo cortante	7.7e+010	N/m <sup>2</sup>
Densidad	7900	kg/m <sup>3</sup>
Límite de tracción	4.2051e+008	N/m <sup>2</sup>
Límite elástico	3.5157e+008	N/m <sup>2</sup>

**c) Tensiones de la estructura secundaria, contención de la estructura principal**

Para las pruebas de la estructura secundaria, el valor máximo de fuerza que se aplica es de  $W_1=52,675 \text{ N/m}$  que es el peso máximo de cuando la banda está completamente cargada con las botellas clasificadas. (Tabla 3.3)

Tabla 3.3. Tensión Von Mises, estructura secundaria

Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Tensión de von Mises	8.21381e-005 N/m <sup>2</sup>	(-42.3188 mm, -100 mm, -145 mm)	5.41834e+006 N/m <sup>2</sup>	(129.888 mm, -149.405 mm, 56.2091 mm)

La figura 3.2 muestra gráficamente las secciones de la estructura que debería deformarse.

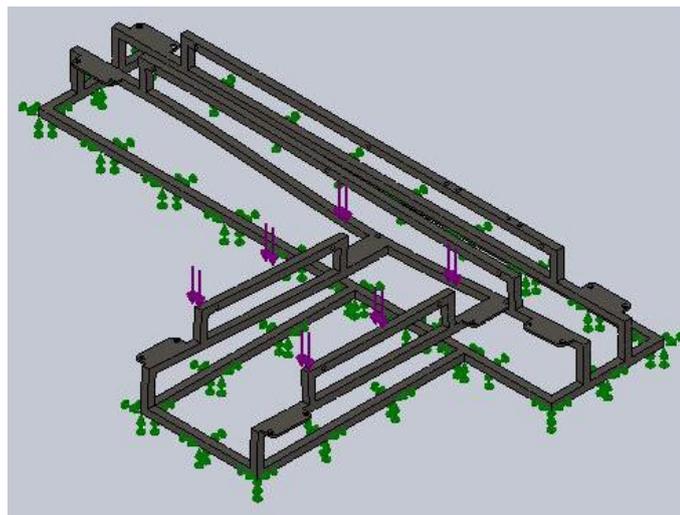


Figura 3.2: Simulación del estudio de tensiones de la estructura secundaria

#### d) Propiedades físicas de la estructura secundaria

El resumen de las pruebas de la estructura secundaria se encuentra en la tabla 3.4 especificando los valores de sus propiedades físicas.

Tabla 3.4. Propiedades físicas, estructura secundaria

Nombre de propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	2e+011	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.29	NA
Módulo cortante	7.7e+010	N/m <sup>2</sup>
Densidad	7900	kg/m <sup>3</sup>
Límite de tracción	4.2051e+008	N/m <sup>2</sup>
Límite elástico	3.5157e+008	N/m <sup>2</sup>

#### e) Factor de seguridad de la estructura mecánica

Con base a los parámetros especificados el factor de seguridad más bajo encontrado en el diseño es de 10,9563 (Figura 3.3).

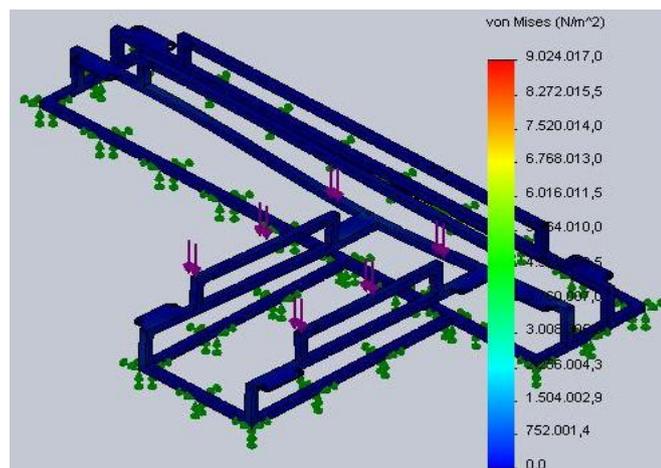


Figura 3.3: Simulación del Factor de seguridad de la estructura secundaria

### 3.1.2. Resultados Mecánicos

Para el garantizar el funcionamiento de las bandas, cada motor está conectado al rodillo por una manzana como se muestran en las figuras 3.4 y 3.5.



Figura 3.4: Motor de la banda principal conectado al rodillo



Figura 3.5: Motor de la banda secundaria conectado al rodillo

Para el transporte de las botellas de la banda principal a la secundaria, los pistones neumáticos tienen un acople mecánico (figura 3.6) que les permite empujar a cada botella asegurando que no sufran ningún tipo de deformación.



Figura 3.6: Pistones neumáticos

La transportación de las botellas de la banda principal a la banda secundaria se da en el instante en el que se activan los interruptores que verifican el paso de las botellas (figura 3.7); el programa hecho en LabView se encarga de activar las electroválvulas que extienden los pistones para la selección de las botellas buenas y malas.



Figura 3.7: Botella activando el primer interruptor

La fuerza con la que se extiende el primer pistón provoca una inestabilidad en la botella, por lo que, para amortiguar la fuerza con la que la botella pasa a la banda secundaria existen rodillos (figura 3.8) que ayudan a estabilizar el transporte de la botella evitando que se caiga (figura 3.9).



Figura 3.8: Rodillos de amortiguamiento



Figura 3.9: Botella transportada a la banda secundaria

Debido a que el segundo pistón es 1cm más corto, los rodillos de amortiguamiento se encuentran más cerca que en el primero para el paso normal de las botellas (figura 3.10).



Figura 3.10: Transporte de botellas usando el segundo pistón

Por el cambio brusco de la velocidad de transporte de la botella de la banda principal a la secundaria, las guías de la banda secundaria (figura 3.11) cuentan con pernos que evitan que las botellas salgan de su trayectoria.



Figura 3.11: Guías de la banda secundaria

Comprobando el buen funcionamiento de los pistones se transportaron 50 botellas para cada pistón, dando como resultado la siguiente tabla:

Tabla 3.5: Tabla de resultados obtenidos

Número de Botellas	Pistón 1		Pistón 2	
	Firmes	Caídas	Firmes	Caídas
100	48	2	48	2

Proporcionando una eficiencia del 96% para cada pistón.

## 3.2. PRUEBAS Y RESULTADOS ELÉCTRICOS

Las pruebas del control eléctrico y de los circuitos de control se han elaborado dentro del panel de control y también por separado.

### 3.2.1. Control Eléctrico

Las pruebas para el circuito de control eléctrico fueron realizadas en FluidSim y también en forma física usando contactores y relés. En el programa el circuito de control no presentaba ningún inconveniente activándolos en forma instantánea (Figura 3.12).

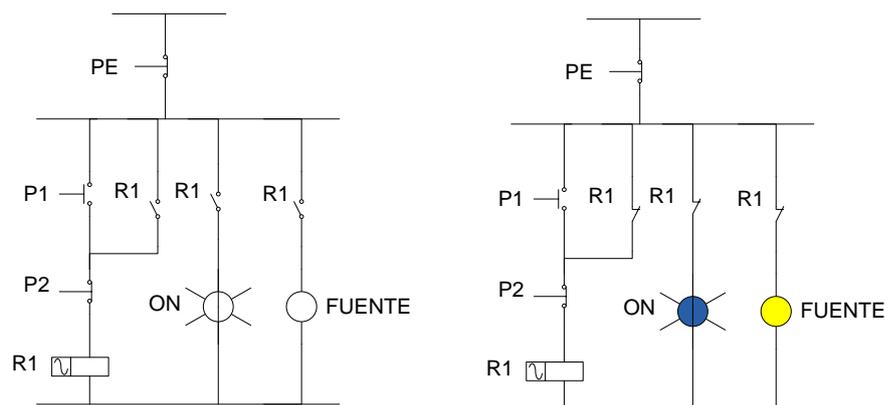


Figura 3.12: Pruebas del Circuito de Control en FluidSim

En las pruebas físicas el circuito funciona correctamente alimentando a los relés, las luces piloto y la fuente de alimentación DC sin presentar sobrecargas o fallas en el circuito (Figura 3.13).



Figura 3.13: Circuito del Control Eléctrico

### 3.2.2. Circuito de control

Al igual que el circuito de control eléctrico, las pruebas para el circuito de control de los motores fueron efectuadas en un programa de simulación (Proteus) y también conectando el circuito en protoboard. El programa Proteus permite comprobar que los dispositivos funcionan al instante de que se recibe una señal activando el motor o las electroválvulas (Figura 3.14).

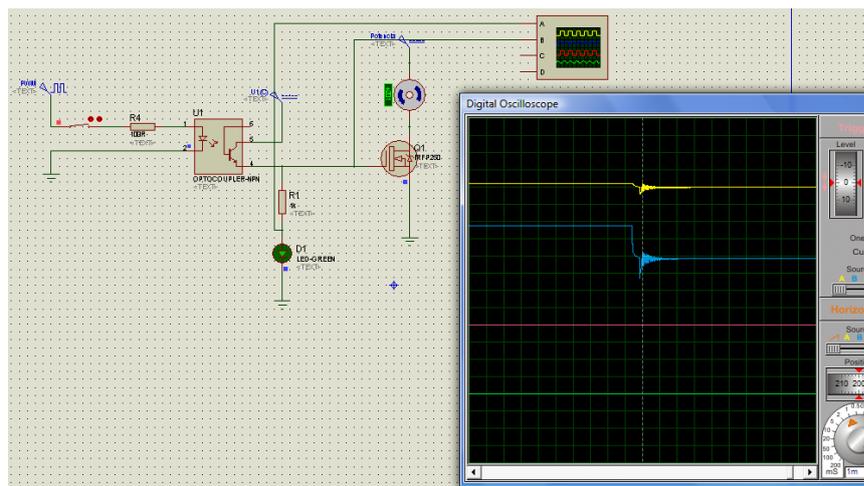


Figura 3.14: Circuito de control de los motores simulado en Proteus

Los elementos de la placa se mantienen con una temperatura normal conduciendo sin complicaciones (Figura 3.15). Al mosfet de potencia se le adiciona un disipador de calor debido a la probabilidad de que tienda a calentarse ya que soporta una potencia de 16 W.

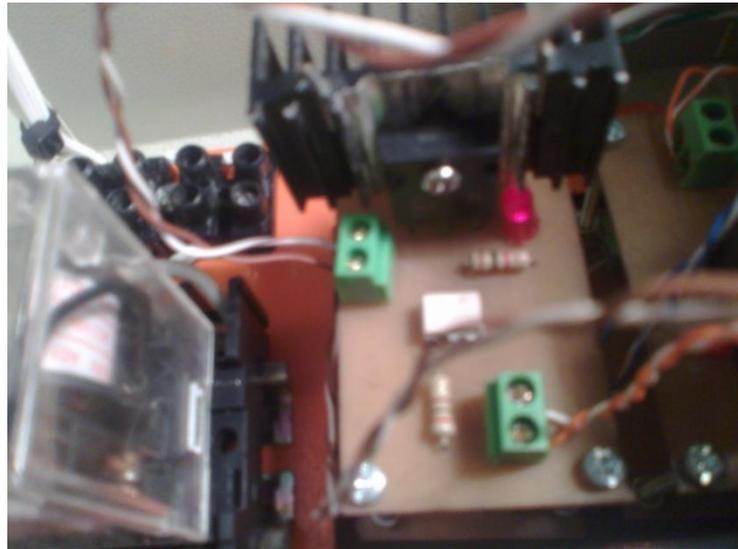


Figura 3.15: Circuito de control

### **3.3. PRUEBAS DE COMUNICACIÓN ENTRE SOFTWARE Y DAQ.**

La comunicación entre el programa y la tarjeta DAQ es verificada por el usuario cada vez que el programa es ejecutado o abierto. Para las pruebas de comunicación la tarjeta DAQ está conectada a los circuitos de control (Figura 3.16).



Figura 3.16: Tarjeta DAQ conectada a los circuitos de control

Con el programa ejecutado y activando intencionalmente las salidas de la tarjeta (Figura 3.17), se obtiene una comunicación inmediata; por la falta de instrumentos de medición no es posible especificar el tiempo de retardo en la comunicación, pero por observaciones realizadas en las pruebas estimamos que el tiempo se encuentra en el rango de los 10 a 20mseg.

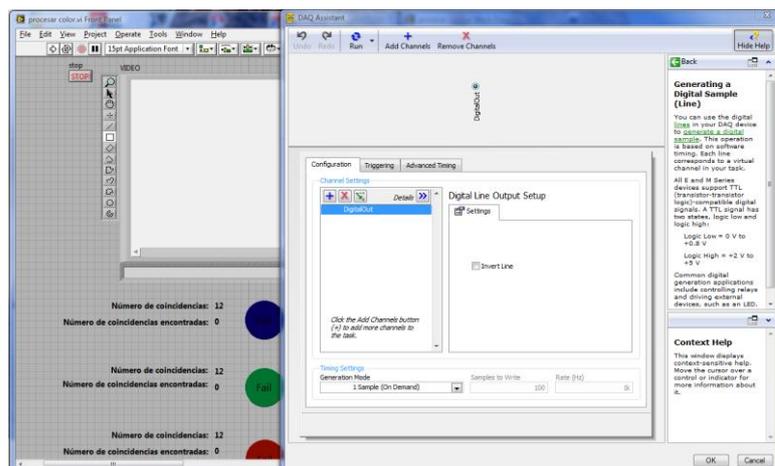


Figura 3.17: Activación de la salida digital de la Tarjeta DAQ

Para las pruebas de comunicación se toma en consideración que el tiempo máximo es de 250mseg, el cual, es el intervalo de duración para cada interacción del lazo repetitivo en el programa. Este período de tiempo permite mantener activa la señal lo suficiente para que el pistón pueda extenderse por completo.

### 3.4. PRUEBAS DE ADQUISICIÓN DE IMÁGENES

Las pruebas de adquisición de imágenes se realizan en la ejecución del programa, es decir, en el instante de la detección de la botella se crea un recuadro rojo visible en la misma herramienta para visualizar las capturas de la cámara (Figura 3.18).

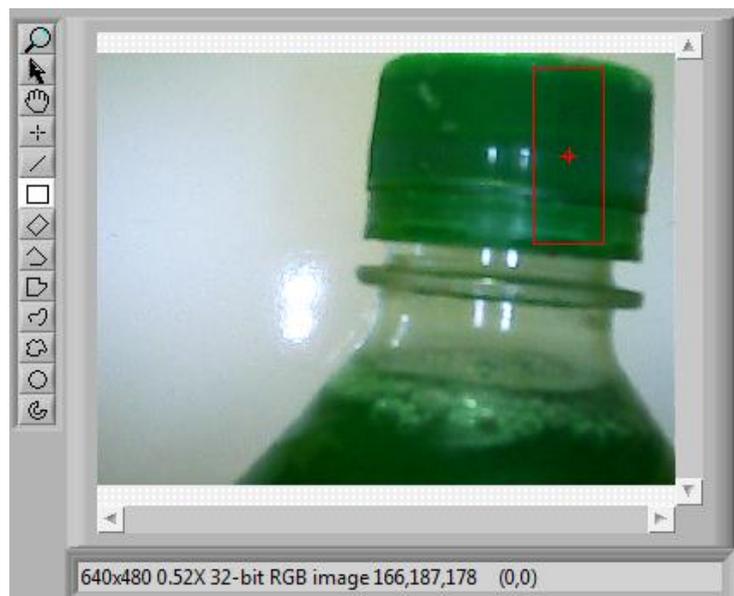


Figura 3.18: Herramienta de visión Image Display

### 3.4.1. Pruebas realizadas con diferentes botellas

A continuación se indica las imágenes procesadas a distintas botellas sometidas a la verificación del color de su tapa y líquido. Para la confirmación visual, en el panel frontal del programa se encienden luces pilotos especificando el color de la tapa y el líquido.

- **Prueba 1**

La botella analizada tenía una tapa y líquido de color azul (Figura 3.19).

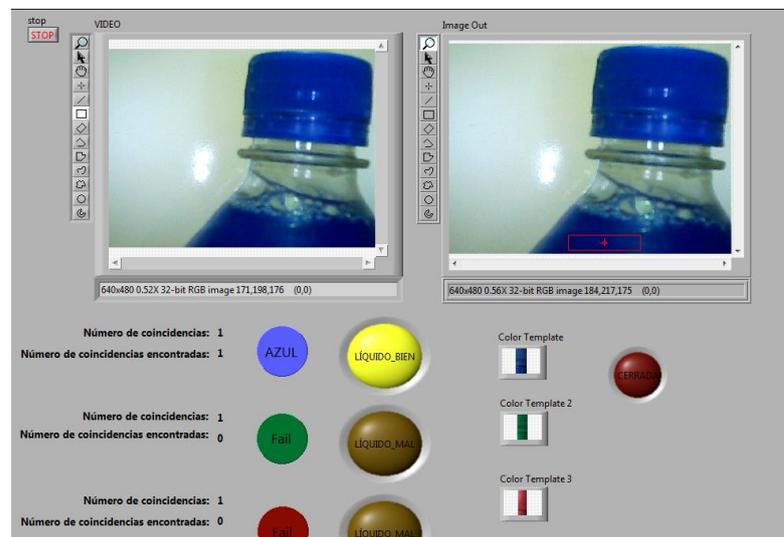


Figura 3.19: Botella correcta azul

- **Prueba 2**

La botella analizada tenía una tapa y líquido de color verde (Figura 3.20).

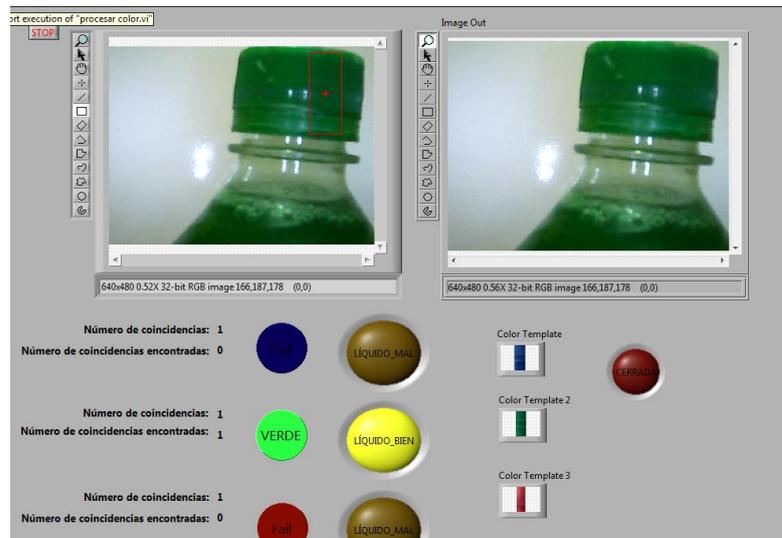


Figura 3.20: Botella correcta verde

- **Prueba 3**

La botella analizada tenía una tapa y líquido de color rojo (Figura 3.21).

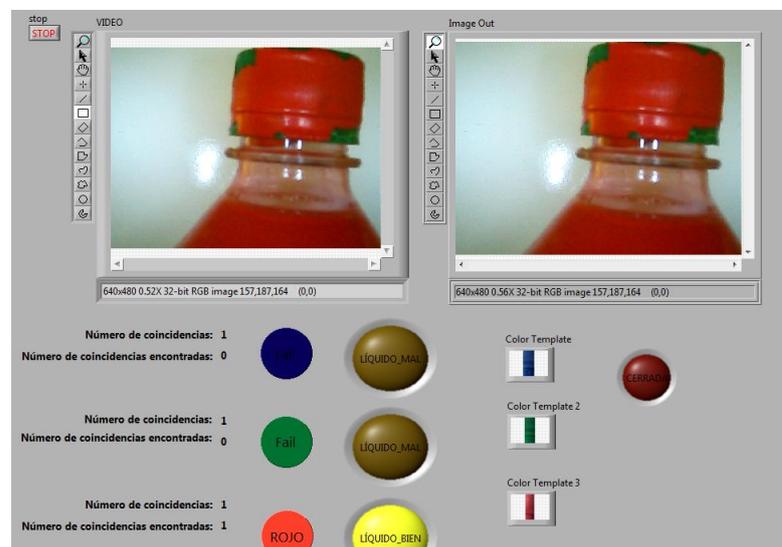


Figura 3.21: Botella correcta roja

Las siguientes pruebas son realizadas para comprobar que el programa si detecta y reconoce las botellas erróneas, es decir, que el color de la tapa no corresponde al color del líquido.

- **Prueba 4**

La botella analizada tenía una tapa azul y líquido de color verde (Figura 3.22).

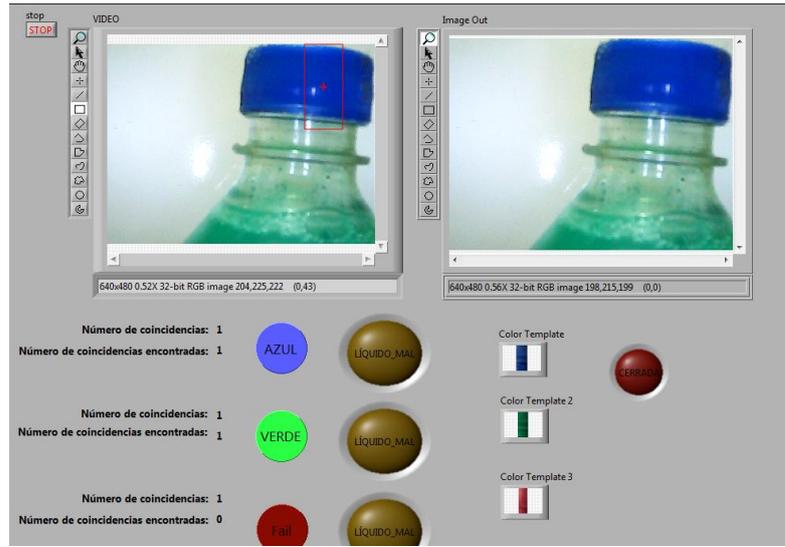


Figura 3.22: Botella incorrecta de tapa azul

- **Prueba 5**

La botella analizada tenía una tapa verde y líquido de color rojo (Figura 3.23).

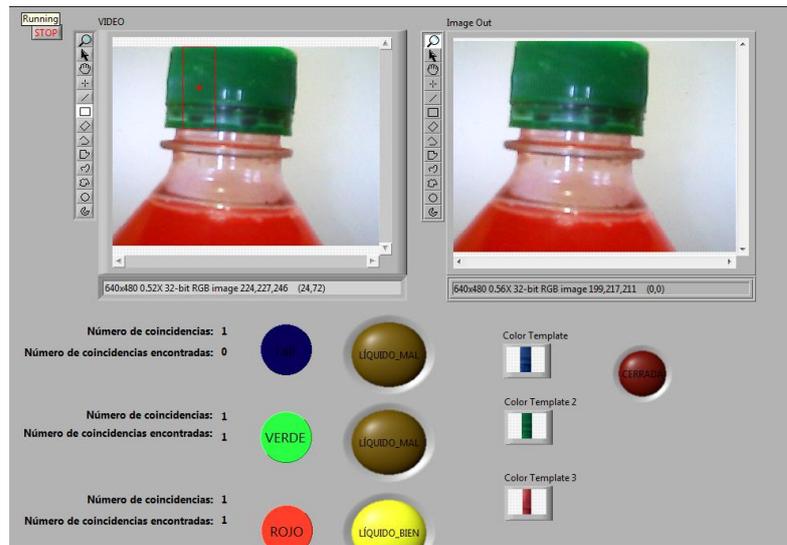


Figura 3.23: Botella incorrecta de tapa verde

- Prueba 6

La botella analizada tenía una tapa roja y líquido de color azul (Figura 3.24).

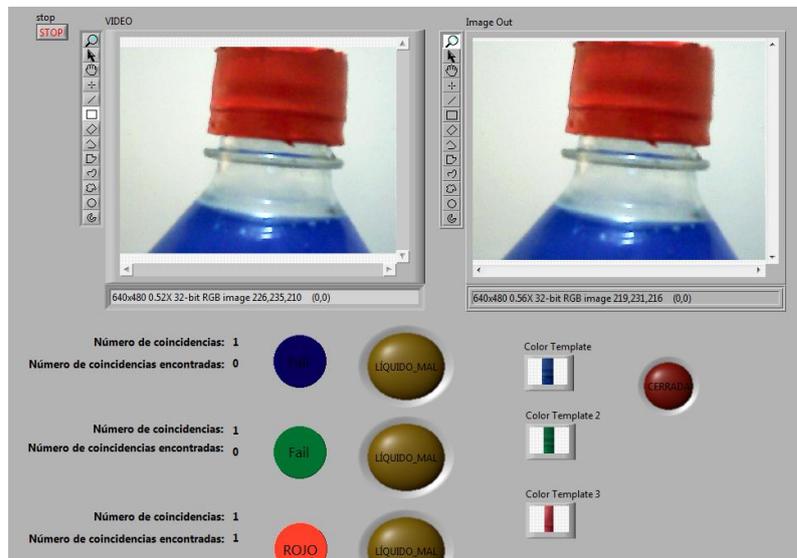


Figura 3.24: Botella incorrecta de tapa roja

### 3.5. VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS

En el desarrollo del proyecto de diseño y construcción de un sistema automático de control e inspección de botellas selladas con tapas tipo rosca, se estableció como hipótesis que el uso de procesamiento de imágenes permitirá optimizar los tiempos en el proceso de empaquetado, lo cual se demuestra en base a las siguientes razones:

- Las pruebas realizadas anteriormente, muestran que el sistema de control e inspección usando procesamiento de imágenes mediante una cámara digital, permite simular a la perfección al ojo humano. Por lo tanto, la inspección visual de la aplicación es completamente favorable sin la necesidad de la intervención de un operador.
- La verificación de colores de las tapas y del líquido, mientras las botellas se encuentran en movimiento evita hacer paros innecesarios, es decir, la aplicación efectúa el procesamiento de imágenes en tiempo real y sin interferencias con la transportación del producto, por lo que el sistema no aumenta el tiempo de empaquetado del producto.
- El sistema no está fijado a la verificación de una cantidad específica de colores; lo que la principal característica de la aplicación es su versatilidad, permitiendo extender su rango de verificación, es decir, aumentar los colores que el sistema puede reconocer y clasificar.

También se plantea la posibilidad de que al programa se incremente el nivel de verificación del procesamiento de imágenes, es decir, que se efectúe un control del estado físico de las botellas para la clasificación.

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Durante el desarrollo y al culminar el proyecto de tesis, se ha obtenido las siguientes conclusiones y recomendaciones, las cuales son importantes para las aplicaciones futuras del presente proyecto y el procesamiento de imágenes.

#### **4.1. CONCLUSIONES**

- Los programas que se desarrollen deben ser elaborados con las herramientas adecuadas que se adapten a las necesidades del sistema a implementar. En este proyecto se diseñó un programa para el cual se utilizó herramientas de visión artificial que captura imágenes en tiempo real.
- Los sistemas mecánicos que se implementan en un proyecto, deben implementarse de acuerdo a las necesidades del mismo. Se diseñó la estructura requerida para implantar un sistema de transporte por medio de bandas y pistones neumáticos para botellas de 430 ml, con una base máxima de 7 cm de diámetro.
- Los circuitos que se efectúan deben asegurar el funcionamiento de elementos de potencia y de control. Se implementó circuitos para controlar motores y electroválvulas por medio de señales de la DAQ.
- El sistema neumático desarrollado debe asegurar el transporte óptimo de los objetos. Para este sistema se implementó un amortiguamiento para disminuir el impacto de la fuerza del pistón en las botellas para evitar que se caigan.

- Para el procesamiento de imágenes en tiempo real se debe asegurar el entorno del área de captura de la imagen. Se colocó una pantalla al frente de la cámara para que las imágenes adquiridas tengan el mismo fondo evitando inconvenientes en el procesamiento de imágenes.
- Los programas deben ser elaborados bajo una base de datos. Se tomaron muestras de las botellas desde el asistente de ImaqVision para la detección de color.
- El sistema de transporte por bandas debe ser creado con un material de acuerdo al objeto a transportar. Se usa un material especial para la fabricación de las bandas evitando posibles deformaciones en las mismas.
- La iluminación debe ser adecuada para la óptima calidad de la imagen. La luz sobre la sección capturada por la cámara afecta el procesamiento de la imagen ocasionando errores y un mal reconocimiento por el programa.
- Los motores deben ser adquiridos según la aplicación. Se coloca motores de torque elevado en ambas bandas debido a que los rodillos de transferencia de movimiento son grandes y pesados.
- El proyecto debe ser diseñado para optimizar tiempos. Se evitó paros innecesarios cumpliendo la hipótesis planteada.
- Los programas usados para el procesamiento de imágenes deben tener las herramientas necesarias para la aplicación a ejecutar. Las herramientas de visión artificial de LabView nos dan la posibilidad de aumentar la cantidad de colores a ser verificados en el mismo programa.

## 4.2. RECOMENDACIONES

- El motor para la banda secundaria debe tener un torque superior que el calculado para la banda principal.
- Si se desea incrementar las plantillas para el procesamiento de imágenes se debe usar el asistente de visión de LabView.
- El panel de control debe mantenerse aislado de la estructura mecánica para conservar un buen funcionamiento.
- Los rodillos para amortiguar el paso de la botella deben ser de un material suave para evitar golpes o daños.
- El programa de procesamiento de imágenes debe ser ejecutando en un computador con LabView 2010 o versiones superiores.
- Mantener el compresor de aire con una presión mínima de 120 psi.
- Comprobar que exista comunicación entre el programa y la tarjeta DAQ antes de ejecutarlo.
- Mantener las botellas en buen estado, cualquier anomalía en las tapas puede provocar alteraciones en el procesamiento de imágenes.
- Revisar el acople entre el motor y los rodillos ya que puede necesitar un ajuste previo.
- Comprobar que las variables del programa inicien desde cero.
- Para el manejo del sistema primero es necesario una capacitación sobre el programa diseñado al operador.
- Para proyectos similares futuros se debería incrementar el nivel de verificación del procesamiento de imágenes.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- [http://es.wikipedia.org/wiki/Visi%C3%B3n\\_artificial](http://es.wikipedia.org/wiki/Visi%C3%B3n_artificial)
- <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/8355>
- <http://www.ni.com/fpga/>
- <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/208266>
- <http://www.innovanet.com.ar/gis/TELEDETE/TELEDETE/tradiimg.htm>
- [http://es.scribd.com/doc/23371/Procesamiento-de-imagenes-con\\_Matlab](http://es.scribd.com/doc/23371/Procesamiento-de-imagenes-con_Matlab)
- <http://www.esi2.us.es/~asun/LCPC06/TutorialLabview.pdf>
- <http://www.csun.edu/~rd436460/Labview/IMAQ-Manual.pdf>
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Adquisici%C3%B3n\\_de\\_datos](http://es.wikipedia.org/wiki/Adquisici%C3%B3n_de_datos)
- <http://es.patents.com/us-4008449.html>
- <http://www.angelfire.com/electronic2/jhueso/servo.ppt>
- <http://www.angelfire.com/electronic2/jhueso/RELE.ppt>
- <http://html.rincondelvago.com/rodillos-y-cintas-transportadoras.html>
- Manual de fabricación de bandas y rodillos transportadores – Pirelly, Willian – Editorial Mac Graw Hill- Impreso en Madrid (España) 1992
- <http://descom.jmc.utfsm.cl/sgeywitz/procesos/CINTAS.htm>
- <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3330/5/34059-5.pdf>
- NISE, NORMAN, Sistemas de Control para Ingeniería, Editorial CECSA, 3ra Edición.

# **ANEXOS**

**Elaborado por:**

---

Leonardo Villacís

---

Hernán Ramos

**Aprobado por:**

---

Ing. Fausto Acuña

COORDINADOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**Certificado por:**

---

Dr. Rodrigo Vaca Corrales

SECRETARIO ACADÉMICO