



ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO SEDE LATACUNGA

INGENIERÍA MECATRÓNICA

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.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

VISIÓN ARTIFICIAL

- ▣ El propósito de la visión artificial es programar un computador para que "entienda" una escena o las características de una imagen.
- ▣ El procesamiento digital de la imagen permite una modificación en forma de una matriz de enteros, en vez de las clásicas manipulaciones necesarias para las imágenes analógicas y señales de video.

- 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.



- Toda la imagen se puede descomponer en tres bandas representando el brillo de rojo, de verde y de azul, por lo tanto, el color visualizado en un punto concreto será el resultante de combinar los valores de ese punto en las tres bandas.

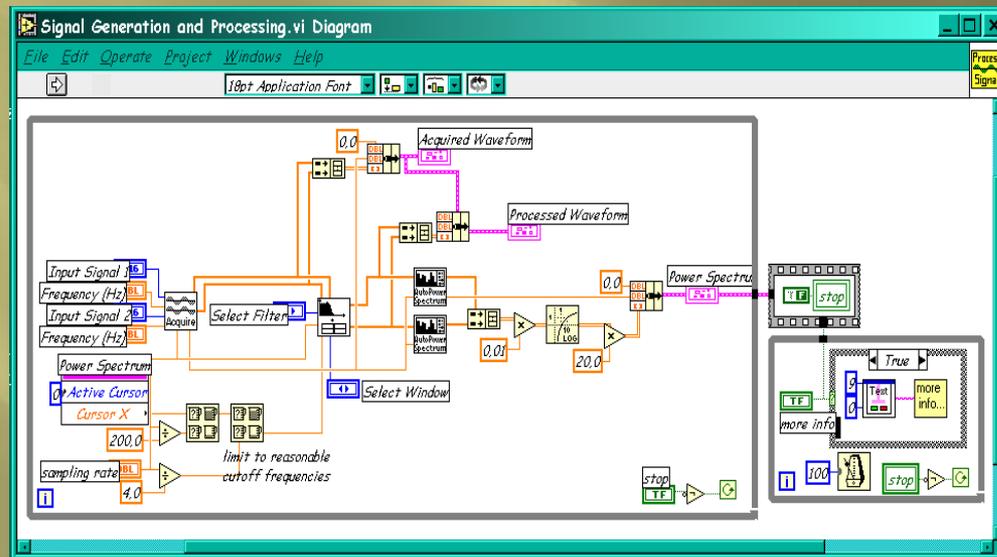


SOFTWARE DE ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

- ▣ 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.

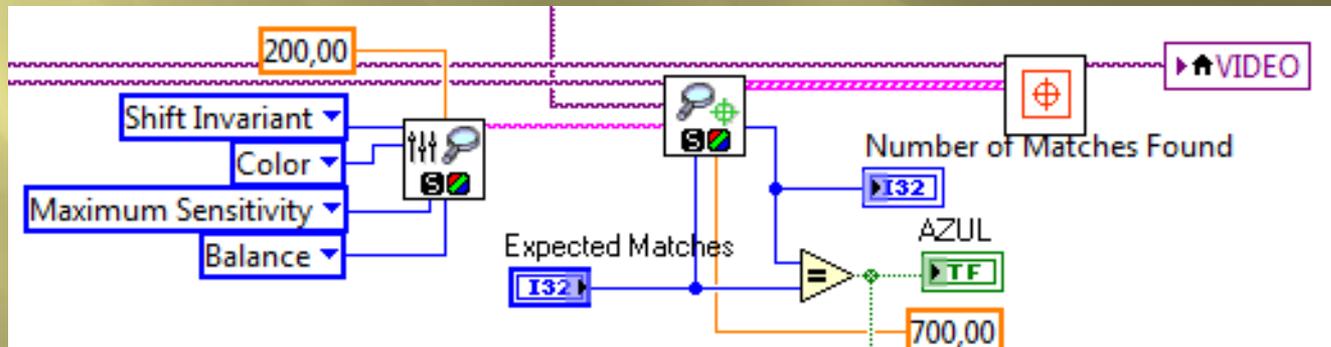
LabView - National Instruments

- 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 (diagramas de bloques).



IMAQ Vision

- 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.



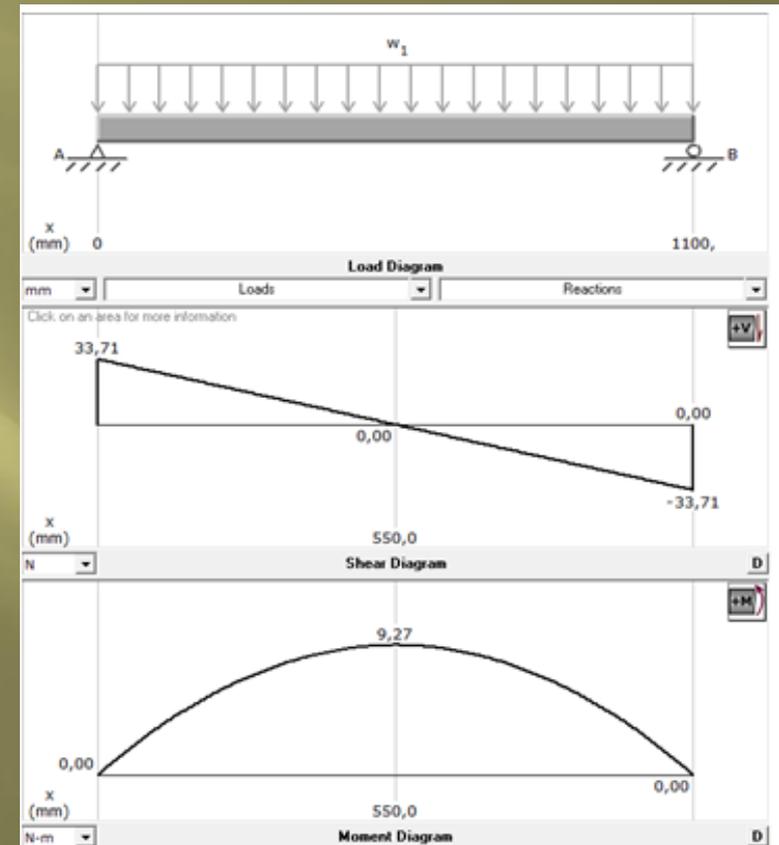
CAPÍTULO II DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Estructura principal, transporte de botellas de banda principal

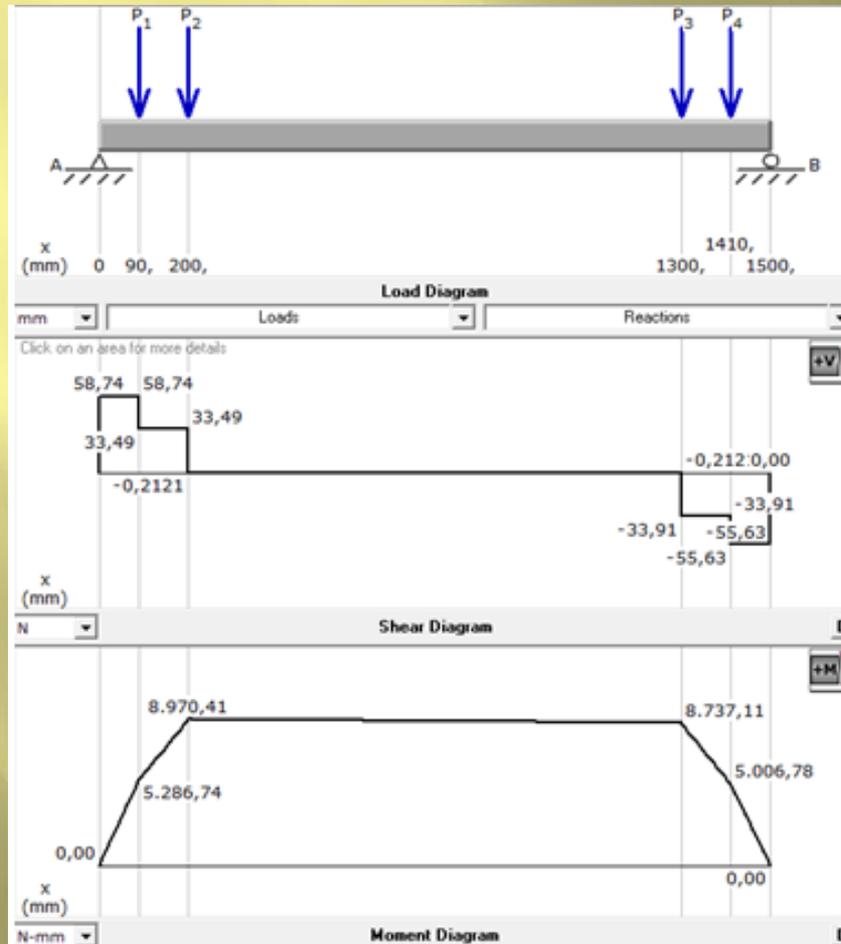
En el diseño de la estructura principal se toma en consideración el peso total de las botellas que pueden estar en la banda; W_1 representa la carga distribuida de las 16 botellas de 430 ml.

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

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



Estructura secundaria, contención de la estructura principal

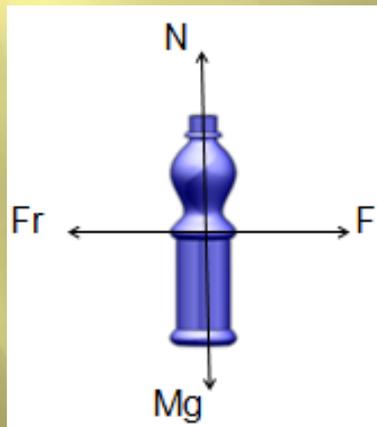
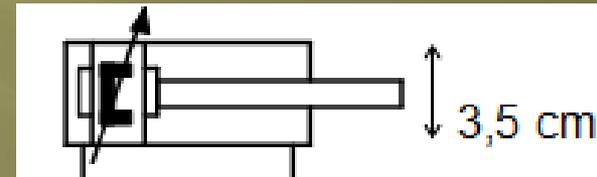
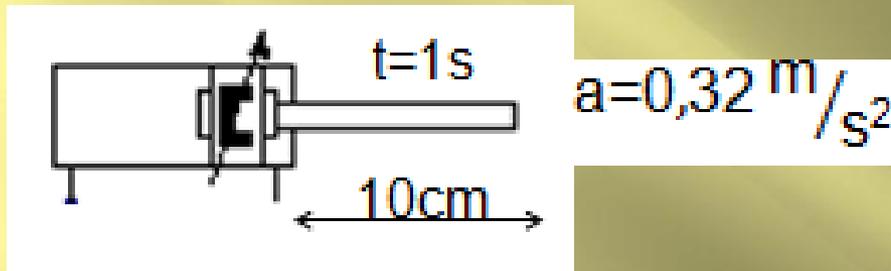


$$\sigma_{\text{flex max}} = 6,72435 \text{ MPa}$$

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

DISEÑO NEUMÁTICO

Se calcula la aceleración de la botella, Se realiza el diagrama de cuerpo libre para encontrar la fuerza ejercida por el pistón y con el diámetro del pistón sacamos la presión del aire.



$$F=1,827 \text{ N}$$

$$A=\pi r^2$$

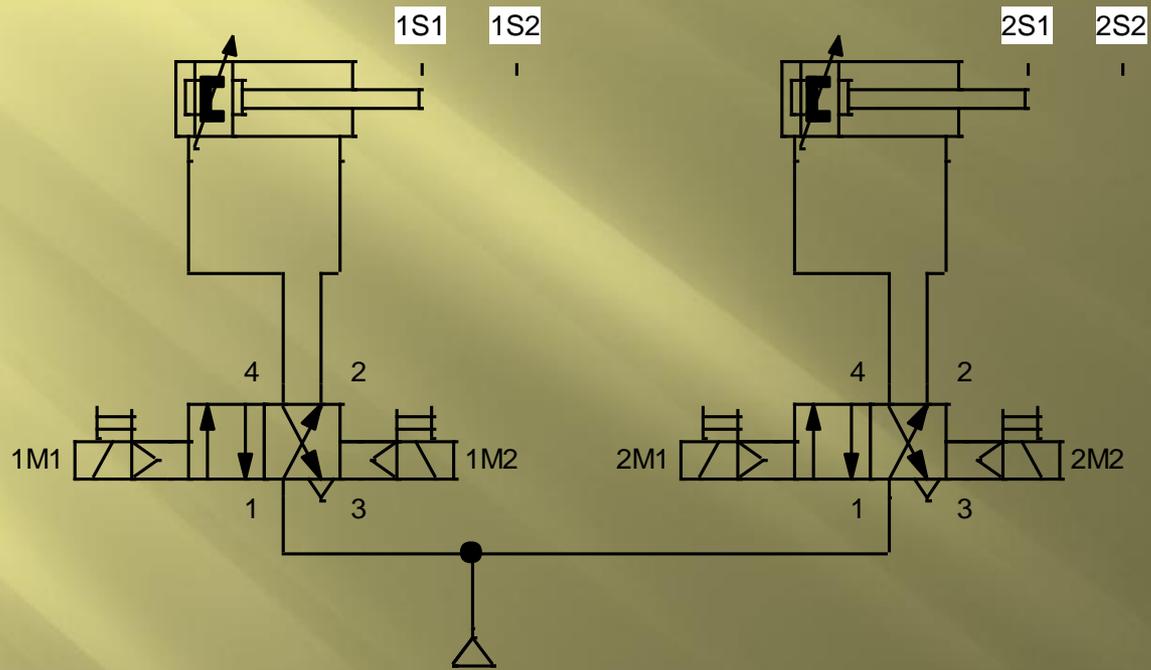
$$A=9,621 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$P=\frac{F}{A}$$

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

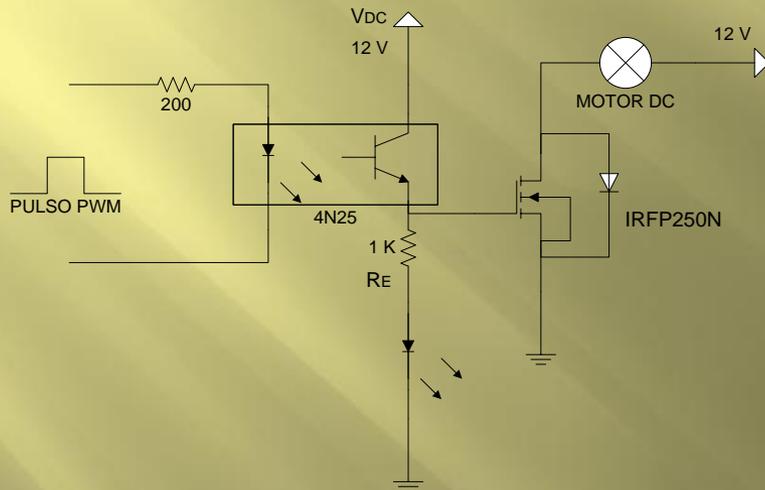
$$P=1898,97 \text{ Pa}$$

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



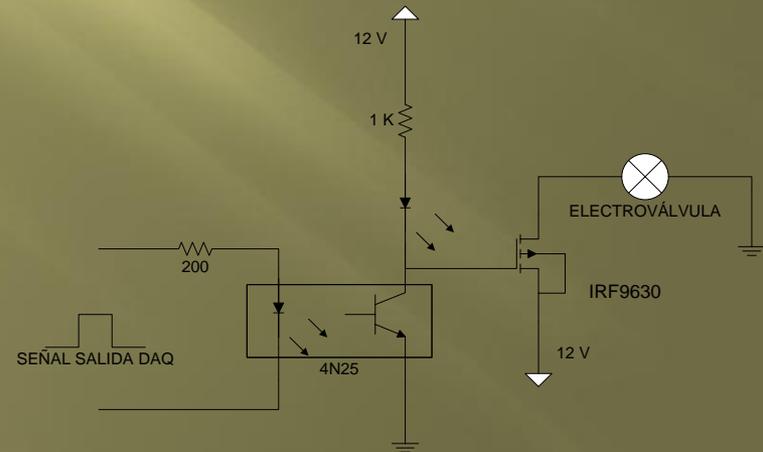
DISEÑO ELÉCTRICO

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.



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.

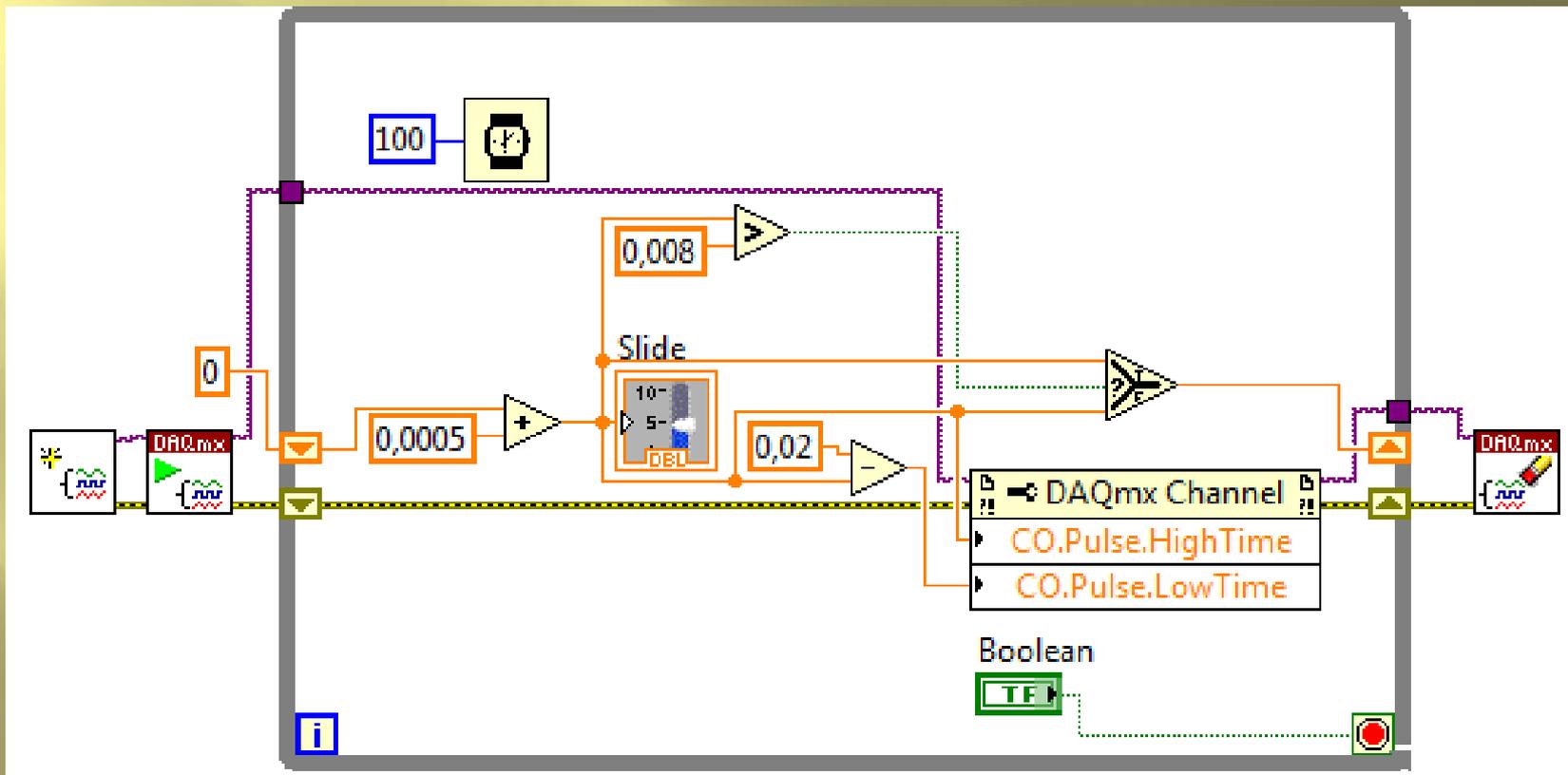
En el re-diseño se cambia el mosfet de potencia IRFP250N de canal N por IRF9630 de canal P



DISEÑO DE SOFTWARE

Programa PWM

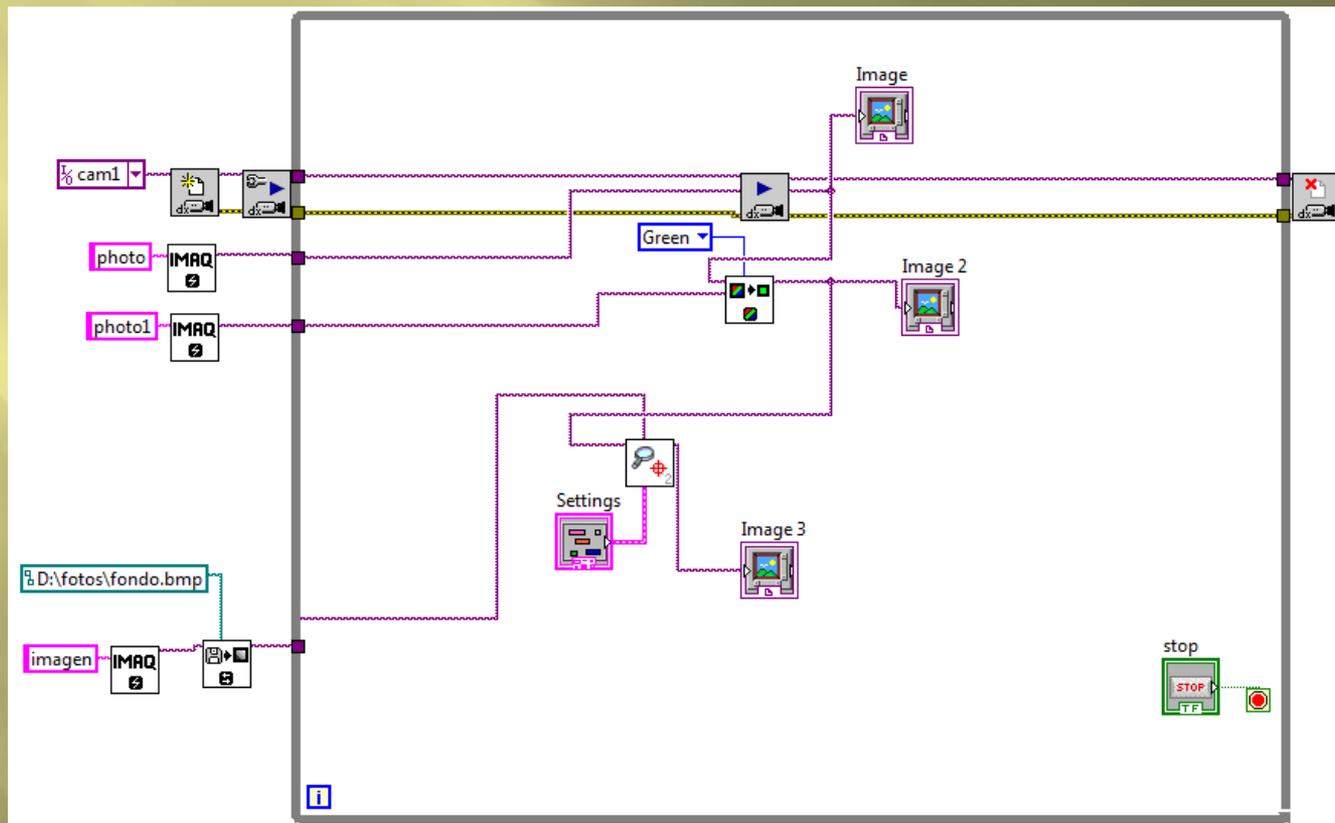
El circuito digital mostrado en la configura una salida de la tarjeta DAQ USB-6210 como un generador de pulsos para el control de la velocidad de los motores, es decir, que la salida funcione como un control PWM.



DISEÑO DE SOFTWARE

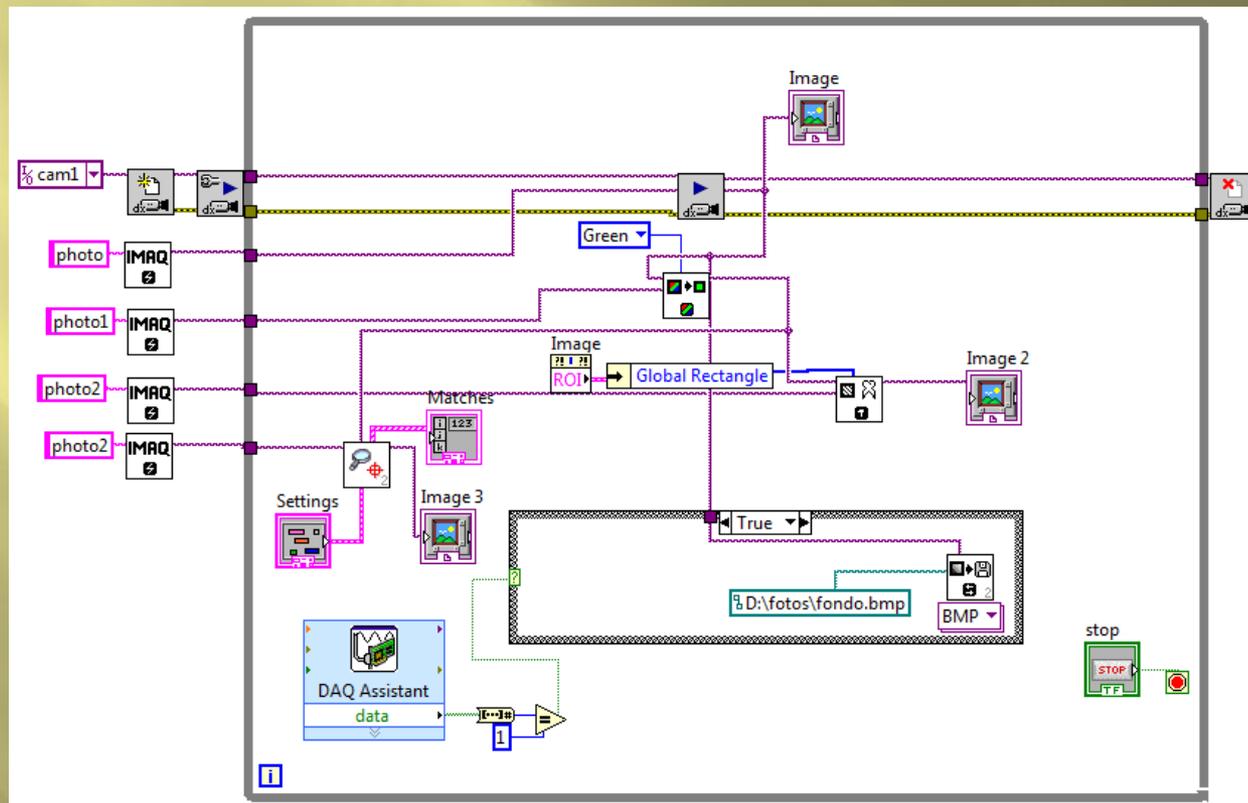
Programa Sensor Visual

La versatilidad de la cámara es considerada y usada como un sensor visual, el diagrama de bloques muestra la configuración establecida para que la cámara capte el instante en el que pasa una botella y capture la imagen



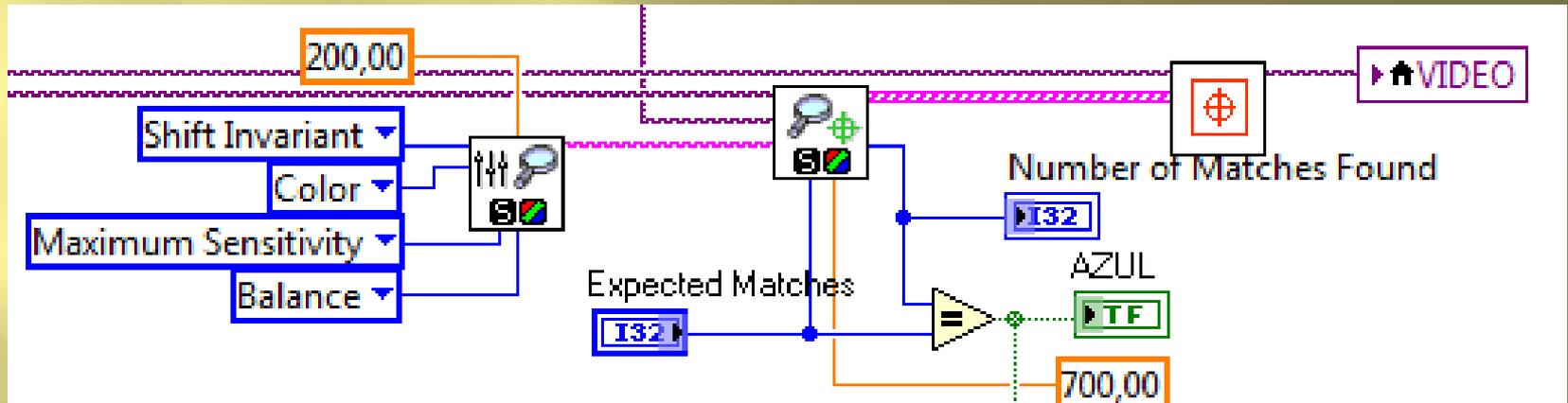
DISEÑO DE SOFTWARE

Programa de adquisición de imágenes. 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.



DISEÑO DE SOFTWARE

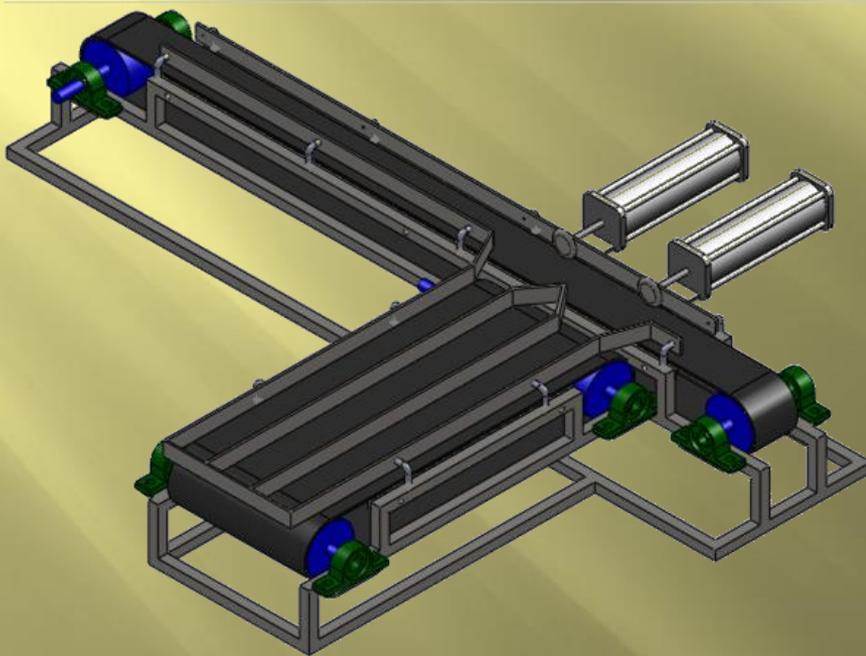
Programa de búsqueda de patrones.- Para el reconocimiento de las botellas, el programa usa plantillas que son previamente establecidas para cada color



IMPLEMENTACIÓN

Construcción Mecánica

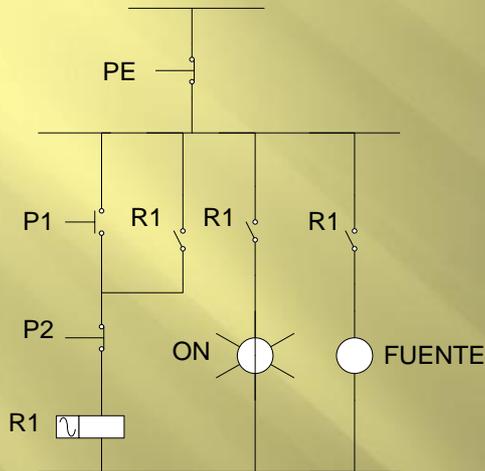
La construcción y montaje del prototipo empieza con el diseño en un software para ingeniería, en este caso se trata de SolidWorks 2010 en el cual fue creado el ensamble final y los planos de construcción para ser ocupados en la fabricación del prototipo.



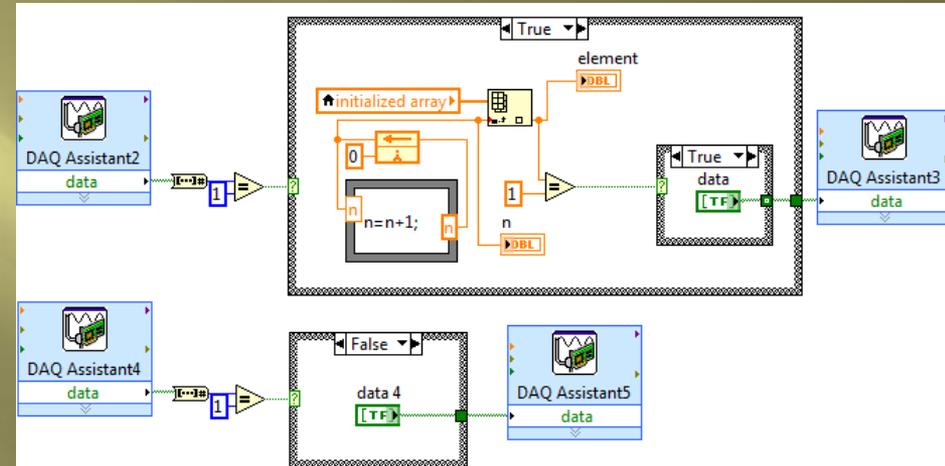
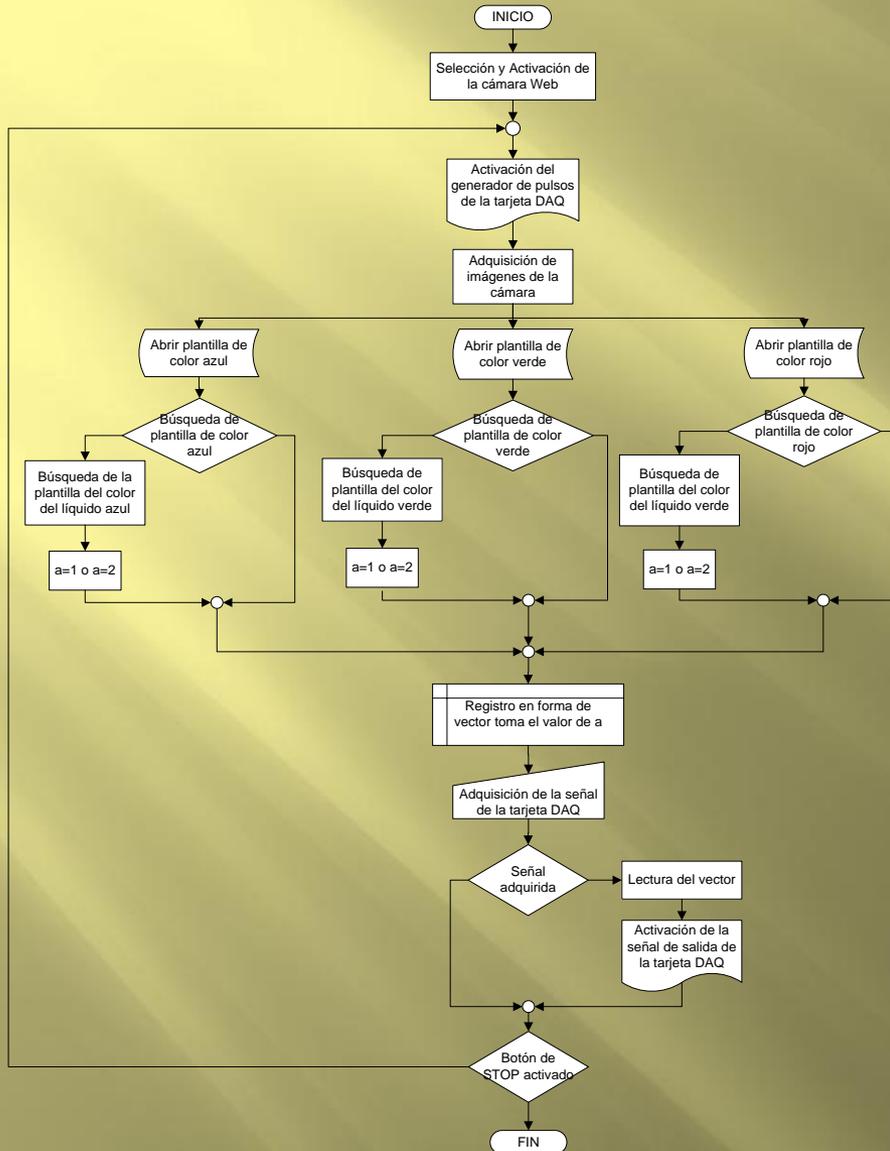
El ensamble inicia con la construcción de la estructura mecánica hecha con perfiles de 2cm de acero 1020. Los rodillos que transfieren el movimiento del motor son ejes de acero de 9cm de diámetro torneados en los extremos para ser sujetos por chumaceras de $\frac{3}{4}$ plg. La estructura cuenta con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

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 es decir, enciende la fuente de alimentación y energiza los circuitos de control de los motores y las electroválvulas



Elaboración del software



Aplicación Instalada



CAPÍTULO III

ANÁLISIS Y PRUEBAS DE RESULTADOS

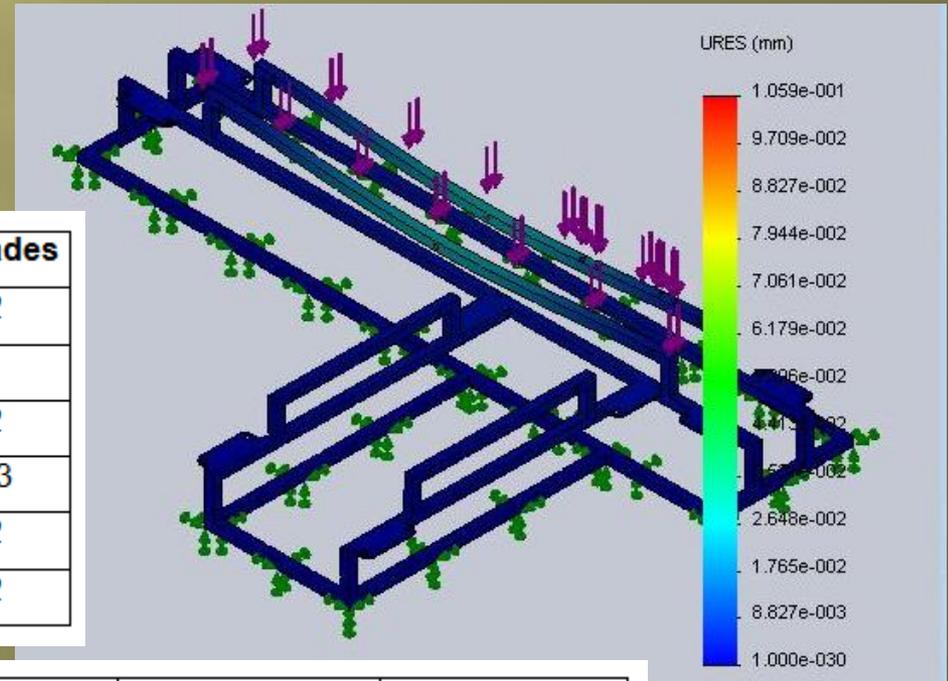
PRUEBAS MECÁNICAS

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

Tensiones de la estructura principal, transporte de botellas de banda principal

La estructura principal está diseñada para que soporte una fuerza de que corresponde al peso máximo de la banda totalmente cargada con las botellas a ser verificadas

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

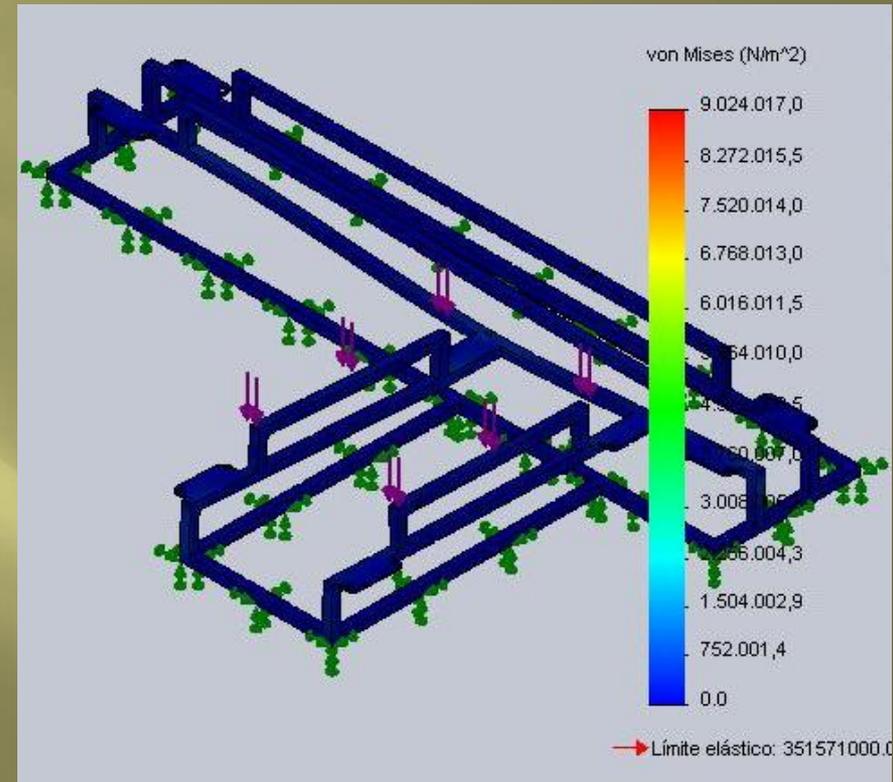


Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Tensión de von Mises	0.000455751 N/m ²	(19.6503 mm, -100 mm, 155 mm)	3.23867e+006 N/m ²	(433.329 mm, 44.5787 mm, -65.5167 mm)

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 que es el peso máximo de cuando la banda está completamente cargada con las botellas clasificadas

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



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

Resultados Mecánicos

Para garantizar el funcionamiento de las bandas, cada motor está conectado al rodillo por una manzana



Resultados Mecánicos

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



Resultados Mecánicos

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; el programa hecho en LabView se encarga de activar las electroválvulas que extienden los pistones para la selección de las botellas buenas y malas.



Resultados Mecánicos

La fuerza con la que se extiende el 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 dos rodillos estabilizadores

Debido a que el segundo pistón es 1cm más corto que el primero, no necesita los rodillos de amortiguamiento para el paso normal de las botellas



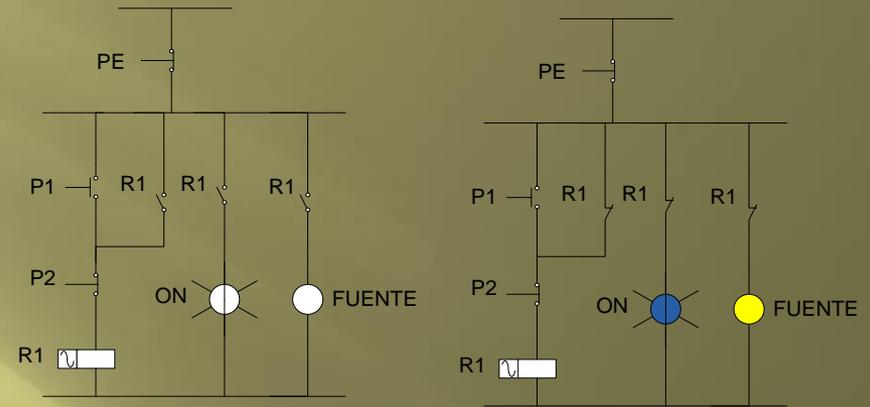
PRUEBAS Y RESULTADOS ELÉCTRICOS

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

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

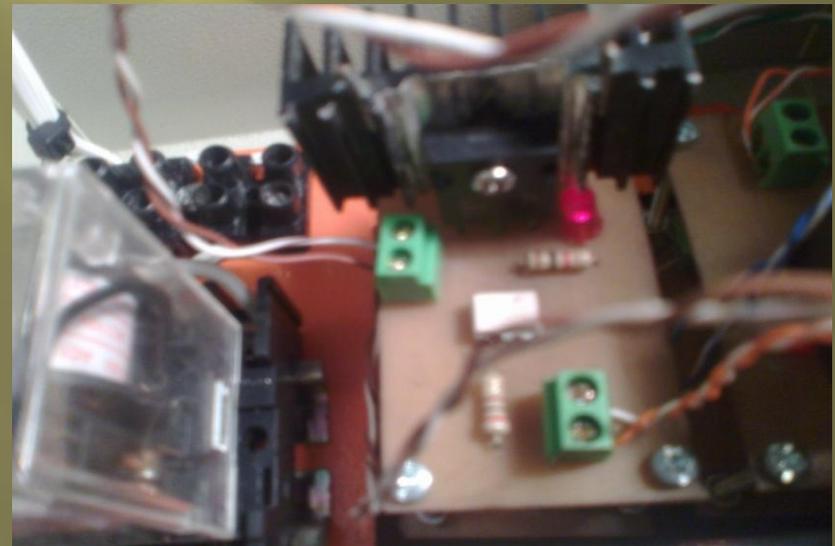
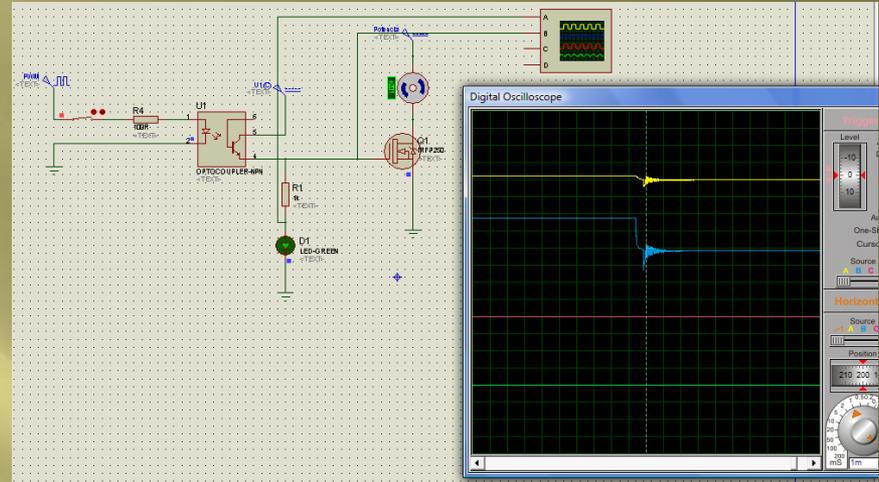
En las pruebas físicas el circuito funciona correctamente alimentando a los relés, las luces piloto y la fuente de alimentación DC sin presentar sobrecargas o fallas en el circuito



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

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.

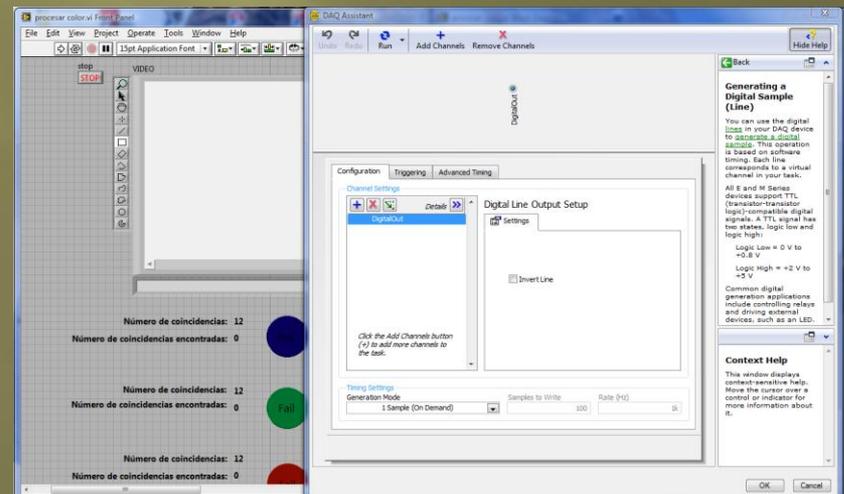


PRUEBAS DE COMUNICACIÓN ENTRE SOFTWARE Y DAQ.

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

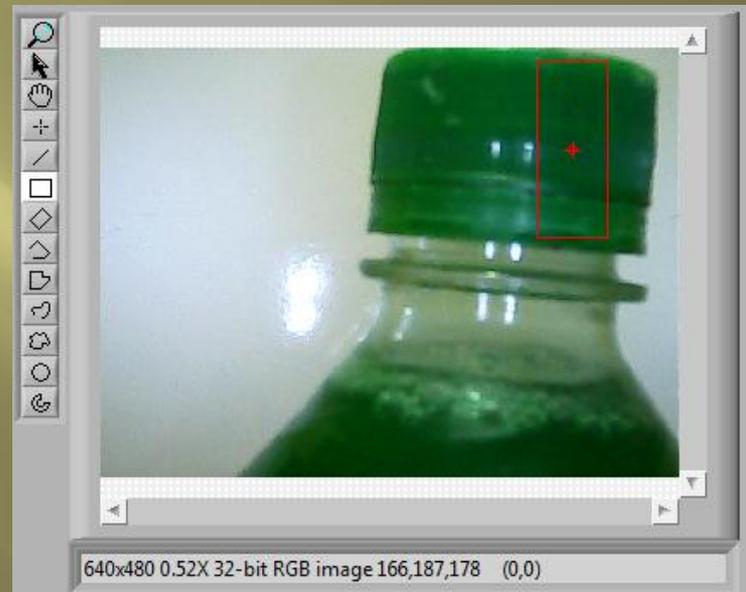
Con el programa ejecutado y activando intencionalmente las salidas de la tarjeta, se obtiene una comunicación inmediata; por la falta de instrumentos de medición no es posible especificar el tiempo de retardo en la comunicación, pero por observaciones realizadas en las pruebas estimamos que el tiempo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

Para las pruebas de comunicación se toma en consideración que el tiempo máximo es de 230mseg, 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.



PRUEBAS DE ADQUISICIÓN DE IMÁGENES

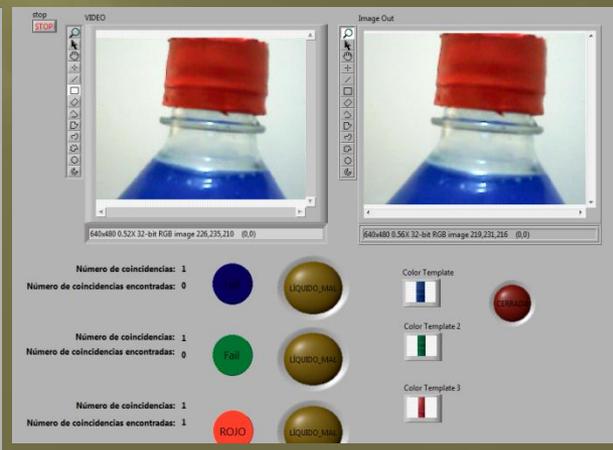
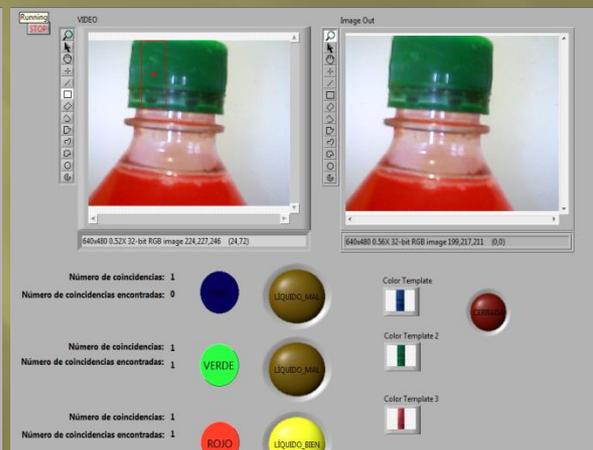
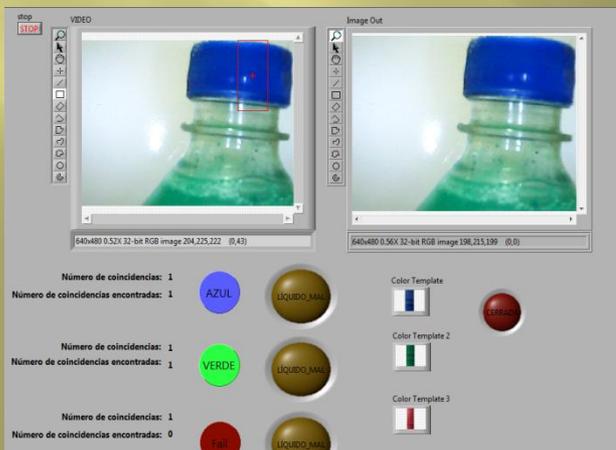
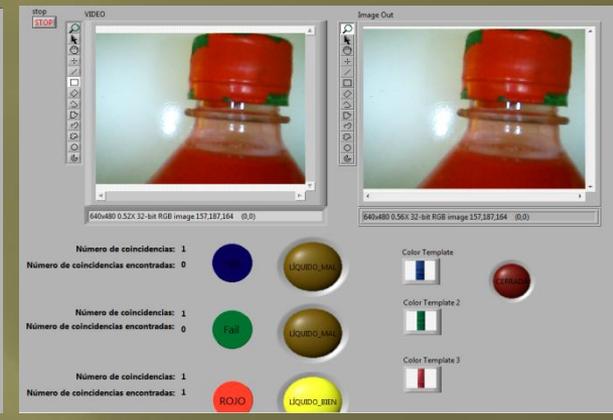
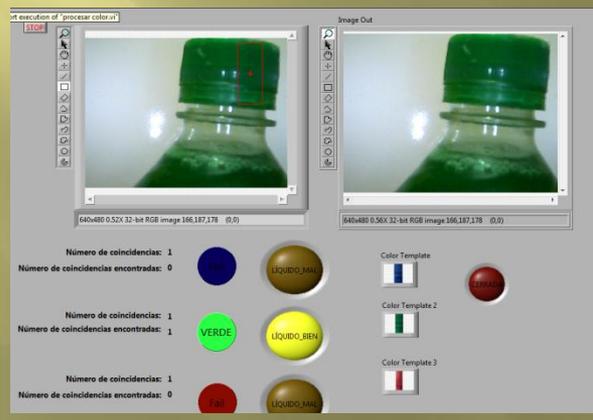
Las pruebas de adquisición de imágenes se realizan en la ejecución del programa, es decir, en el instante de la detección de la botella se crea un recuadro rojo visible en la misma herramienta para visualizar las capturas de la cámara



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.

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



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.

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.

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.