



UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS,
ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL**

**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL EN PROCESOS
DE AUTOMATIZACIÓN**

Tema:

**SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA INSPECCIÓN DEL NIVEL
DE LLENADO DE BEBIDAS EMBOTELLADAS**

Proyecto de Trabajo de Graduación. Modalidad: TEMI. Trabajo Estructurado de Manera Independiente, presentado previo la obtención del título de Ingeniero Industrial en Procesos de Automatización.

AUTOR: Juan Pablo Cáceres Cárdenas

TUTOR: Ing. Luis Pomaquero

Ambato - Ecuador

Noviembre 2011

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de investigación sobre el tema: “SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA INSPECCIÓN DEL NIVEL DE LLENADO DE BEBIDAS EMBOTELLADAS”, del señor Juan Pablo Cáceres Cárdenas, estudiante de la Carrera de Ingeniería Industrial en Procesos de Automatización, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe investigativo reúne los requisitos suficientes para que continúe con los trámites y consiguiente aprobación de conformidad con el Art. 16 del Capítulo II, del Reglamento de Graduación para Obtener el Título Terminal de Tercer Nivel de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, 10 de Noviembre de 2011

EL TUTOR

Ing. Luis Pomaquero
CC: 1803123593

AUTORÍA

El presente trabajo de investigación titulado: “SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA INSPECCIÓN DEL NIVEL DE LLENADO DE BEBIDAS EMBOTELLADAS”. Es absolutamente original, auténtico y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, 10 de Noviembre de 2011

Juan Pablo Cáceres Cárdenas
CC: 1803742897

APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA

La Comisión Calificadora del presente trabajo conformada por los señores docentes Carlos Sánchez y Christian Mariño, revisó y aprobó el Informe Final del trabajo de graduación titulado “SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA INSPECCIÓN DEL NIVEL DE LLENADO DE BEBIDAS EMBOTELLADAS”, presentado por el señor Juan Pablo Cáceres Cárdenas de acuerdo al Art. 18 del Reglamento de Graduación para Obtener el Título Terminal de Tercer Nivel de la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. M. Sc. Oswaldo Paredes Ochoa
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Carlos Sánchez
DOCENTE CALIFICADOR

Ing. Christian Mariño
DOCENTE CALIFICADOR

DEDICATORIA:

Este logro se lo dedico a mi madre, por haberme brindado la oportunidad de vivir. Gracias por ofrecerme tu sonrisa cada día y por comprenderme cuando necesitaba una amiga. Tu fuerza y tu amor me guiaron, y me dieron alas para volar.

Juan Pablo

AGRADECIMIENTO:

A mi familia, por el apoyo, cariño y aprecio que me han brindado todos estos años. A todos mis primos quienes siempre me han acompañado, a mis profesores quienes han compartido sus conocimientos y me han ayudado a crecer como profesional y persona. A todos mis amigos, gracias a quienes tengo mil anécdotas que contar y de quienes llevo recuerdos muy gratos en mi corazón.

Juan Pablo

ÍNDICE GENERAL

Portada.....	i
Aprobación del Tutor.....	II
Autoría.....	III
Aprobación de la Comisión Calificadora.....	IV
Dedicatoria.....	V
Agradecimiento.....	VI
Índice General.....	VII
Índice de Figuras.....	XI
Índice de Tablas.....	XV
Resumen Ejecutivo.....	XVI
Introducción.....	XVII
CAPITULO I: EL PROBLEMA.....	1
Tema de Investigación.....	1
Planteamiento del Problema.....	1
Contextualización.....	1
Análisis Crítico.....	4
Prognosis.....	4
Formulación del Problema.....	5
Preguntas Directrices.....	5
Delimitación del problema.....	5
Delimitación de contenidos.....	5
Delimitación temporal.....	5
Delimitación espacial.....	5
Justificación.....	5
Objetivos.....	6
Objetivo General.....	6
Objetivos Específicos.....	6
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	8
Antecedentes Investigativos.....	8
Categorías Fundamentales.....	9
INTELIGENCIA ARTIFICIAL.....	12
Visión artificial.....	12
Automatización industrial.....	13

Sistemas de visión artificial.....	14
Aplicaciones	14
Ventajas y desventajas	15
Ventajas	16
Desventajas.....	16
Componentes de un sistema de visión artificial	17
Iluminación.....	18
Naturaleza de la luz.....	19
Características ópticas de los materiales	21
Técnicas de iluminación.....	22
Fuentes de iluminación	25
Cámaras	27
Tipos de cámaras	28
Cámaras analógicas.....	28
Cámaras digitales	29
Interfaces de Cámaras	31
Cámaras especiales	34
Óptica	36
Parámetros de selección de la óptica.....	36
Ópticas para aplicaciones industriales y científicas.....	39
Frame Grabbers o placas digitalizadoras	39
Unidad de procesamiento	40
Software.....	42
Etapas de un sistema de visión artificial	43
Adquisición o captura de la imagen.....	44
Pre procesamiento.....	44
Segmentación.....	44
Representación y descripción.....	45
Reconocimiento e interpretación	45
Pasos para diseñar sistemas de visión artificial.....	45
Industria Alimenticia	47
Industria de las bebidas.....	48
Embotellado y envasado de bebidas suaves.....	48
Descripción del proceso de embotellado y empaquetado	50
Botellas retornables.....	50
Botellas y latas no retornables.....	50

Inspección del nivel de llenado de bebidas embotelladas.....	51
Tecnologías de llenado.....	51
Sistemas de inspección de llenado.....	52
Inspección con cámara.....	53
Inspección con alta frecuencia.....	53
Inspección con rayos X.....	54
Hipótesis.....	54
Señalamiento de variables de la Hipótesis.....	55
Variable independiente.....	55
Variable dependiente.....	55
CAPITULO III: METODOLOGÍA.....	56
Enfoque.....	56
Modalidad básica de la investigación.....	56
Investigación documental bibliográfica.....	56
Investigación experimental.....	57
Nivel o tipo de investigación.....	57
Población y muestra.....	57
Población.....	57
Muestra.....	57
Operacionalización de variables.....	58
Plan de recolección de la información.....	60
Plan de procesamiento de la información.....	60
CAPITULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS ...	61
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	67
Conclusiones.....	67
Recomendaciones.....	67
CAPITULO VI: PROPUESTA.....	68
Datos informativos.....	68
Antecedentes de la propuesta.....	68
Justificación.....	69
Objetivos.....	69
Objetivo General.....	69
Objetivos Específicos.....	70
Análisis de factibilidad.....	70
Fundamentación.....	70
Imagen digital.....	70

Filtrado espacial.....	72
Frecuencia espacial	73
Convolución espacial	73
Filtros pasa bajos	74
Modelo operativo.....	78
Metodología.....	83
Preparación de los componentes del sistema.....	83
Selección de dispositivos.....	83
Instalación.....	86
Diseño de los accesorios	90
Disposición de los elementos del sistema	94
Desarrollo de la aplicación	97
Calibración	97
Adquisición de las imágenes	101
Pre Procesamiento.....	104
Segmentación.....	105
Representación y descripción	110
Reconocimiento e interpretación	113
Generar de señales de control.....	114
Diseño de la interfaz	117
Sistema de clasificación	118
Pruebas de funcionamiento.....	121
Prueba de la interfaz.....	122
Prueba de calibración	123
Prueba de control de calidad.....	124
Prueba de clasificación.....	126
Administración	127
Cronograma de actividades	127
Costos.....	129
Conclusiones y recomendaciones de la propuesta.....	129
Conclusiones.....	129
Recomendaciones	130
MATERIALES DE REFERENCIA	132
BIBLIOGRAFÍA	132
ANEXOS.....	134

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Árbol de problemas.....	3
Figura 2.1	Gráfico de inclusión.....	9
Figura 2.2	Subcategorías de la variable independiente.....	10
Figura 2.3	Subcategorías de la variable dependiente.....	11
Figura 2.4	Sistema de inspección con visión artificial.....	15
Figura 2.5	Componentes de un sistema de visión artificial.....	18
Figura 2.6	Espectro electromagnético y luz visible.....	20
Figura 2.7	Naturaleza de la luz.....	20
Figura 2.8:	Iluminación frontal.....	22
Figura 2.9:	Iluminación direccional.....	23
Figura 2.10	Iluminación posterior difusa.....	23
Figura 2.11	Iluminación direccional lateral.....	24
Figura 2.12	Iluminación estructurada.....	25
Figura 2.13	Diferentes cámaras empleadas en sistemas de visión artificial.....	28
Figura 2.14	Cámara analógica XC-ES30.....	29
Figura 2.15	Funcionamiento del sensor CCD.....	30
Figura 2.16	Funcionamiento del sensor CMOS.....	31
Figura 2.17	Cámara lineal Piranha HS-82-04k80.....	34
Figura 2.18	Cámara inteligente 1722 de National Instruments.....	35
Figura 2.19	Adquisición de un patrón tridimensional con un escáner 3D.....	36
Figura 2.20	Cálculo del campo de visión.....	37
Figura 2.21	Características del sensor de imagen.....	38
Figura 2.22	Frame grabber con bus PCI Express compatible con Camera Link ..	40
Figura 2.23	PC industrial Omron.....	41
Figura 2.24	Software de visión artificial de National Instruments.....	42
Figura 2.25	Etapas de una aplicación de visión artificial.....	43
Figura 2.26	Flujograma del proceso de embotellado de bebidas carbonatadas	49
Figura 2.27	Tecnologías de llenado.....	52
Figura 2.28	Sistema de inspección con cámara.....	53
Figura 2.29	Sistema de inspección con alta frecuencia.....	54
Figura 2.30	Sistema de inspección con rayos X.....	54
Figura 4.1	Gráfico de resultados pregunta uno.....	61
Figura 4.2	Gráfico de resultados pregunta dos.....	62

Figura 4.3 Gráfico de resultados pregunta tres.....	63
Figura 4.4 Gráfico de resultados pregunta cuatro.....	64
Figura 4.5 Gráfico de resultados pregunta cinco.....	65
Figura 4.6 Gráfico de resultados pregunta seis.....	66
Figura 6.1 Imagen digital.....	71
Figura 6.2 Imagen digital multiespectral.....	72
Figura 6.3 Dos máscaras de 3*3 para realizar un filtrado pasa bajos.....	75
Figura 6.4 Resultados de suavizado.....	77
Figura 6.5 Etapas de desarrollo.....	78
Figura 6.6 Preparación de los componentes del sistema.....	79
Figura 6.7 Desarrollo de la aplicación.....	80
Figura 6.8 Sistema de manipulación y clasificación.....	81
Figura 6.9 Pruebas de funcionamiento.....	81
Figura 6.10 Procedimiento de implementación.....	82
Figura 6.11 Diagrama de bloques del sistema.....	83
Figura 6.12 NI USB-6009.....	84
Figura 6.13 Webcam Omega 362348.....	85
Figura 6.14 Scorbot ER-4u.....	85
Figura 6.15 Cinta transportadora.....	86
Figura 6.16 Sensor de presencia fotoeléctrico SUNX CY-22.....	86
Figura 6.17 Configuración de la DAQ.....	87
Figura 6.18 Configuración de la cámara.....	88
Figura 6.19 Instalación del Scorbot ER-4u.....	89
Figura 6.20 Conexión de la DAQ al módulo de control.....	89
Figura 6.21 Instalación del sensor de proximidad.....	90
Figura 6.22 Soporte regulable.....	91
Figura 6.23 Lámpara.....	92
Figura 6.24 Guías y accesorios.....	93
Figura 6.25 Cajas de clasificación.....	94
Figura 6.26 Montaje del sensor de proximidad.....	95
Figura 6.27 Disposición de la lámpara.....	95
Figura 6.28 Disposición de la cámara.....	96
Figura 6.29 Disposición final del sistema.....	97
Figura 6.30 Plantilla de calibración.....	98
Figura 6.31 Diagrama de flujo del sistema de calibración.....	99
Figura 6.32 Inicialización de variables.....	99

Figura 6.33 Creación del patrón de calibración.....	100
Figura 6.34 Programación de la calibración.....	101
Figura 6.35 Inicialización de la cámara	101
Figura 6.36 Configuración de la DAQ.....	102
Figura 6.37 Subrutina DAQIN.vi	103
Figura 6.38 Control del disparo de la cámara	103
Figura 6.39 Transformación a escala de grises	104
Figura 6.40 Implementación de funciones de pre procesamiento	105
Figura 6.41 Obtención de imagen con filtro pasa bajo	105
Figura 6.42 Descripción de la función IMAQ Edge Tool 3.....	106
Figura 6.43 Obtención del punto p3 y distancia L.....	107
Figura 6.44 Código para obtener el punto p3 y distancia L	107
Figura 6.45 Obtención del punto p4	108
Figura 6.46 Código para obtener el punto p4.....	108
Figura 6.47 Construcción del ROI.....	109
Figura 6.48 Código para la construcción del ROI	110
Figura 6.49 Descripción de la función IMAQ Perpendicular Line	110
Figura 6.50 Obtención de la distancia d.....	111
Figura 6.51 Código para obtener la distancia d.....	111
Figura 6.52 Código para dibujar los resultados del análisis.....	112
Figura 6.53 Imagen procesada.....	112
Figura 6.54 Subrutina Análisis.vi	114
Figura 6.55 Configuración de la señal de control.....	115
Figura 6.56 Subrutina DAQOUT.vi	115
Figura 6.57 Subrutina DAQOUT2.vi.....	116
Figura 6.58 Implementación de las señales de control	116
Figura 6.59 Código para cerrar la secuencia de video	117
Figura 6.60 Interfaz de la aplicación	117
Figura 6.61 Interfaz del software Robocell.....	118
Figura 6.62 Flujograma de clasificación.....	119
Figura 6.63 Configuración del hardware	119
Figura 6.64 Instrucciones para la tarea de clasificación	120
Figura 6.65 Simulación en Robocell.....	121
Figura 6.66 Sistema de inspección final	122
Figura 6.67 Prueba de la interfaz.....	123
Figura 6.68 Prueba de calibración	124

Figura 6.69 Prueba de control de calidad - botella con nivel de subllenado.....	125
Figura 6.70 Prueba de control de calidad - botella con nivel de sobrellenado....	126
Figura 6.71 Prueba de clasificación.....	127
Figura 6.72 Cronograma de actividades	128

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Aplicaciones de los sistemas de visión artificial.....	15
Tabla 2.2 Características ópticas de los materiales	21
Tabla 2.3 Comparación entre los tipos de fuentes de luz.....	27
Tabla 2.4 Comparación entre los tipos de cámaras	33
Tabla 2.5 Dimensiones estandarizadas de los sensores de imagen	39
Tabla 3.1 Variable dependiente	58
Tabla 3.2 Variable independiente	59
Tabla 3.3 Plan de recolección de la información.....	60
Tabla 4.1 Tabulación de resultados pregunta uno	61
Tabla 4.2 Tabulación de resultados pregunta dos.....	62
Tabla 4.3 Tabulación de resultados pregunta tres	63
Tabla 4.4 Tabulación de resultados pregunta cuatro	64
Tabla 4.5 Tabulación de resultados pregunta cinco.....	65
Tabla 4.6 Tabulación de resultados pregunta seis	66
Tabla 6.1 Dispositivos seleccionados	84
Tabla 6.2: Accesorios.....	90
Tabla 6.3 Resultados de la medición	113
Tabla 6.4 Detalle de costos	129

RESUMEN EJECUTIVO

Este proyecto está orientado hacia la automatización de procesos de inspección; el mismo, nace con el propósito de investigar nuevas tecnologías y sus múltiples beneficios. Mediante la implementación de un modelo experimental se pretende brindar una mejor perspectiva de los alcances que tienen los sistemas de visión artificial y como pueden ayudar a optimizar los procesos de control de calidad en la industria.

En esta propuesta se expone el desarrollo de un sistema de control de calidad para el nivel de llenado de bebidas embotelladas. Utilizando el programa LabVIEW, se ha diseñado una aplicación; la cual, permite controlar sistemáticamente todos los componentes, para ejecutar las tareas de adquisición de imágenes, procesamiento y clasificación.

Las botellas son movilizadas por medio de una cinta transportadora hasta una cámara, la cual obtiene una imagen de la escena en tiempo real. Utilizando funciones de procesamiento digital de imágenes, se detecta automáticamente el nivel de llenado del producto; esta información es comparada con los parámetros de control de calidad y en función de este resultado se generan señales de control.

Mediante una tarjeta de adquisición de datos, las señales de control son enviadas al brazo robótico (Scorbot ER-4u); el cual, mediante una rutina de clasificación, colocará aquellos productos que han superado el control de calidad en una bandeja etiquetada y dispuesta para el efecto. Las botellas que no han superado el control de calidad serán colocadas en una bandeja distinta.

En el proyecto se abordan temas fundamentales relacionados con el uso de técnicas de visión artificial y la industria de las bebidas. Para una mejor comprensión del lector se incluyen tablas e ilustraciones obtenidas de diferentes fuentes, y otras creadas por el investigador.

INTRODUCCIÓN

En medio de una lucha constante por conquistar nuevos mercados, el hombre se ha empeñado en el desarrollo de nuevas tecnologías que faciliten sus labores en la industria y permitan reemplazar los métodos tradicionales de fabricación. Tras largos años de investigación orientados hacia la satisfacción de estas necesidades, se ha dado origen a la automatización de procesos; que sin duda alguna, es una de las herramientas más poderosas con las que cuenta la industria moderna.

En la actualidad, se ha logrado combinar exitosamente varias disciplinas, con el propósito de crear métodos de fabricación más eficientes. Los sistemas de inspección automatizados nacen al fusionar múltiples especialidades como la informática, visión artificial y automatización. Las oportunidades para la implementación de estos sistemas se encuentran en tareas de inspección, selección de productos, control de calidad, embalaje y monitorización de procesos.

Son múltiples las ventajas que se pueden obtener al reemplazar los métodos tradicionales por sistemas de control de calidad automatizados. Estos sistemas brindan la posibilidad de inspeccionar toda la producción a grandes velocidades; además, estos sistemas permiten complementar sentidos humanos como la vista y el tacto en aquellos lugares en donde la monotonía, velocidad, peligrosidad o el coste, entre otros, hacen inviable el uso de operarios.

Gracias a todas sus características, ésta tecnología ha conseguido una gran aceptación por las industrias de todo el mundo, y se está empleando cada vez con mayor frecuencia.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

Tema de Investigación

“SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA INSPECCIÓN DEL NIVEL DE LLENADO DE BEBIDAS EMBOTELLADAS”.

Planteamiento del Problema

Contextualización

Desde hace varias décadas, los países desarrollados han buscado aumentar su competitividad implementando técnicas y mecanismos para mejorar la calidad de sus productos y servicios. El control de calidad permite conocer las especificaciones establecidas por la ingeniería del producto, y mediante tareas de análisis e inspección, se puede lograr que los productos alcancen estas especificaciones.

Con la aparición de un mercado cada vez más globalizado, la industria se ha visto obligada a desarrollar métodos más eficientes que reemplacen los procedimientos de control de calidad tradicionales. Hoy en día, la industria cuenta con la tecnología denominada visión artificial, que son técnicas que han empezado a utilizarse, principalmente en tareas de inspección; cobrando una enorme importancia para las empresas de producción en todo el mundo.

En nuestro país, gran porcentaje de la industria emplea mecanismos basados en la utilización de técnicas visuales mediante operarios para el control de

calidad. Con el incremento de la demanda, este método se ha vuelto ineficiente para industrias con altos niveles de producción; este método está desapareciendo debido al bajo desempeño que los operarios presentan en la ejecución de tareas monótonas y repetitivas.

En la FISEI, cada día se están investigando nuevas tecnologías con el propósito de ayudar a optimizar los procesos de fabricación en la industria local; sin embargo, el uso de las técnicas de visión artificial es un concepto que todavía no ha sido difundido apropiadamente.

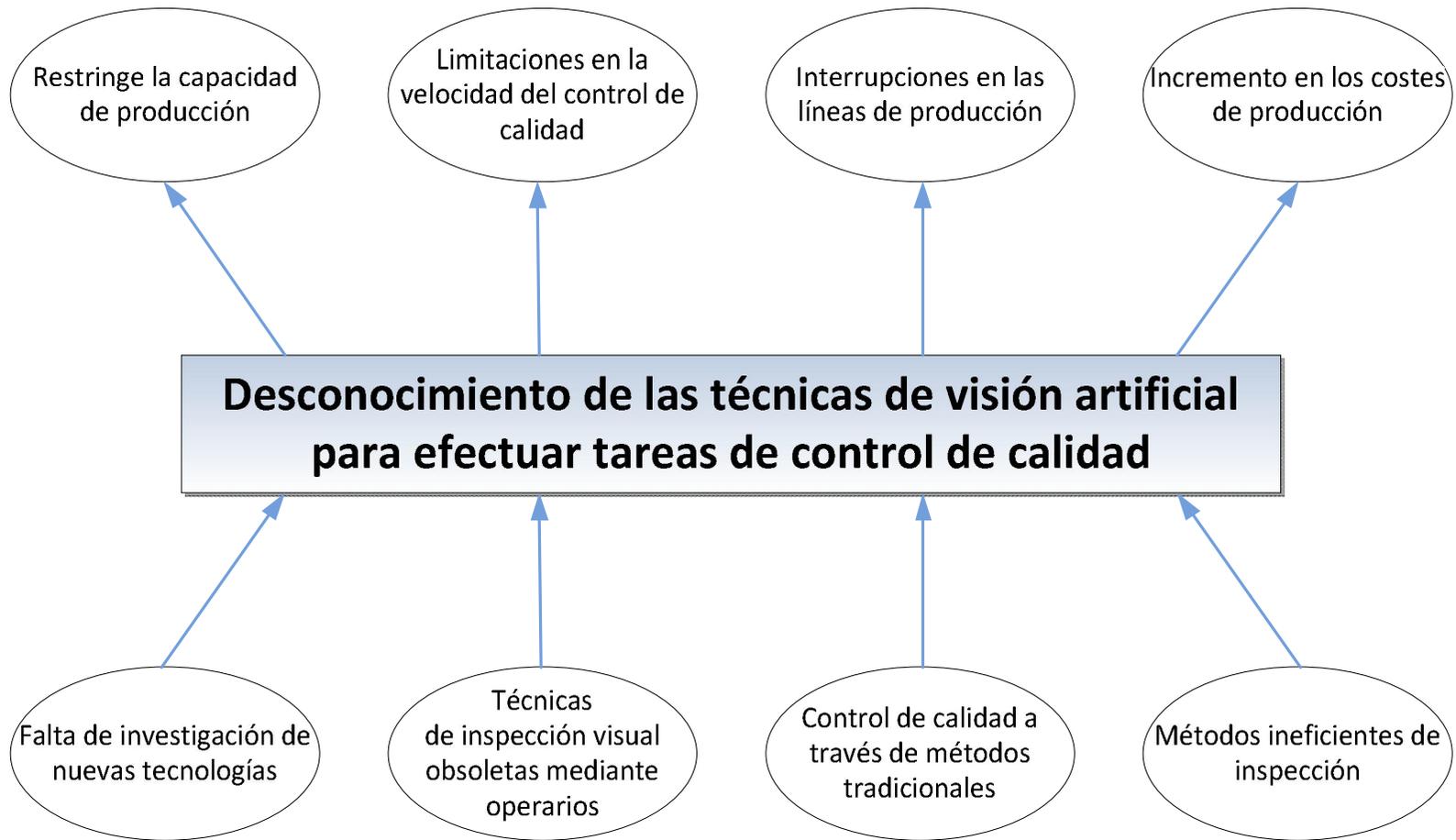


Figura 1.1 Árbol de problemas
Fuente: Investigador

Análisis Crítico

En la actualidad, existen varias alternativas como las técnicas de visión artificial, que es una tecnología orientada hacia la optimización de procesos de inspección. El desconocimiento de métodos más eficientes y la falta de investigación, ocasionan que las empresas restrinjan su capacidad de producción.

Factores como el cansancio, la distracción, el rango de objetos que un operario puede manejar, la velocidad de interpretación y la toma de decisiones son claros ejemplos de que, en muchos casos, la utilización de técnicas de inspección visual mediante operarios implica limitaciones en la velocidad del control de calidad.

El desconocimiento y la falta de tecnificación en ciertos procesos industriales ocasionan que las empresas realicen el control de calidad de manera tradicional; es decir, a través de operadores que manipulan una muestra del producto terminado. Este método provoca interrupciones en las líneas de producción incrementando los tiempos de elaboración.

La utilización de métodos ineficientes de inspección supone un incremento en los costes de producción debido a la ejecución de tareas adicionales de clasificación y costes por reproceso.

Prognosis

La introducción de nuevas tecnologías en las líneas de producción, particularmente la automatización de procesos, brinda grandes ventajas a las empresas; permiten elevar los niveles de productividad, y mejorar la calidad de los productos, acciones que se traducen en mayores ingresos; beneficiando así, su expansión comercial.

Cuando las empresas no invierten en la implementación de nuevas tecnologías, estas limitan su capacidad de producción, impidiendo su crecimiento y participación en nuevos mercados.

Formulación del Problema

¿Cuáles son los beneficios que se obtendrían al desarrollar un sistema de control de calidad para inspeccionar el nivel de llenado de bebidas embotelladas mediante el uso de técnicas de visión artificial?

Preguntas Directrices

¿Cuáles son las etapas para diseñar un sistema de visión artificial?

¿Cuáles son los métodos más utilizados para inspeccionar el nivel de llenado de bebidas embotelladas?

¿Cómo desarrollar un sistema de control de calidad para inspeccionar el nivel de llenado de bebidas embotelladas mediante el uso de técnicas de visión artificial?

Delimitación del problema

Delimitación de contenidos

Campo: Automatización

Área: Visión Artificial

Aspecto: Sistema de inspección Automatizado

Delimitación temporal

El tiempo estimado para realizar el proyecto es de seis meses, y se desarrollará en el período Diciembre 2010 - Junio 2011.

Delimitación espacial

El desarrollo del proyecto se lo va a realizar en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato. Se encuentra ubicada en la Avenida los Atis y Río Guayllabamba del cantón Ambato, Provincia de Tungurahua.

Justificación

Todo proceso industrial es evaluado por la calidad de su producto final. Esto hace de la etapa de control de calidad una fase crucial del proceso. Los

mecanismos utilizados para establecer la calidad de un producto varían dependiendo de los parámetros que tengan relevancia en el mismo. Cuando el parámetro relevante es la geometría o forma del producto, se suele implementar tareas de inspección y verificación en el control de calidad mediante el uso de técnicas visuales.

Los seres humanos son más capaces de distinguir entre ciertos defectos o comprender más rápido las nuevas políticas, pero los sistemas de visión artificial hacen un mejor trabajo a largo plazo porque no se distraen, trabajan sin descanso, y pueden trabajar 24 horas por día. Surgiendo entonces, como una buena alternativa, el utilizar un sistema de visión artificial capaz de detectar aquellos errores que un operario pudiera pasar por alto.

Las nuevas alternativas de software que se están creando para ayudar a la visión artificial son aún mejores, pueden ser capaces de tratar varios problemas diferentes a la vez. Además, la integración de protocolos industriales permite que estos sistemas se interconecten e intercambien información con tecnologías que normalmente se encuentran a nivel de plataforma de fábrica.

Actualmente, los fabricantes de hardware ofrecen a la industria sistemas de visión que permiten desarrollar aplicaciones industriales donde se necesite, por ejemplo, realizar una inspección en línea del 100% de la producción, a una velocidad de 50 piezas por segundo, con muy buena precisión en las mediciones.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema de visión artificial para inspeccionar el nivel de llenado de bebidas embotelladas.

Objetivos Específicos

- ✓ Investigar las etapas para diseñar sistemas de visión artificial.

- ✓ Estudiar los métodos utilizados para inspeccionar el nivel de llenado de bebidas embotelladas.
- ✓ Plantear una propuesta de un sistema de control de calidad para inspeccionar el nivel de llenado de bebidas embotelladas mediante el uso de técnicas de visión artificial.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Antecedentes Investigativos

Para iniciar el desarrollo de esta propuesta se ha realizado una investigación previa de trabajos que guarden relación y puedan servir de apoyo al tema expuesto. No existe información en la biblioteca de la FISEI, de la Universidad Técnica de Ambato, de temas enfocados al área de investigación.

En cuanto a bibliografía especializada investigada en universidades con carreras afines, se ha encontrado en la Escuela Politécnica Nacional, en la facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, la tesis cuyo nombre es: “Diseño y Construcción de un Módulo Didáctico de Visión Artificial Orientado al Control de Calidad de Llenado de Botellas de Vidrio con Diferente Tipo de Líquido”; elaborado por Eliana M. Acurio Méndez y Diana M. Encarnación Agila y su conclusión principal es:

“Los sistemas de visión artificial tienen amplias aplicaciones dentro de los procesos industriales y tecnológicos, el proyecto realizado se enfoca en una de estas aplicaciones que es la automatización del control de calidad mostrando las ventajas de tiempo y costo respecto a los sistemas tradicionales de inspección y aunque no iguala la capacidad de visión humana garantiza la calidad de los productos en los procesos productivos”

Categorías Fundamentales

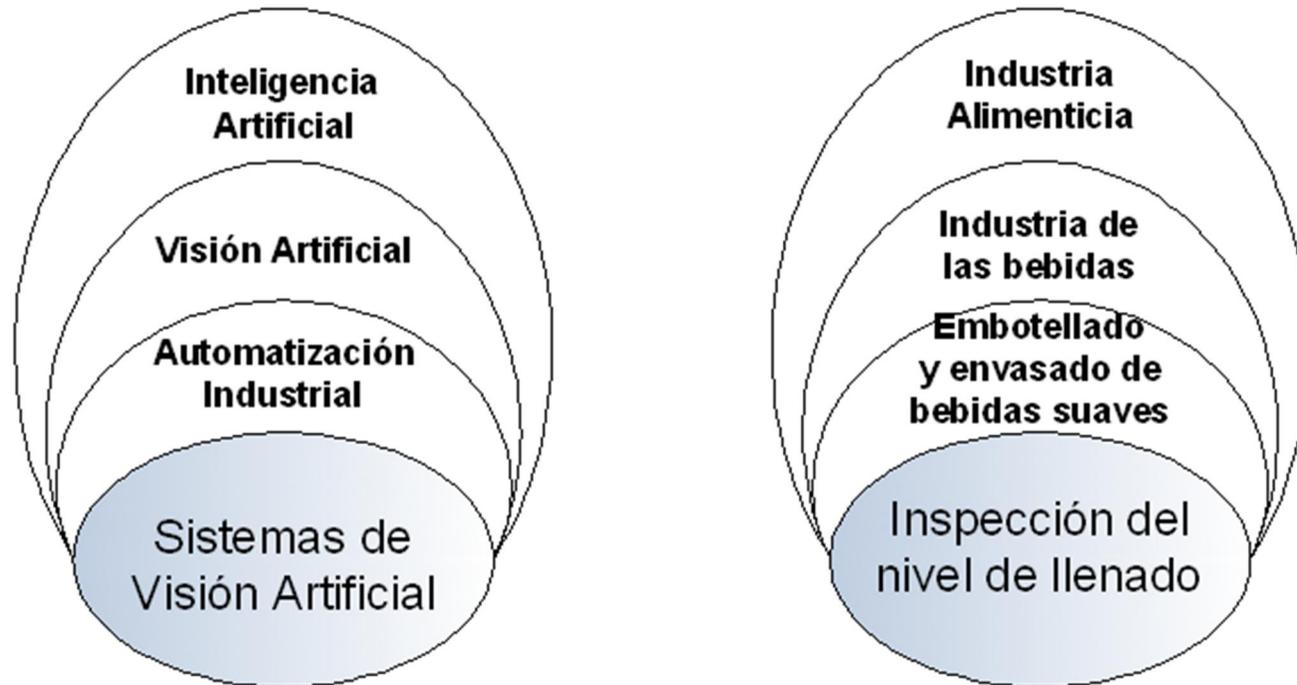


Figura 2.1 Gráfico de inclusión
Fuente: Investigador

Constelación de Ideas de la Variable Independiente

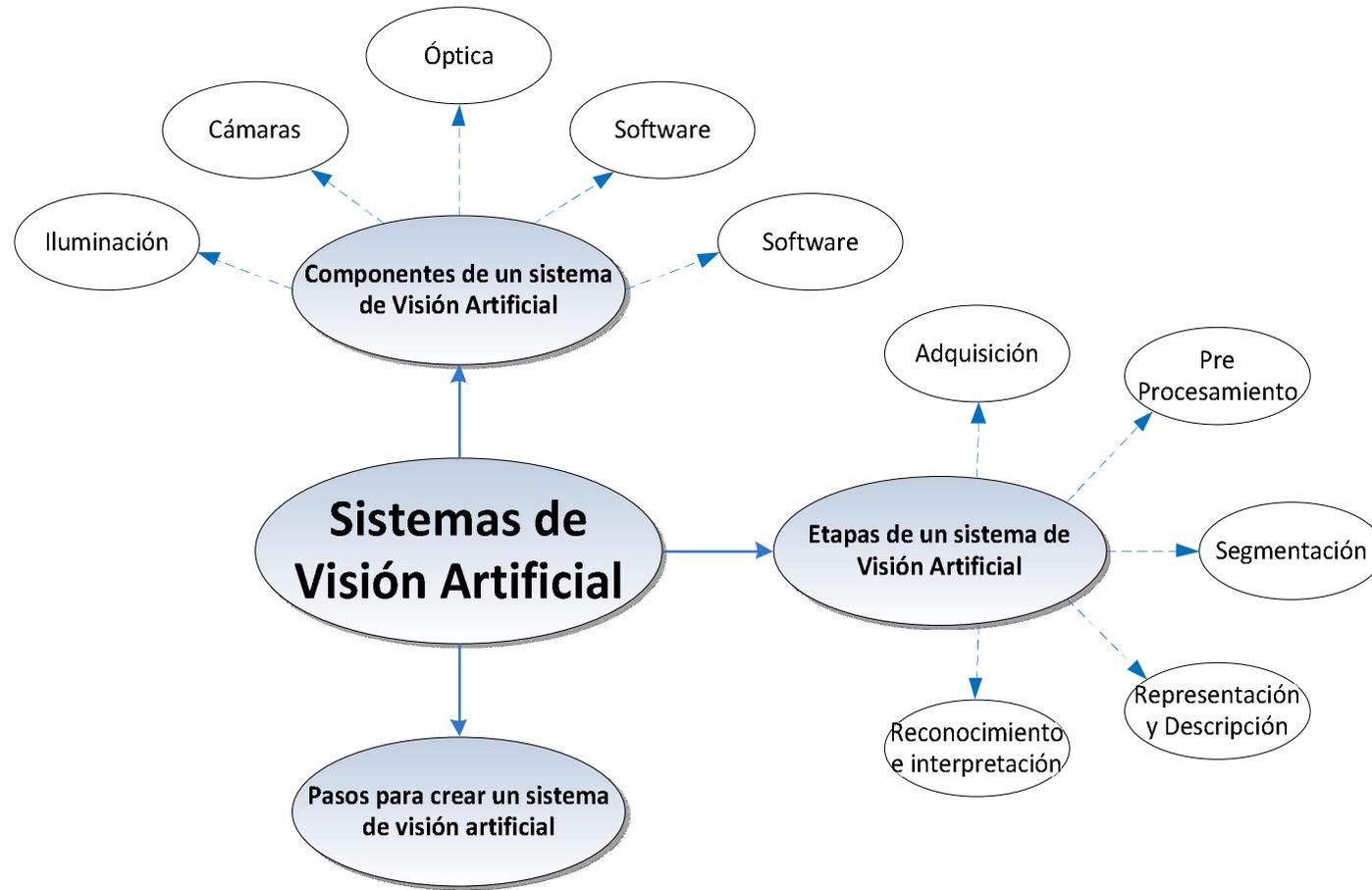


Figura 2.2 Subcategorías de la variable independiente
Fuente: Investigador

Constelación de Ideas de la Variable Dependiente

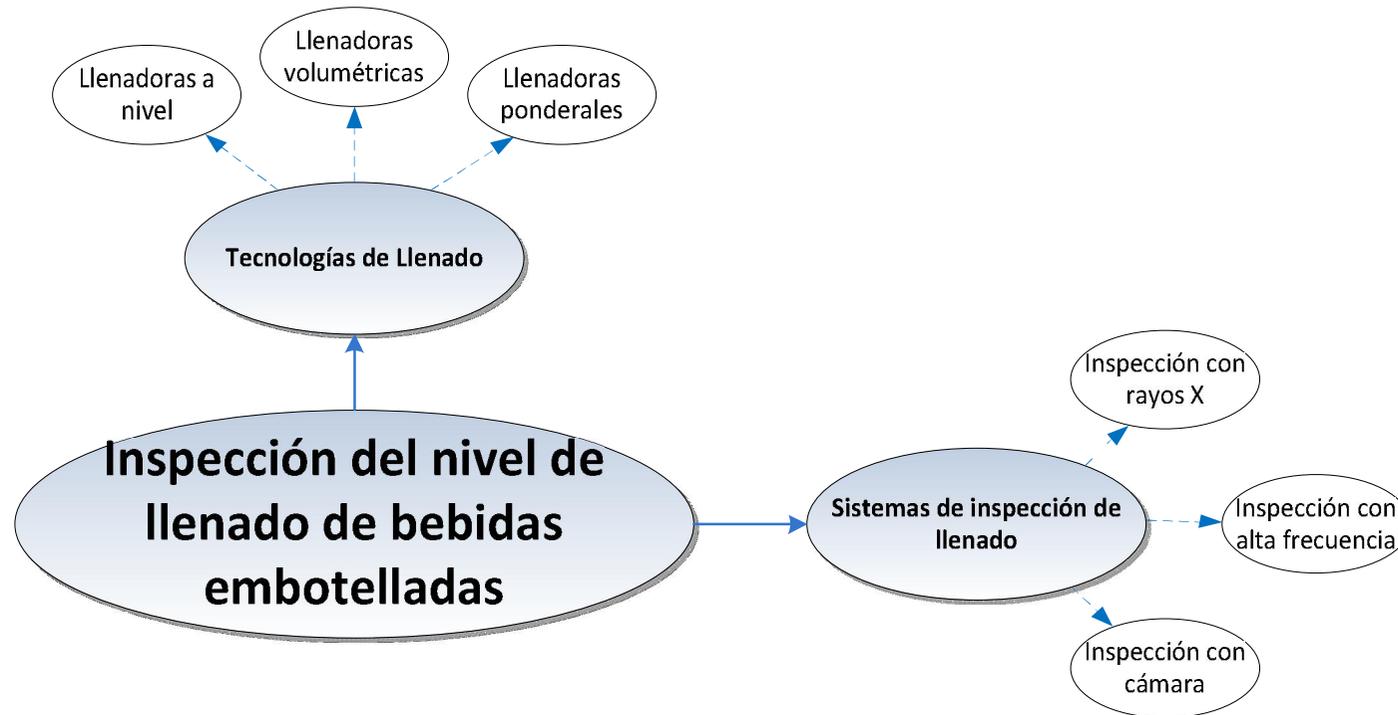


Figura 2.3 Subcategorías de la variable dependiente
Fuente: Investigador

INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La inteligencia artificial es una tecnología que ha sido desarrollada con la finalidad de tratar de imitar la dinámica del pensamiento humano, y actualmente se busca en ella la posibilidad de resolver problemas de ingeniería. A continuación se exponen algunos conceptos de varios autores.

Farid Fleifel Tapia describe la inteligencia artificial como: ***“la rama de la ciencia de la computación que estudia la resolución de problemas no algorítmicos mediante el uso de cualquier técnica de computación disponible, sin tener en cuenta la forma de razonamiento subyacente a los métodos que se apliquen para lograr esa resolución”*** (Fuente: http://www.redcientifica.com/gaia/ia/intia_c.htm).

Según Roger Loaiza; ***“la inteligencia artificial es considerada una rama de la computación y relaciona un fenómeno natural con una analogía artificial a través de programas de computador. La inteligencia artificial puede ser tomada como ciencia si se enfoca hacia la elaboración de programas basados en comparaciones con la eficiencia del hombre, contribuyendo a un mayor entendimiento del conocimiento humano.***

Si por otro lado es tomada como ingeniería, basada en una relación deseable de entrada-salida para sintetizar un programa de computador. El resultado es un programa de alta eficiencia que funciona como una poderosa herramienta para quien la utiliza” (Fuente: http://bvs.sld.cu/revistas/san/vol2_2_98/san15298.htm).

VISIÓN ARTIFICIAL

La visión artificial es considerada por los especialistas como una rama de la inteligencia artificial que tiene como propósito fundamental programar un computador para lograr que entienda una escena o las características de una imagen. Esto se logra mediante el empleo de técnicas como reconocimiento de

patrones, aprendizaje estadístico, geometría de proyección, procesamiento de imágenes, teoría de gráficos, entre otras.

Para poder comprender mejor que es la visión artificial, a continuación se muestra una recopilación de diversas opiniones obtenidas de internet.

- ✓ *“La visión artificial consiste en el proceso de obtención, caracterización e interpretación de la información a partir de imágenes.*
- ✓ *La visión artificial es un proceso de tratamiento de información que permite obtener una descripción simbólica del mundo real a partir de imágenes.*
- ✓ *Una definición más acorde con su estado de desarrollo actual sería: La visión artificial es la ciencia que estudia, utilizando computadores digitales, los procesos de obtención, caracterización e interpretación de la información procedentes de imágenes tomadas de un mundo tridimensional”*

(Fuente:

<http://193.146.57.132/depeca/repositorio/asignaturas/1/t0.pdf>).

AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

La automatización industrial es un término que ha sido asociado con el uso de sistemas computarizados y electromecánicos, mediante los cuales es posible controlar maquinarias o procesos industriales sustituyendo a operadores humanos.

Como una disciplina de la ingeniería, es más amplia que un simple sistema de control; abarca la instrumentación industrial, incluye sensores de campo, sistemas de control y supervisión, sistemas de transmisión, sistemas de recolección de datos, aplicaciones de software en tiempo real para supervisar y controlar las operaciones de plantas o procesos industriales.

El alcance va más allá que la simple mecanización de los procesos debido a que ésta provee a operadores humanos mecanismos para asistirlos en los esfuerzos físicos del trabajo, la automatización reduce ampliamente la necesidad sensorial y mental del ser humano.

SISTEMAS DE VISIÓN ARTIFICIAL

Los sistemas de visión artificial son una técnica basada en la adquisición de imágenes mediante cámaras, generalmente en dos dimensiones, para luego procesarlas digitalmente con el fin de extraer y medir determinadas propiedades de las imágenes adquiridas.

Se trata, por tanto, de una tecnología que intenta analizar e interpretar imágenes de una forma equivalente a la inspección visual humana. Se aplica para el control de calidad de productos terminados ó semiterminados, sobre la misma cadena de producción, controlando cualquier variable apreciable visualmente.

Lo que nos interesa de la visión artificial en el sector industrial es la automatización; porque es ahí donde es posible abaratar costes, incrementar la producción, reducir errores y asegurar un nivel de calidad. En otras palabras, mejorar la productividad y competitividad.

Aplicaciones

Existen varias aplicaciones de la visión artificial que pueden ser de gran ayuda en la industria; algunas de las aplicaciones más comunes se muestran en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Aplicaciones de los sistemas de visión artificial

Área	Aplicación
Inspección	Control de presencia/ausencia de elementos
	Orientación de piezas
	Control de acabado superficial
	Calidad y comprobación de impresión de etiquetas
	Detección de cuerpos extraños
Medición	Dimensiones de piezas
	Planitud de superficies
Guiado	Guía robots para localizar o ensamblar piezas
	Guía el recorrido de rollo de papel, tela, cartón
Identificación	Lectura de códigos de barras
	Lectura de caracteres impresos ya sean letras, números o símbolos, OCR, OCV.
	Búsqueda e identificación de objetos

Fuente: Investigador

Los sistemas de visión artificial orientados hacia el control de calidad pueden ser integrados con facilidad en una línea de producción, permitiendo la clasificación inmediata de acuerdo a las especificaciones de la ingeniería del producto. En la Figura 2.4 se puede apreciar el funcionamiento de un sistema típico de inspección que utiliza técnicas de visión artificial.

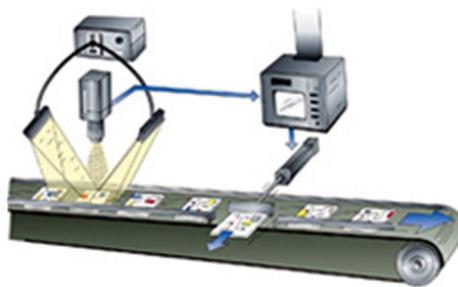


Figura 2.4 Sistema de inspección con visión artificial

Fuente: <http://www.ecvv.com/product/1364453.html>

Ventajas y desventajas

Como parte fundamental de esta investigación, es primordial conocer las ventajas y desventajas que esta tecnología presenta. El análisis de estas

características puede ser un factor determinante al momento de seleccionar esta alternativa como una solución viable a un problema.

Ventajas

Los sistemas de visión artificial aplicados a la industria están orientados a realizar tareas de inspección, control de calidad y control de procesos. Mediante el procesamiento de imágenes es posible detectar la presencia o ausencia de atributos de interés tales como defectos, dimensiones, formas y colores, además de reconocer textos y leer códigos de barra, entre otras funcionalidades. Esto finalmente, se traduce en importantes beneficios, entre los cuales se pueden destacar:

- ✓ Mejorar la calidad de los procesos a través de la separación automática de la línea de producción de los productos defectuosos.
- ✓ Clasificar y cuantificar fallas para generar estadísticas y reportes que ayuden a las decisiones de mantenimiento y al cumplimiento de normas y estándares.
- ✓ Controlar el proceso a través de la indicación del tipo de desviación que se está produciendo en la línea de producción.
- ✓ Reducción de costes por reproceso y por personal dedicado a realizar estas tareas.
- ✓ Son sistemas automáticos que no descansan y permiten velocidades de trabajo muy altas en comparación con un operario.
- ✓ Permiten atender las demandas más exigentes de calidad al permitir la inspección y el control del 100% del producto.
- ✓ Es la opción idónea para el control de todo tipo de procesos para el guiado de manipuladores y robots.
- ✓ Son sistemas que se amortizan rápidamente y tienen costes de funcionamiento muy reducidos.

Desventajas

La implementación de un sistema de visión artificial en una línea de producción debe cumplir con algunos requisitos, que en muchos de los casos,

pueden ser considerados como dificultades que obstaculizan el desarrollo de este tipo de aplicaciones; algunos de los problemas más notables son:

- ✓ Alto coste, la implementación de sistemas de visión artificial implica el desembolso de un gran capital inicial debido al alto coste de la ingeniería y equipos.
- ✓ Requiere una sincronización precisa de todos los componentes del sistema.
- ✓ El mantenimiento debe ser realizado por personal técnico especializado.

Componentes de un sistema de visión artificial

Un sistema de visión artificial está compuesto de diversos elementos que pueden variar dependiendo del tipo de problema que se está intentando resolver y las condiciones en las que este se desarrolla. Sin embargo; la mayoría de sistemas de visión artificial actuales comparten un tronco común que está formado por los siguientes componentes:

- ✓ Iluminación
- ✓ Cámara
- ✓ Óptica
- ✓ Placa digitalizadora
- ✓ Unidad de procesamiento
- ✓ Software

En la Figura 2.5 se puede apreciar un esquema los componentes de un sistema de inspección con visión artificial.

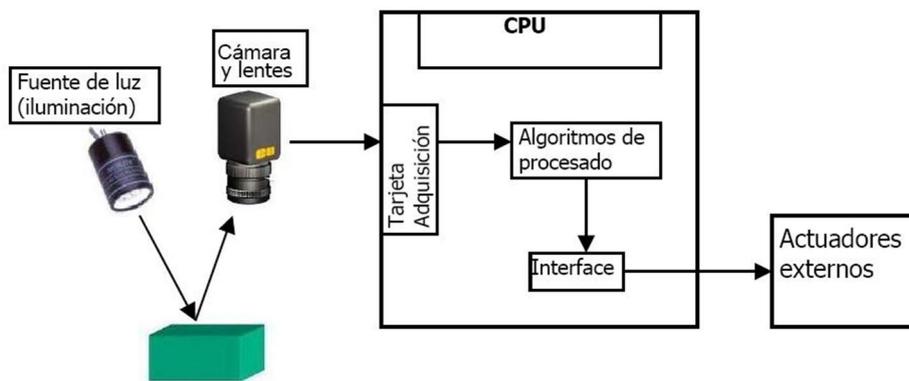


Figura 2.5 Componentes de un sistema de visión artificial

Fuente: <http://bit.ly/n5Vu8m>

Existe en el mercado gran variedad de opciones para cada uno de los componentes, los fabricantes ofrecen alternativas que van desde los modelos más simples hasta complejos diseños orientados a satisfacer las necesidades más exigentes de la industria.

El estudio de las características de los componentes, así como el conocimiento de técnicas y métodos, son dos factores que pueden ser de gran utilidad al momento de seleccionar los componentes más adecuados para desarrollar una aplicación específica. Por tal motivo, se ha realizado una investigación orientada hacia el estudio de los componentes y técnicas más comunes utilizadas en los sistemas de visión artificial actuales.

Iluminación

El objetivo de la iluminación es separar la característica o la parte a inspeccionar del resto de la pieza. Si el rasgo que se desea medir no es posible separarlo del resto, la inspección presentará dificultades en la medida.

Esto se hace mucho más evidente cuando el objeto a iluminar presenta formas complejas o superficies muy reflectantes. Las cámaras capturan la luz reflejada de los objetos. El propósito de la iluminación utilizada en las aplicaciones de visión es controlar la forma en que la cámara va a ver el objeto. La luz se refleja de forma distinta si se ilumina una bola de acero, que si se ilumina

una hoja de papel blanco y el sistema de iluminación por tanto debe ajustarse al objeto a iluminar.

La iluminación se puede considerar como la parte más crítica dentro de un sistema de visión. Las cámaras, de momento, son mucho menos sensibles y versátiles que la visión humana; las condiciones de iluminación deben optimizarse al máximo para conseguir que una cámara pueda capturar una imagen que el ojo humano podría distinguir sin necesidad de una iluminación tan especializada.

Si se utiliza una iluminación adecuada, la aplicación se resolverá más fácilmente, mientras que si la misma aplicación recibe una iluminación incorrecta puede que sea imposible de resolver. Si para resolver una aplicación es necesario utilizar muchos filtros de software, significa que la iluminación que se está aplicando no es lo suficientemente correcta. Una iluminación adecuada permitirá emplear menos filtros en la imagen y por tanto aumentar la velocidad de proceso en esa aplicación.

El comportamiento de la luz varía dependiendo del objeto a iluminar, para obtener una iluminación adecuada es necesario estudiar algunos conceptos fundamentales.

Naturaleza de la luz

La luz se desplaza o irradia en todas las direcciones a partir de su origen. Por eso según la distancia se percibe con mayor o menor energía luminosa, es lo que denominamos luminosidad.

Hay que recordar que sólo una parte pequeña del espectro electromagnético es la zona visible (luz visible); comprende longitudes de onda aproximadamente desde los 400 hasta los 700 nm.

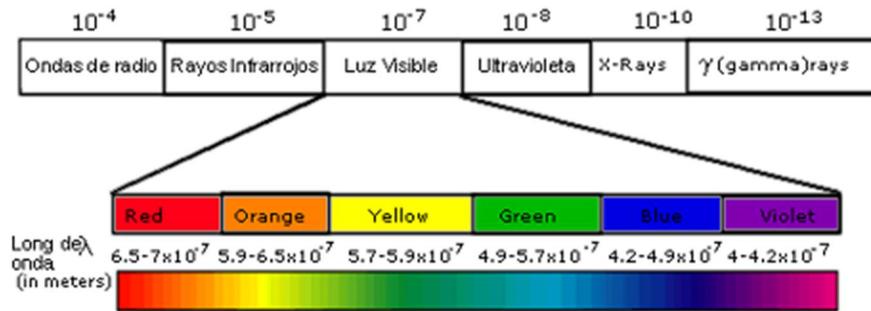


Figura 2.6 Espectro electromagnético y luz visible

Fuente: <http://eca-quimica.blogspot.com/2009/10/espectro-electromagnetico.html>

Cuando la luz se desplaza por un medio constante puede llegar a la superficie de algún objeto. En este punto puede ser:

- ✓ **Reflejada**, la superficie de la mayoría de los objetos reflejan o "rebotan" la luz.
- ✓ **Absorbida**, si el objeto es opaco, la luz no reflejada por su superficie resulta absorbida por aquél y desaparece. La energía se convierte en calor en el interior del objeto.
- ✓ **Transmitida**, si el objeto es transparente, parte de la luz continúa su desplazamiento a través del objeto.

La energía total de la luz que llega a un objeto (luz incidente) debe equivaler a la suma de la energía de la luz reflejada, absorbida y transmitida.

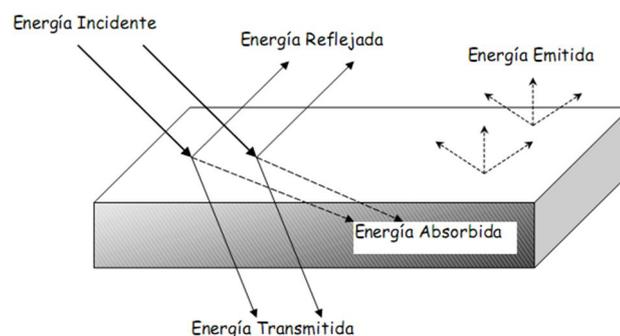


Figura 2.7 Naturaleza de la luz

Fuente: www.gnewbook.org/action/file/download?file_guid=54044

Características ópticas de los materiales

En cada caso es fundamental tener en cuenta para el diseño del sistema de iluminación, el hecho de cómo es la superficie a iluminar, el tipo de materiales que se están tratando (puesto que pueden ser muy diferentes, desde metal, plástico, etc.).

También hay que comprobar la generación, en cada caso, de brillos y reflejos descontrolados que podrían perturbar el análisis.

En la Tabla 2.2 se puede apreciar una clasificación de los materiales, de acuerdo a sus características ópticas.

Tabla 2.2 Características ópticas de los materiales

<i>Materiales</i>	<i>Tipo</i>	<i>Características</i>
Absorbentes	Selectivos	Materiales que muestran un alto nivel de absorción para determinadas longitudes de onda de la luz incidente. Por ejemplo, las superficies coloreadas.
	No Selectivos	Absorben por igual todas las longitudes de onda de la luz incidente.
Reflectantes	Difusos	La luz incidente se refleja en todas las direcciones. Por ejemplo, superficies con textura granular.
	Especulares	La luz incidente se refleja con el mismo ángulo de incidencia. Por ejemplo, superficies altamente pulidas, espejos.
	Selectivos	Devuelven una cierta cantidad de luz de una longitud de onda determinada y absorben el resto.
	No Selectivos	Devuelven toda la luz incidente independientemente de su longitud de onda.
Transparentes	Transparentes	Dejan pasar la luz sin dispersión o reflexión apreciable.
	Translúcidos	Dejan pasar la mayor parte de la luz incidente pero con una componente importante de difusión.
	Opacos	No dejan pasar la luz.

Fuente: www.gnewbook.org/action/file/download?file_guid=54044

Técnicas de iluminación

Las técnicas de iluminación son empleadas para resaltar o disimular las formas de los objetos visibles desde el punto de vista de la cámara. Actualmente, las técnicas de iluminación más comunes que se utilizan en los sistemas de visión artificial son:

a) Iluminación frontal

Es la más usada, y consiste en iluminar frontalmente la pieza. Presenta más problemas para obtener un buen contraste entre la pieza y el fondo, debido a la aparición de brillos y sombras que alteran las propiedades de las piezas a estudio. Se emplea en piezas poco reflectoras para evitar los brillos que son bastante molestos.

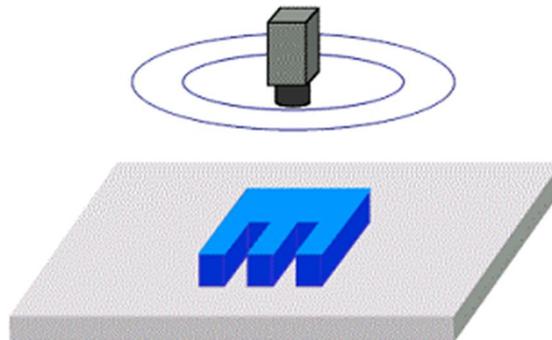


Figura 2.8: Iluminación frontal
Fuente: <http://bit.ly/pNgdMr>

b) Iluminación direccional

Consiste en una iluminación direccionada en algún sentido del espacio para destacar una característica concreta del objeto. La principal virtud es la creación de sombras sobre el objeto, lo que puede ayudar a incrementar el contraste de partes tridimensionales y obtener la consiguiente información 3D.

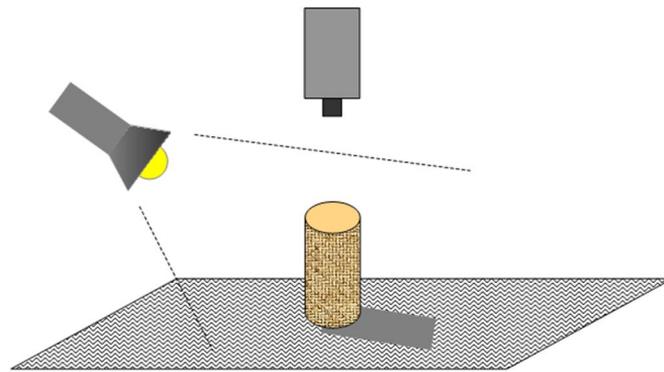


Figura 2.9: Iluminación direccional
Fuente: <http://bit.ly/pNgdMr>

c) Iluminación posterior difusa

Mediante la iluminación difusa por la parte posterior del objeto se obtiene una imagen de alto contraste, donde la silueta oscura de los objetos se ve resaltada frente al fondo blanco, y por tanto resulta adecuado para medir la forma de los objetos.

Esta técnica proporciona imágenes con un alto contraste entre la pieza y el fondo, resultando fácilmente segmentable mediante una simple binarización aunque se pierden los detalles de la escena.

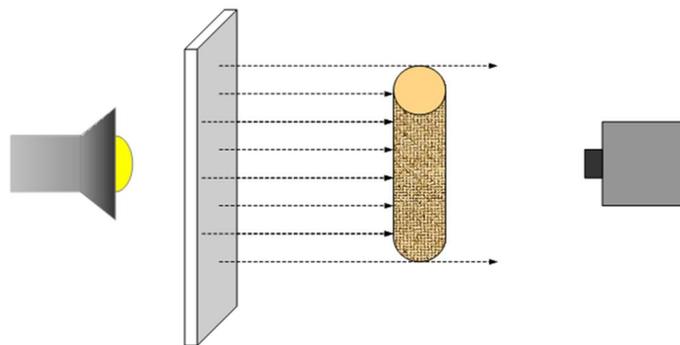


Figura 2.10 Iluminación posterior difusa
Fuente: <http://bit.ly/pNgdMr>

d) Iluminación direccional lateral

Resalta la textura de los objetos o aquellas características salientes, dado que al incidir la luz con un ángulo muy pequeño sólo será reflejada hacia la cámara cuando se encuentre algún saliente. Por tanto, resulta útil para resaltar protuberancias y hendiduras de la superficie del objeto.

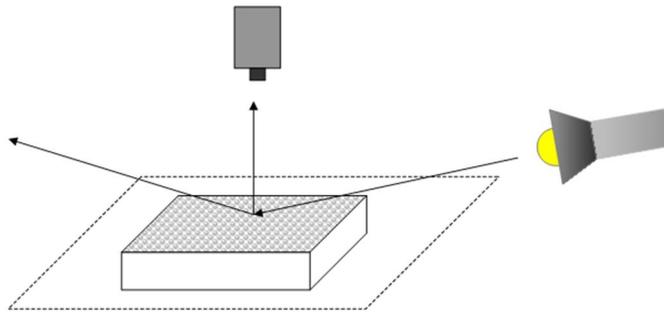


Figura 2.11 Iluminación direccional lateral

Fuente: <http://bit.ly/pNgdMr>

e) Iluminación estructurada

Mediante la proyección de puntos, franjas o rejillas de luz sobre la superficie de trabajo se establece un patrón que permite extraer las características dimensionales del objeto por medio de la medición de la distorsión que sufre dicho patrón de luz ante la presencia de un objeto.

Uno de los sistemas más conocidos consiste en la iluminación con un haz láser plano, de modo que al situarse en un ángulo conocido respecto a la cámara, la línea proyectada y distorsionada por la presencia de un objeto presentará un determinado desplazamiento según la profundidad a la que se encuentre el punto, permitiendo de este modo conocer su posición en el espacio, y finalmente reconstruir el objeto 3D mediante técnicas de computación.

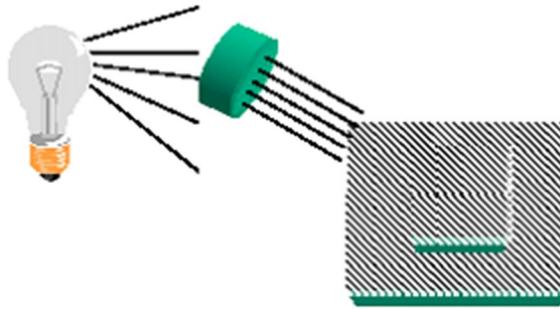


Figura 2.12 Iluminación estructurada

Fuente: <http://bit.ly/pNgdMr>

Fuentes de iluminación

Las fuentes de luz se deben escoger en función de la aplicación que se desea realizar, una fuente mal escogida puede traer consigo un sin número de anomalías difíciles de eliminar como son el caso de las sombras, las reflexiones y el bajo contraste. Es por ello que el conocimiento del tipo de iluminación a utilizar se debe tener muy en cuenta.

Entre la multitud de fuentes de luz existentes, las más utilizadas son:

a) Lámparas incandescentes.

Su iluminación es bastante homogénea aunque presenta las dificultades de ser consumidoras y disipadoras de calor. Es la fuente de iluminación más común y consiste en un filamento de tungsteno o halógeno-tungsteno. Como ventaja tiene que existe gran variedad de potencias, además que son muy baratas y como desventaja, que reduce su luminosidad con el tiempo, lo que puede provocar problemas en algunos sistemas de visión.

b) Tubos fluorescentes.

Más eficaces que las lámparas y suministran una luz más difusa, que es bueno para piezas muy reflectoras. Existe una gran variedad, tanto en forma (circulares, lineales), como en tamaño con lo que son ampliamente utilizados.

c) LED

Admite multitud de configuraciones y están disponibles en multitud de colores, son estables, duraderos, funcionan en baja tensión, su coste es bajo.

d) Luz estroboscópica (Flash)

Normalmente se utilizan para captar imágenes en movimiento, son fuentes de luz de gran intensidad luminosa que se ve poco afectada por la luz ambiente. Su principal desventaja es la fuente de alimentación las cuales deben estar bien sincronizadas con el sistema de captura de la imagen, presentan gran disipación de calor y pierden luminosidad con el tiempo. A su favor podemos decir que son fuentes extremadamente rápidas.

e) Láser

Muchos hemos escuchado hablar de lo extremadamente direccional de la luz emitida por este tipo de fuente además presenta la característica de ser monocromática.

Se postula como una fuente de luz casi perfecta aunque su inconveniente principal es su costo y la necesidad de colocarle dispositivos auxiliares para realizar barridos de la zona de interés. Tiene el inconveniente de presentar un mal comportamiento frente a superficies que absorben luz.

f) Fibra óptica.

Ideal para iluminar zonas de difícil acceso o extremadamente pequeñas. Proporciona iluminación constante.

Tabla 2.3 Comparación entre los tipos de fuentes de luz

<i>Fuente</i>	<i>Ventajas</i>	<i>Inconvenientes</i>
Incandescente	Bajo coste Fáciles de utilizar Pueden estar en funcionamiento durante largos períodos de tiempo Permiten ajustar la intensidad	Desprenden calor elevado Pierden luminosidad con el tiempo
Fluorescente	No generan calor Formas y tamaños variables Diversos colores de luz	Imposibilidad de operar a bajas temperaturas Disminución del nivel de iluminación con el paso del tiempo
LED	Luz monocroma en una gran variedad de colores Período de vida largo Bajo coste	Intensidad luminosa muy baja
Estroboscópica	Permiten analizar objetos en movimiento (piezas en una cinta transportadora) Iluminación intensa (disminuye el efecto de la luz ambiente)	Necesitan una fuente de tensión especial Necesitan sincronización con las cámaras Su intensidad va decreciendo con el tiempo
Láser	Permite generar una gran diversidad de patrones de luz (puntos, líneas finas, rejillas, etc.)	Mal comportamiento frente a superficies que absorben luz
Fibra óptica	No transmiten calor en el proceso de iluminación Ideales para iluminar pequeñas áreas y zonas de difícil acceso	Coste elevado

Fuente: Investigador

Cámaras

Las cámaras son las encargadas de captar la información luminosa de la escena a analizar y convertirla en una señal, analógica o digital, para ser utilizada por los sistemas de procesamiento.

Las cámaras de visión artificial son más sofisticadas que las convencionales, ofreciendo un completo control de los tiempos y señales, de la velocidad de obturación, de la sensibilidad y de otros factores fundamentales tanto en aplicaciones científicas como industriales. Quizá la característica más relevante

es el control del disparo de la cámara para capturar las piezas que pasan por delante de la cámara exactamente en la posición requerida.

Tipos de cámaras

La cámara desempeña la función de sensor en un sistema de visión artificial. Existen varias tecnologías en la captura de la imagen y será la naturaleza del proyecto la que determinará la más adecuada en cada caso.

Es difícil clasificar las cámaras ya que hay muchos formatos y categorías: monocromo, FireWire, a color, analógicas, digitales, GigE, CCD, CMOS, área de escaneo, 3D, cámaras inteligentes, etc. Se detallarán las cámaras más comunes empleadas en sistemas de visión artificial.



Figura 2.13 Diferentes cámaras empleadas en sistemas de visión artificial
Fuente: MINCHALA, Ismael A. *Procesamiento Digital de Imágenes*. Pág. 21

Cámaras analógicas

En la mayoría de los sistemas de visión artificial vendidos hace unos años figuran cámaras analógicas conectadas a un PC a través de una tarjeta en el PC llamado digitalizador o frame grabber. Estas son todavía muy populares en los sistemas más antiguos, pero están siendo remplazadas todo el tiempo por cámaras digitales modernas, puesto que ofrecen mayores prestaciones.

La salida es una señal analógica de video, que puede venir acompañada o no, por otras señales de sincronización. La señal de video viene limitada por la anchura de banda y por el ruido análogo que puede proporcionar el cable. Los formatos más utilizados son NTSC y PAL.



Figura 2.14 Cámara analógica XC-ES30

Fuente: <http://www.aegis-elec.com/products/sonyxce-s30.html>

Cámaras digitales

Los sensores digitales de imagen están formados por una serie de elementos foto sensores (sensibles a la luz) que modifican su señal eléctrica según la intensidad luminosa que reciben, lo que permite la captura de los puntos que conforman la imagen. Estos sensores suelen estar configurados en forma matricial de modo que proporcionan una imagen bidimensional.

Con objeto de reducir costes suelen existir en el mercado multitud de cámaras que emplean lo que se conoce como imagen entrelazada, donde se capturan por un lado las líneas pares y por otro las impares, con lo que al hacerse en instantes de tiempo diferentes no pueden ser empleadas con objetos en movimiento.

Los sensores son fabricados en dos tecnologías, principalmente en CCD y en CMOS.

a) Sensor CCD

La tecnología CCD (*Charge Coupled Device*) es la que proporciona una mejor imagen, sobre todo en el caso de las cámaras profesionales en las que se emplea un sensor para cada color, mientras que en las de consumo se emplea un único sensor, de modo que este está constituido como un mosaico de detectores de colores y por tanto captura una menor densidad de puntos. Cuando el sensor ha capturado la imagen envía la información completa serializada fila a fila.

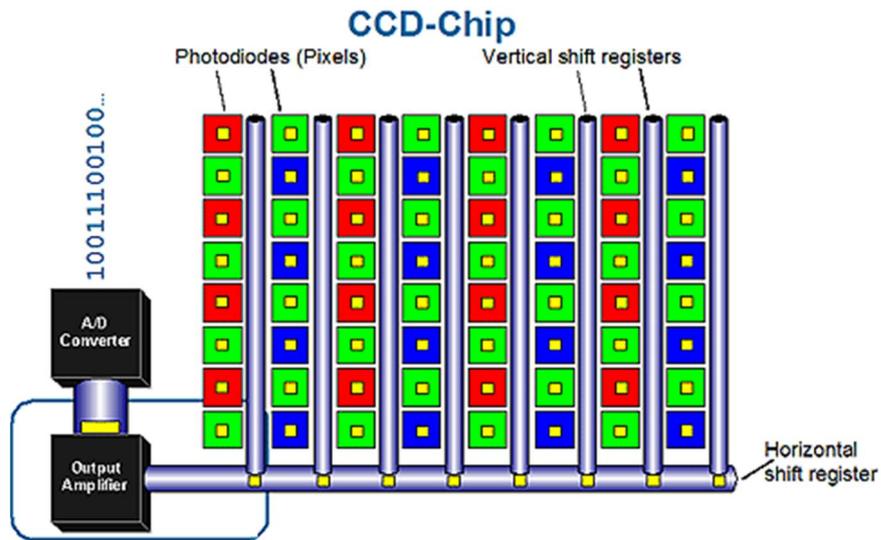


Figura 2.15 Funcionamiento del sensor CCD

Fuente: <http://ultimosavances.com/sensores-con-tecnologia-ccd-vs-cmos/>

b) Sensor CMOS

La tecnología CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) es la más económica, y ofrece un menor tamaño, gracias a su grado de integración electrónica. Además, puede capturar partes de la imagen, no teniendo que transmitirla completamente.

En los sensores CMOS cada celda es independiente; la digitalización de los píxeles se realiza internamente en unos transistores que lleva cada celda, por lo que todo el trabajo se lleva a cabo dentro del sensor y no se hace necesario un chip externo encargado de esta función. Con esto conseguimos reducir costes y equipos más pequeños.

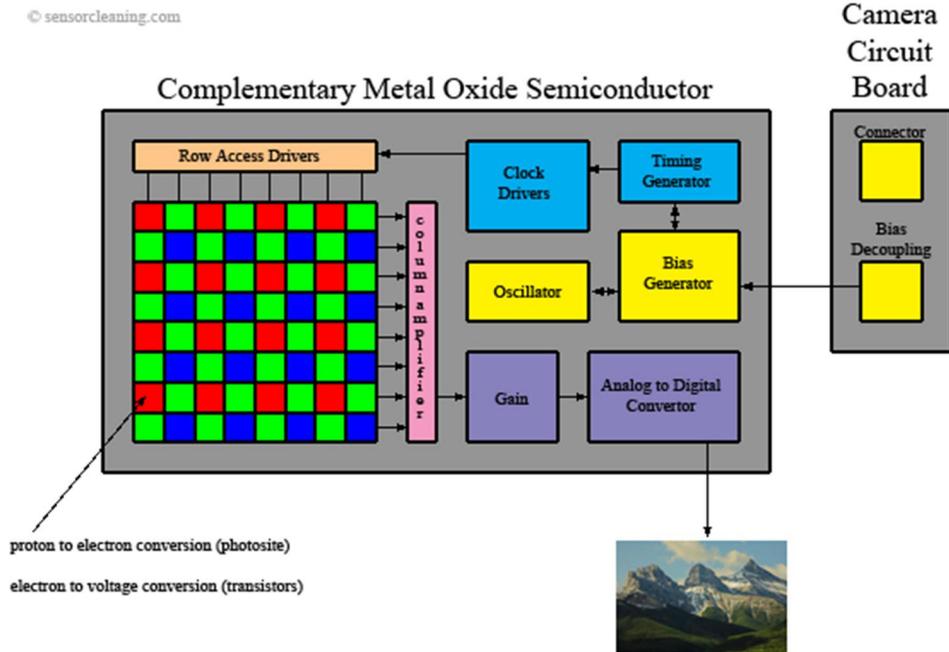


Figura 2.16 Funcionamiento del sensor CMOS
Fuente: <http://bit.ly/oyMZuY>

Interfaces de Cámaras

a) FireWire (IEEE 1394)

Firewire es ahora la interfaz predominante en Visión Artificial. No requiere frame grabbers y ofrece un sistema de cableado simple en cadena utilizando una interface estándar, reduciendo la necesidad de múltiples puertos firewire en el PC.

b) Camera Link

Es un nuevo estándar de interfaces desarrollado por un consorcio de adquirentes de imágenes y de fabricantes de cámaras para ofrecer funcionalidad de velocidad y disparo con la facilidad de cableado estandarizado. Camera Link ha sido el estándar de alta velocidad de transferencia de datos en los sistemas de visión de los últimos años.

c) GigE

Las cámaras con interfaz Gigabit Ethernet (GigE) están surgiendo en aplicaciones de visión artificial en todas partes, y por una buena razón; GigE ofrece conectividad full-duplex a 1 GB/s sobre la infraestructura de un PC estándar. Tiene un alcance de larga distancia y es compatible con casi cualquier configuración de red.

d) USB 2.0

No es un protocolo estándar, depende del driver del dispositivo.

Tabla 2.4 Comparación entre los tipos de cámaras

<i>Tipos de Cámaras</i>	<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
Analógicas	<p>Tecnología Establecida</p> <p>Estándar de cableado simple que usa un solo cable BNC para conectar la cámara al adquirente de imágenes</p> <p>Bajo costo</p> <p>Resolución estándar de 640 x 480 píxeles a una velocidad de 30 cuadros por segundo es suficiente para la mayoría de las aplicaciones</p>	<p>Ofrecen poca flexibilidad en características como tamaño de imagen, tasa de adquisición, y resolución en bits.</p> <p>Incapacidad de cambiar programáticamente la configuración de la cámara durante la operación</p>
FireWire	<p>Bajo Costo</p> <p>No requiere de archivos de cámara</p> <p>Soporta una gran variedad de tasas de adquisición y tamaños de imágenes</p> <p>Soporta múltiples cámaras en un solo adquirente de imágenes</p> <p>Disponible en formato PCMCIA para uso en Laptops</p>	<p>Tasa de transferencia de datos más lenta</p> <p>Sin memoria integrada para guardar imágenes</p> <p>Menos soporte de disparo</p> <p>Difícil sincronización con otros dispositivos</p>
Camera Link	<p>Alta velocidad, alta profundidad en píxeles y tamaños de imágenes más grandes</p> <p>Fácil configuración de opciones y otras funcionalidades de las cámaras</p> <p>Cableado uniforme entre fabricantes de cámaras y dispositivos de adquisición de imágenes</p>	<p>Pocos productos disponibles actualmente</p> <p>Costes elevados</p>
GigE	<p>Alta velocidad de transferencia</p> <p>Alcance de larga distancia</p>	<p>Costes elevados</p>
USB	<p>Bajo costo</p> <p>Posibilidad de conectar varias cámaras</p>	<p>Compatibilidad de software</p> <p>Longitud de alcance limitado</p>

Fuente: <http://bit.ly/oUEMoa>

Cámaras especiales

a) Cámaras lineales

A nivel industrial también se emplean los sensores con configuración en línea, dada sus altas resoluciones, cuando los objetos se sitúan en superficies en movimiento para aplicaciones de medida (metrología).

Las cámaras lineales construyen la imagen línea a línea realizando un barrido del objeto junto con un desplazamiento longitudinal del mismo. El hecho de construir imágenes de alta calidad a partir de líneas individuales, requiere de una alta precisión.

La alineación y el sincronismo del sistema son críticos si se quiere obtener una imagen precisa del objeto a analizar. Su utilización está muy extendida para la inspección de objetos de longitud indeterminada, tipo telas, papel, vidrio, planchas de metal, etc.



Figura 2.17 Cámara lineal Piranha HS-82-04k80

Fuente: <http://lusterinc.com/news/PiranhaHS-82-04Kx0.html>

b) Cámaras inteligentes

Una cámara inteligente es una combinación de un sensor de imágenes y un procesador de alto rendimiento que arroja resultados de inspección en vez de imágenes. Mientras que una cámara industrial típica adquiere y transmite imágenes a través de un bus estándar, tal como Camera Link o 1394 IEEE, hacia

un servidor de PC o a un sistema de visión que procesa las imágenes, una cámara inteligente desempeña todas las operaciones directamente en la cámara.

Por lo general vienen con algún tipo de Kit de Software de Desarrollo (SDK) y algunos elementos básicos de entrada y salida. Son ideales para la mayoría de las aplicaciones de planta como el guiado de robots, OCR, etc. donde las resoluciones superiores a los 2 mega píxeles no son requeridas.



Figura 2.18 Cámara inteligente 1722 de National Instruments
Fuente: <http://www.movimed.com/smartcameras.htm>

Así mismo, no demandan conocimientos de programación en su mayor parte. La mayoría se puede programar con interfaces amigables y menús desplegables; sin embargo, los conocimientos de visión artificial, tales como conceptos de iluminación, son un requisito previo.

c) Escáner 3D

Los escáneres 3D utilizan diferentes tecnologías capaces de proporcionar las coordenadas (x, y, z) de los puntos en la superficie de un objeto. Los sistemas de visión artificial más modernos incorporan, como método de digitalización 3D, algoritmos de triangulación entre cámara y láser y destacan por su coste asequible y su elevada resolución.

El método que utilizan consiste en la interpretación de la imagen generada por una línea láser reflejada en la superficie que se desea analizar, basada en los principios teóricos del comportamiento de la deformación perspectiva que se produce debido al ángulo de incidencia del láser respecto al sensor.

La imagen muestra una configuración típica cámara-láser para digitalizar en 3D los objetos que se desplazan sobre una cinta transportadora.

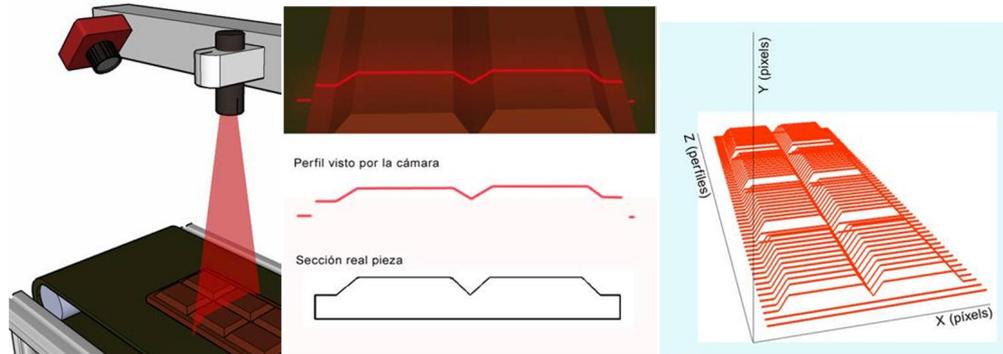


Figura 2.19 Adquisición de un patrón tridimensional con un escáner 3D
Fuente: <http://bit.ly/qiC499>

Óptica

Las ópticas se utilizan para transmitir la luz al sensor de la cámara de una forma controlada y de esta forma obtener una imagen enfocada de uno o varios objetos.

En los sistemas de visión artificial es necesario utilizar ópticas de calidad para tener la mejor imagen posible y permitir las medidas con la mayor precisión. Hay muchos fabricantes de ópticas, que pueden producir lentes de distintas cualidades. No hay ningún fabricante que tenga un rango total de ópticas para cubrir todas las necesidades que se plantean en las aplicaciones de visión.

Parámetros de selección de la óptica

La correcta selección de una óptica en la mayoría de ocasiones no es obvia. Ya que incluso, algunas veces, si no se selecciona correctamente, aún utilizando una óptica de excelente calidad, no se obtiene el resultado deseado.

Para saber exactamente que óptica debe utilizarse para la aplicación que se desea resolver se debe tener en cuenta una serie de parámetros. Por una parte se debe conocer el tamaño del sensor de la cámara, también se debe saber a qué

distancia estará el objeto de la cámara y por último se debe conocer el campo de visión que deseamos abarcar en nuestra aplicación.

Para definir el tipo de óptica se deben seguir una serie de consideraciones tales como:

- ✓ El tipo de iluminación utilizado
- ✓ Las especificaciones del sensor de la cámara
- ✓ El tamaño y geometría del objeto
- ✓ La distancia y el espacio disponible

En la Figura 2.20 se observa el análisis pertinente para calcular el campo de visión (FOV).

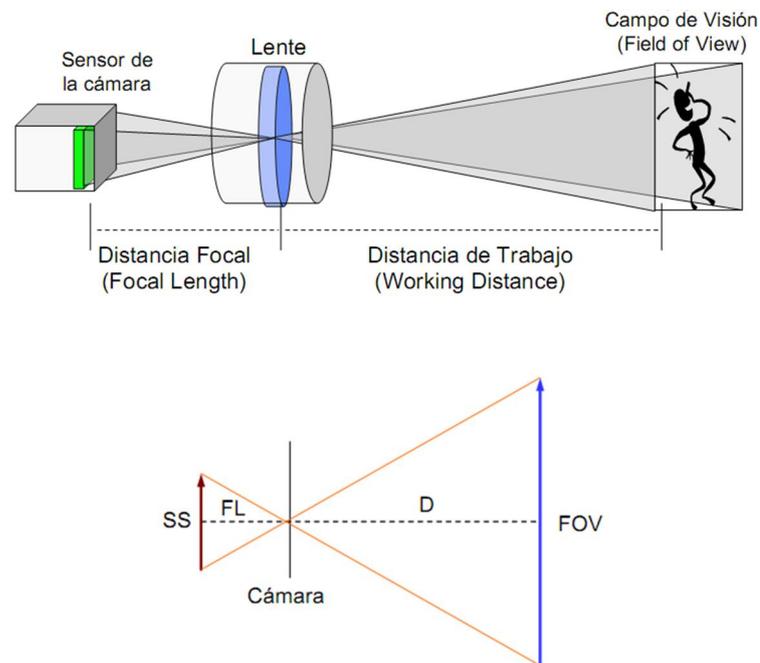


Figura 2.20 Cálculo del campo de visión

Fuente: MINCHALA, Ismael A. *Procesamiento Digital de Imágenes*. Pág. 43

Analizando la Figura 2.20 se puede establecer la siguiente relación:

— —

Despejando FOV se obtiene la ecuación:

$$FOV = \frac{SS}{D * FL}$$

En donde,

FOV campo de visión

D distancia de trabajo

SS tamaño del sensor

FL distancia focal

Un lente produce imágenes en forma de un círculo, denominado círculo de imagen. El sensor posee sin embargo un área rectangular que detecta la imagen producida dentro del círculo de imagen.

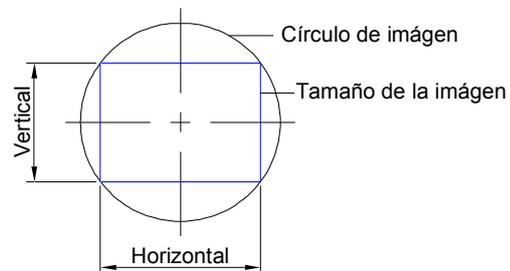


Figura 2.21 Características del sensor de imagen

Fuente: Investigador

En la Tabla 2.5 se muestra los diferentes tamaños de sensores que existen en el mercado, y además, las dimensiones estandarizadas para cada tamaño de sensor.

Tabla 2.5 Dimensiones estandarizadas de los sensores de imagen

<i>Tamaño del sensor</i>	<i>Diámetro del círculo (mm)</i>	<i>Horizontal (mm)</i>	<i>Vertical (mm)</i>
1/4"	4.0	3.2	2.4
1/3"	6.0	4.8	3.6
1/2"	8.0	6.4	4.8
2/3"	11.0	8.8	6.6
1"	16.0	12.8	9.6

Fuente: MINCHALA, Ismael A. *Procesamiento Digital de Imágenes*. Pág. 43

Ópticas para aplicaciones industriales y científicas

En la mayoría de aplicaciones de visión se utilizan ópticas de foco fijo, no es habitual utilizar ópticas zoom y menos aún ópticas motorizadas, aunque en ocasiones sean de gran utilidad. En visión industrial normalmente lo habitual es que la distancia entre los objetos y la cámara siempre sea la misma, permitiendo que el tamaño de los objetos en una aplicación determinada también siempre permanezca más o menos constante.

Es importante también ajustar la calidad de la óptica al resto de los componentes de visión. Por ejemplo, si se utiliza una cámara de alta definición será necesario poner una óptica de calidad para aprovechar al máximo las características de la cámara. Del mismo modo no tiene sentido poner una lente de mucha calidad en una aplicación donde solo sea necesario distinguir entre objetos oscuros o claros.

Frame Grabbers o placas digitalizadoras

En las aplicaciones de visión industrial y de análisis de imagen para entorno científico es necesario tomar las imágenes con la mejor calidad posible y enviarlas a la memoria del ordenador con el fin de procesarlas, analizarlas o visualizarlas.

Los frame grabbers han sido utilizados desde hace mucho tiempo para poder capturar las imágenes a alta velocidad, el desarrollo de este tipo de placas de captura ha ido paralelo al rápido avance de la velocidad de los ordenadores.

Las cámaras que se utilizan en estos entornos presentan una serie de requisitos que en la mayoría de ocasiones no son estándar. Las especificaciones y precios de las placas de captura de imagen (Frame Grabbers) varían enormemente, y por tanto, se deben tener en cuenta los requisitos técnicos de cada frame grabber para su elección.

En el pasado la limitada capacidad de proceso de los ordenadores limitaba la velocidad y la mayoría de frame grabbers llevaban procesadores abordo. En la actualidad los frame grabbers con procesadores abordo son menos frecuentes y se utilizan en procesos donde se requiere una gran velocidad o una gran potencia de proceso que los ordenadores convencionales actuales aún no son capaces de proporcionar.

Con la llegada del bus PCI y posteriormente PCI Express se consiguió aumentar la velocidad de transferencia y por tanto realizar la visualización de la imagen en tiempo real sin necesidad de hardware gráfico adicional. El bus PCI también permitió por tanto transportar la imagen hasta el procesador en tiempos muy cortos y mediante los modernos procesadores se ha logrado hacer gran parte de los procesos en tiempo real.



Figura 2.22 Frame grabber con bus PCI Express compatible con Camera Link
Fuente: <http://bit.ly/pR1XHb>

Unidad de procesamiento

La unidad de procesamiento es la parte pensante del sistema, se encarga no solo de recoger y mostrar las imágenes capturadas, si no de procesarlas para llevar

a cabo su cometido. Los sistemas de visión artificial basados en la tecnología de los PCs, se benefician de los rápidos avances informáticos y de redes. Las tareas a realizar son:

- ✓ Recibir todas aquellas señales de sincronización, las cuales permitirán que se pueda realizar correctamente la captura de imágenes.
- ✓ Realizar la lectura de las imágenes.
- ✓ Procesar los datos proporcionados por las cámaras para realizar el análisis de imagen.
- ✓ Realizar el interfaz con los usuarios.
- ✓ Comunicar con los sistemas productivos, para detener el proceso en caso de la aparición de algún defecto.
- ✓ Controlar el buen funcionamiento de todos los elementos hardware.

En algunos casos se debe considerar el uso de PCs industriales debido a que las PCs comunes de escritorio no soportan la hostilidad de los ambientes industriales.



Figura 2.23 PC industrial Omron

Fuente: <http://www.optimumalelektrik.com/kategori/102/dyalo-x-panel-ipc.html>

Software

En el pasado más reciente no era posible hacer los procesos en tiempo real debido a que los ordenadores no eran lo suficientemente rápidos para realizar los cálculos con las imágenes. Con la llegada del bus PCI y con la rápida evolución de los procesadores de los PC se ha conseguido visualizar las imágenes en tiempo real y realizar la mayoría de procesos en tiempos suficientemente cortos, logrando resolver aplicaciones de visión en entornos científicos e industriales, con los resultados esperados en su justo tiempo.

Esta evolución del hardware ha comportado el desarrollo de librerías de visión que puedan funcionar en entornos estándar de todo tipo de sistemas operativos como de procesadores.

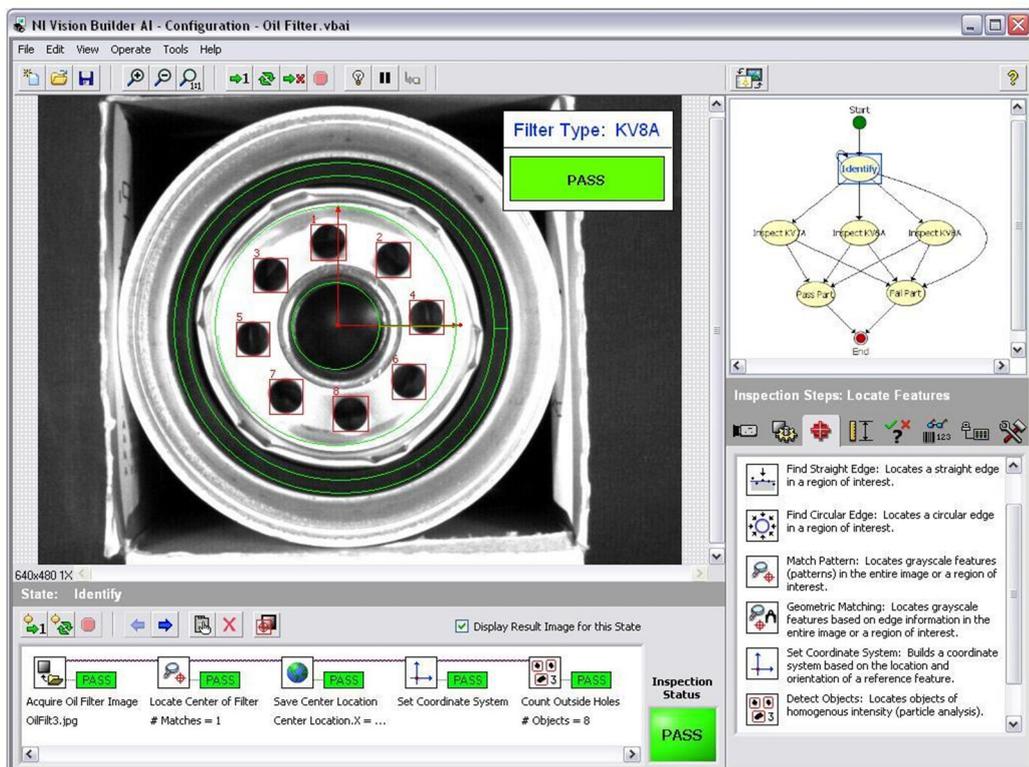


Figura 2.24 Software de visión artificial de National Instruments

Fuente: <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/6738>

La base del software de un sistema de visión es la interpretación y análisis de los píxeles. El resultado final puede ser, desde la medida de una partícula, a la determinación o lectura de una serie de caracteres (OCR), pasando por cualquier otro proceso que podamos imaginar sobre las imágenes.

Etapas de un sistema de visión artificial

La visión artificial posee un conjunto muy grande de métodos, herramientas y técnicas, a partir de las cuales, la ingeniería propone y desarrolla una solución para un problema muy concreto; es decir, no existe una forma específica de resolver un problema con visión artificial.

Aunque cada aplicación de visión artificial tiene sus especificidades, se puede decir que existe un tronco común de etapas entre ellas. No necesariamente debe cubrirse todas en una implementación concreta; hay algunas veces que sólo se tiene un subconjunto de las fases que se van a citar.

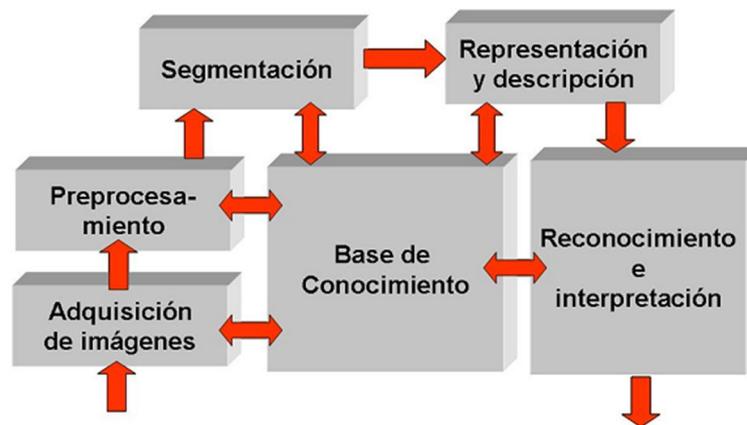


Figura 2.25 Etapas de una aplicación de visión artificial

Fuente: <http://sabia.tic.udc.es/gc/trabajos%202010-11/VisionArtificial/index.html>

Por otro lado, aunque la exposición muestra un encadenamiento temporal de una etapa sobre otra, no es real esta simplificación; se hace para facilitar la comprensión y en la puesta en práctica siempre se encuentra realimentación entre las distintas fases.

Adquisición o captura de la imagen

La primera etapa es la construcción del sistema de formación de las imágenes. Su objetivo es realzar, mediante técnicas fotográficas (iluminación, óptica, cámaras, filtros, pantallas, etc.), las características visuales de los objetos (formas, texturas, colores, sombras, etc.). El éxito de muchas aplicaciones depende de un buen diseño en esta primera etapa.

Pre procesamiento

Este grupo de funciones se especializa en realizar mejoras a la imagen captada, es decir resalta un sin número de características que conllevan a elevar la calidad de la imagen a la hora de ser analizada.

En esta etapa se incluyen operaciones como: mejora de la relación señal-ruido, atenuar las imperfecciones de la adquisición debido a la función de transferencia del sistema de captación de imágenes, regularizar la imagen, mejorar el contraste u optimizar la distribución de la intensidad y realzar algunas características de la imagen, como bordes o áreas.

Segmentación

La clasificación de la escena en sus partes u objetos es a lo que se le llama segmentación de la imagen. Por ejemplo, en una imagen de satélite se determina las zonas de agua, de cultivo, urbanas, carreteras, etc.

Existen varias técnicas: umbralizaciones, discontinuidades, crecimiento de regiones, uso del color o de movimiento, etc. Estas técnicas se basan en encontrar dónde se encuentran grupos de píxeles que conformen un ente a clasificar (objeto), para ello estas técnicas se basan en los principios de discontinuidad y similitud.

Representación y descripción

Estas técnicas se basan en extraer, del ente a estudiar, las características que lo diferencian de los demás. Para realizar esta extracción de características es necesario realizar un estudio del objeto a analizar y extraer con cuidado las características invariantes que posea.

Éstas deben ser, generalmente, independientes a rotaciones, escalamientos corrimientos de dicho objeto. Básicamente son de tipo morfológico, tales como área, perímetro, excentricidad, momentos de inercia, esqueletos, pero también se puede emplear características basadas en la textura o en el color.

Reconocimiento e interpretación

Una vez obtenidas las características que describen el objeto a estudiar, se pasa al reconocimiento del mismo, esto no es más que la clasificación, utilizando cualquier técnica conocida, llámese inteligencia artificial, búsquedas deductivas en base de datos, comparación con patrones etc. Dentro de las técnicas más utilizadas se encuentra la utilización de redes neuronales artificiales, algoritmos genéticos y métodos estadísticos avanzados.

Pasos para diseñar sistemas de visión artificial

Entender claramente qué es y qué no es un defecto en una aplicación, al igual que la integración de una fase de calibración en un sistema de visión artificial son pasos críticos para el éxito del sistema.

National Instruments, en su página web, ofrece una guía de ayuda en la cual se plantean las consideraciones más importantes que se deben tomar en cuenta al momento de diseñar un sistema de visión artificial. (**Fuente:** <http://bit.ly/owqan3>)

Nueve pasos para crear exitosamente un sistema de visión artificial

1. Identificar todos los defectos. Entienda claramente cuál es una parte buena y una mala. Dele prioridad a los defectos que ocurren con más frecuencia para cuantificar cuál es una parte mala.
2. Calcular el Campo de Visión (Field Of View). Seleccione la cámara y el lente que le permita inspeccionar el defecto más pequeño que pueda ocurrir. ¿Puede un inspector humano ver el defecto? Si la respuesta es sí, entonces típicamente una cámara análoga de 8 bits será suficiente. Si la respuesta es no, entonces cámaras digitales serán necesarias. Para aplicaciones donde las partes se mueven, seleccione la cámara apropiada para evitar que la imagen no salga borrosa.
3. Iluminación. Seleccione la técnica de iluminación que le dé el mayor contraste a los defectos o lugares de interés. Experimente con luz direccional, luz al fondo (para crear sombra), anillos de luz o lentes polarizados. ¿Qué técnica de iluminación subraya más los defectos?
4. Calibración. Calibre el sistema de iluminación y la cámara. Cuantifique el estado de la iluminación y la cámara como un sistema antes de empezar la inspección. Determine si la iluminación en el campo de visibilidad es homogénea. Asegúrese de que el fondo de la imagen no cambia con el tiempo. Calcule el valor promedio de píxeles grises y la desviación estándar para la imagen. Garantice que la iluminación, fondo y cámara son consistentes.
5. Compensar y corregir. Si es necesario, corrija la mala iluminación con el software. Acondicione la escena de la imagen lo cual permite que sea más fácil de procesar con el software. Si no se puede crear un consistente sistema de iluminación homogénea, use el software para corregir la mala iluminación.
6. Identificar un elemento siempre presente (fiducial element). Seleccione una característica única que no es un defecto pero siempre va a estar presente en la imagen. Esta característica se usa como punto de referencia. Si esta característica no está presente entonces la parte esta mala.
7. Localizar rasgos. Seleccione una técnica de localización de rasgos dependiendo de las características y requerimientos de velocidad de su aplicación. Si el rasgo es de un tamaño u orientación conocidos, use la técnica

de localización de patrón en la escala de grises (grayscale pattern matching). En general, si el rasgo es de una forma conocida pero el tamaño no conocido, use localización de formas binario (binary shape matching). Si el rasgo es de área y perímetro conocido pero con orientación variante usa análisis de manchas (blob analysis).

8. Probar la inspección. Pruebe la estrategia de inspección con imágenes y defectos ideales. Después pruebe la inspección con imágenes que muestren los defectos típicos.
9. Automatizar. Incluya la calibración de iluminación y cámara en el sistema de inspección automatizado.

INDUSTRIA ALIMENTICIA

La industria alimenticia es la parte de la industria encargada de la elaboración, transformación, preparación, conservación y envasado de los alimentos de consumo humano y animal. Las materias primas de esta industria consisten principalmente de productos de origen vegetal (agricultura), animal (ganadería) y fúngico.

El progreso de esta industria nos ha afectado actualmente en la alimentación cotidiana, aumentando el número de posibles alimentos disponibles en la dieta. El aumento de producción ha ido unido con un esfuerzo progresivo en la vigilancia de la higiene y de las leyes alimentarias de los países intentando regular y unificar los procesos y los productos.

Aunque exista una gran diversidad de industrias alimentarias los procesos de fabricación pueden clasificarse en seis diferentes: manipulación de los alimentos, almacenamiento de los mismos y de las materias primas, la extracción de sus propiedades, la elaboración hasta un producto final, el envasado y la conservación de los alimentos.

INDUSTRIA DE LAS BEBIDAS

La industria de las bebidas tiene como objeto la elaboración y envasado de las bebidas en general. Está muy diversificada esta industria debido a la gran variedad de bebidas que aborda, no obstante los procesos son generalmente los mismos: una primera fase de recolección de granos (cebada, cacao, té, etc.) que emplea una mano de obra poco especializada, y luego una serie de procesos automáticos que requiere mano de obra semiespecializada.

Las características de las bebidas hacen que se componga de dos categorías principales:

a) Bebidas alcohólicas.

- ✓ La industria los licores destilados.
- ✓ La industria vitivinícola.
- ✓ La fabricación de la cerveza.

b) Bebidas no alcohólicas.

- ✓ Embotellado y envasado de agua y bebidas refrescantes.
- ✓ La fabricación de jarabes de bebidas refrescantes.
- ✓ Embotellado, enlatado y envasado en cajas de zumos de frutas.
- ✓ Industria del café.
- ✓ La industria del té.

EMBOTELLADO Y ENVASADO DE BEBIDAS SUAVES

Una bebida suave está definida como una bebida no alcohólica para consumo humano. Sin embargo, este término puede ser aplicado a una amplia variedad de bebidas, aunque las más consumidas son las bebidas gaseosas. Ingredientes naturales o artificiales son usados para darle un sabor particular a cada bebida.

El proceso de embotellamiento no es complicado. Los ingredientes y métodos usados para producir un producto sabroso e higiénico han sido bien establecidos. Sin embargo, las técnicas y métodos usados en este mercado pueden variar considerablemente.

En la Figura 2.26 se puede observar el flujograma de un proceso típico de embotellado de una planta procesadora de bebidas carbonatadas. Esta planta incluye equipos de procesamiento para embotellar y enlatar bebidas.

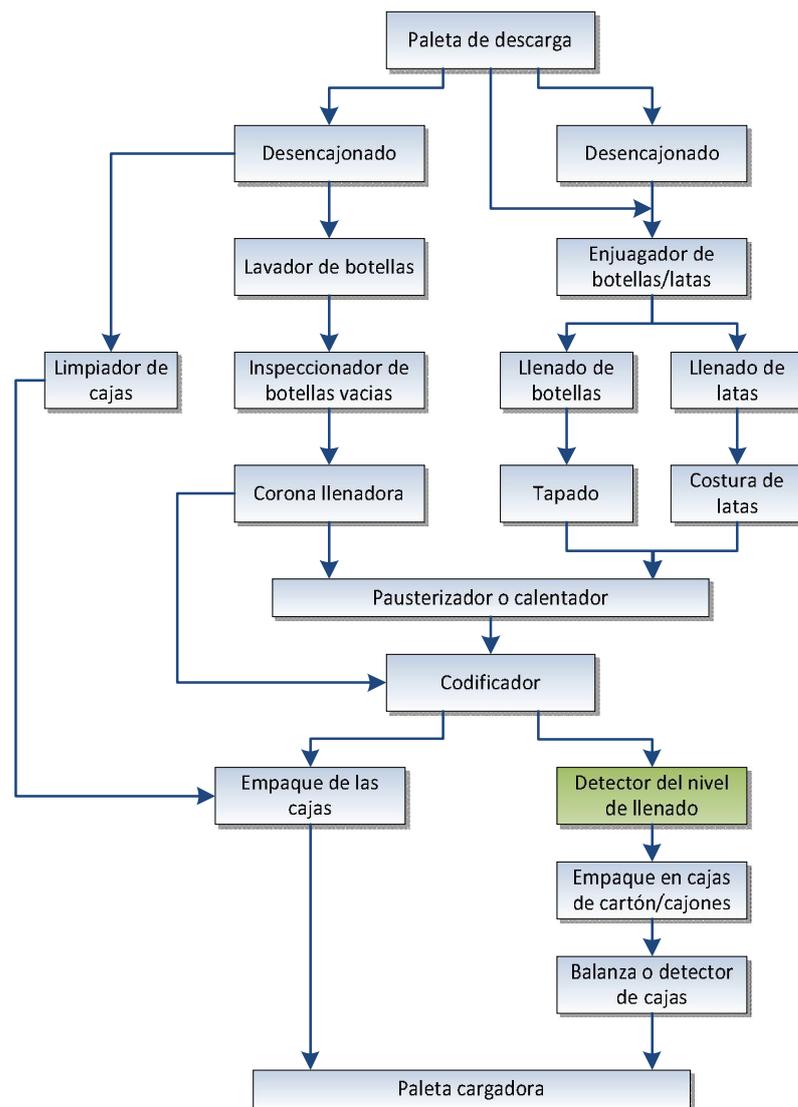


Figura 2.26 Flujograma del proceso de embotellado de bebidas carbonatadas

Fuente: <http://bit.ly/qt8qv4>

Descripción del proceso de embotellado y empaquetado

Según el flujograma de la Figura 2.26 el proceso de embotellado de bebidas carbonatadas se desarrolla de formas distintas dependiendo del envase.

Botellas retornables

1. Las botellas vacías son recicladas en cajas y colocadas en paletas. Carretillas elevadoras transportan las paletas al despaletador donde se descargan las cajas. Luego, las cajas son enviadas al descajonador el cual obtiene las botellas desde las cajas.
2. Una vez que las botellas entran a la máquina lavadora, las cajas son transportadas al almacén de cajas.
3. Después de lavadas, las botellas limpias pasan a través de un registrador y luego son llenadas, tapadas y codificadas.
4. El producto final codificado es transportado y enviado para su encajonamiento, completando el proceso de empaque.

Botellas y latas no retornables.

1. Las botellas o latas no retornables son transportadas por una espátula desde la manufacturera.
2. Después de ser descargadas, son enjuagadas con agua purificada.
3. Las botellas o latas limpias son transportadas para su proceso de llenado. Después de ser llenadas las botellas son tapadas, o en el caso de las latas, doblemente cocidas. Antes de ser empaquetadas en cajas de cartón, las latas o botellas son calentadas a punto de rocío para mantener la superficie seca.
4. Algunas bebidas, tal como los jugos son pasteurizadas. En este caso, el proceso de calentamiento será omitido.
5. Los productos calentados o pasteurizados son codificados y pasados a través de un detector del nivel de llenado el cual rechazará cualquier producto no llenado a los niveles adecuados.
6. Finalmente, las cajas de cartón son cargadas en cucharas o paletas. Entre el proceso de empaquetado y cargado, balanzas o detectores de cajas llenas son

usados para controlar empaques inadecuados. Después de ser cargados, los productos quedan listos para su comercialización.

INSPECCIÓN DEL NIVEL DE LLENADO DE BEBIDAS EMBOTELLADAS

Como en todo proceso industrial, un control a lazo cerrado nos brinda la información necesaria para garantizar el correcto funcionamiento del sistema. En el caso del proceso de llenado de bebidas embotelladas, una adecuada retroalimentación por medio de una inspección notifica si el proceso se está ejecutando de acuerdo a los parámetros de control de calidad establecidos. Esta información también es útil para ajustar el sistema de llenado de manera oportuna.

Tecnologías de llenado

El llenado de una botella consiste en la transferencia del líquido desde el tanque que lo contiene hacia la misma. Lo que distingue una tecnología de otra es el modo en que se determina el volumen exacto de producto a transvasar.

Existen diversos sistemas y diversas tecnologías, que podrían clasificarse en 3 grandes categorías.

a) Llenadoras a nivel

Tradicionales y de aplicación común, en este tipo de Llenadoras, el nivel queda determinado por la longitud de la cánula que se introduce en la botella durante la fase de llenado. Modificar el nivel en la botella implica, en general, cambiar la cánula.

b) Llenadoras volumétricas

En este tipo de Llenadoras se mide el volumen del producto que entra en la botella mediante un medidor de caudal (sensor magnético o de caudal másico) instalado en cada boca de llenado. Se conocen como “Llenadoras electrónicas”.

c) Llenadoras ponderales

En este tipo de Llenadoras se pesa el producto que entra en la botella tras haber calibrado el sensor con la tara correspondiente. Una celda de carga por cada válvula de llenado cumple la función programada. Son las Llenadoras electrónicas por excelencia.

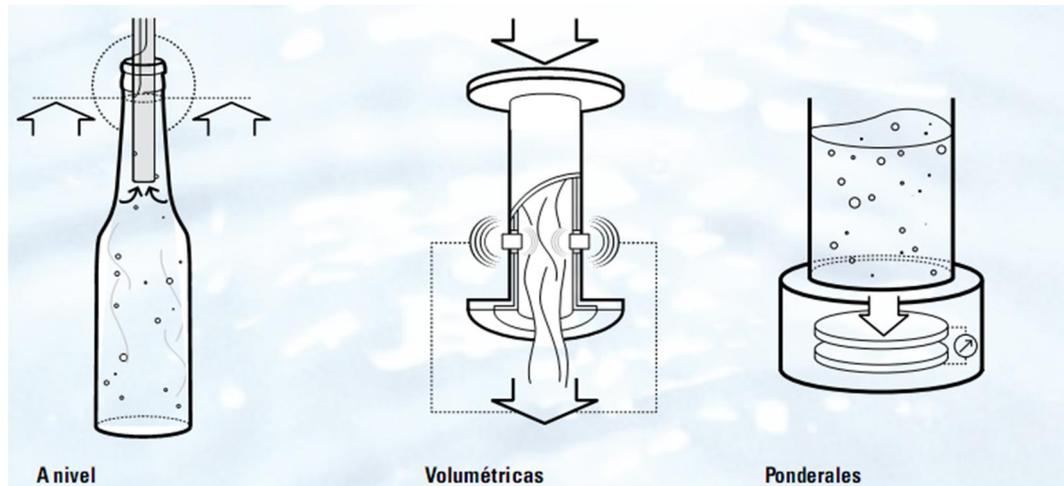


Figura 2.27 Tecnologías de llenado

Fuente: http://www.ocme.it/adm/Media/gallery/Llenadora_es.pdf

Sistemas de inspección de llenado

La inspección fiable y precisa de los niveles en recipientes llenos y cerrados es una de las tareas más importantes de un sistema de gestión de la calidad en la industria del embotellado. Este requisito es apoyado no sólo por las normas legales, sino también por la seguridad, calidad y eficiencia del proceso de embotellado.

La medición del sobrellenado y del llenado insuficiente tiene un efecto directo en el coste de fabricación, así como en la satisfacción del cliente. Un sistema de inspección puede estar provisto de retroalimentación opcional a la máquina de llenado, lo que permite ajustar automáticamente el nivel de llenado y reducir así el desperdicio, con el consiguiente ahorro de costes.

Dependiendo del envase y su contenido, se selecciona el método de inspección, ya sea con cámara, alta frecuencia o rayos X para obtener el mejor resultado.

Inspección con cámara

Los envases transparentes se pueden verificar por medios ópticos mediante luz estroboscópica que ilumina el envase lateralmente. El flash de luz se conduce a través de unos espejos a una cámara CCD que toma una imagen del nivel de llenado.

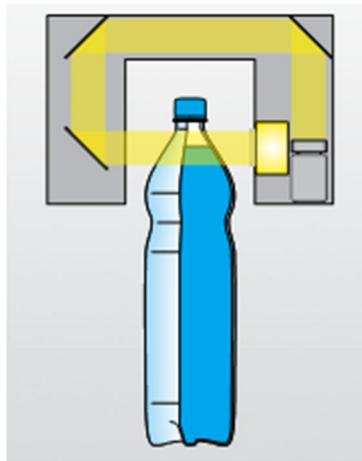


Figura 2.28 Sistema de inspección con cámara

Fuente: http://www.ocme.it/adm/Media/gallery/Llenadora_es.pdf

Inspección con alta frecuencia

En el caso de la tecnología de alta frecuencia, los envases pasan por un campo eléctrico. La cantidad de producto en el envase influye sobre este campo y lo modifica. Esta modificación se mide y permite conclusiones exactas acerca del nivel de llenado.

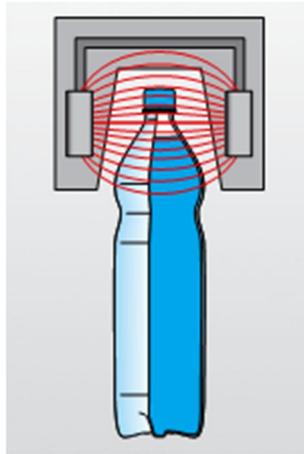


Figura 2.29 Sistema de inspección con alta frecuencia
Fuente: http://www.ocme.it/adm/Media/gallery/Llenadora_es.pdf

Inspección con rayos X

En la inspección del nivel de llenado mediante rayos X, el producto atenúa el rayo. Un receptor registra esta atenuación y la evaluación del resultado da el nivel de llenado del envase.

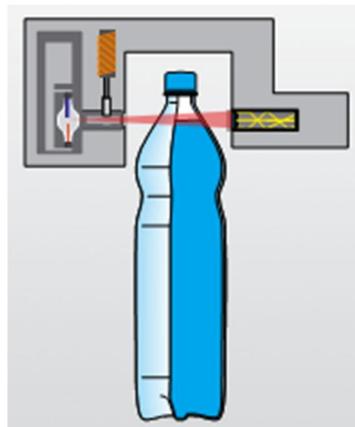


Figura 2.30 Sistema de inspección con rayos X
Fuente: http://www.ocme.it/adm/Media/gallery/Llenadora_es.pdf

Hipótesis

El diseño de un sistema de visión artificial optimizará la tarea de inspección del nivel de llenado de bebidas embotelladas.

Señalamiento de variables de la Hipótesis

Variable independiente

Sistema de visión artificial.

Variable dependiente

Inspección del nivel de llenado de bebidas embotelladas.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

Enfoque

El presente proyecto de investigación está dentro de un marco cuantitativo; el estudio del proyecto brinda la oportunidad de conocer la realidad del problema, las pruebas realizadas permiten examinar el comportamiento de las variables, la aplicación de técnicas de análisis de resultados hacen posible observar la relación que existe entre los elementos del problema.

Mediante la observación es posible identificar las variables que afectan el problema; gracias al análisis estadístico se puede priorizar, determinar las alternativas más idóneas, pero sobre todo, evaluar las mejores opciones para solucionar el problema con métodos precisos y confiables.

Modalidad básica de la investigación

Investigación documental bibliográfica

Para la elaboración del proyecto es necesaria la investigación documental bibliográfica, esto permite realizar un análisis profundo; con ayuda de esta información se puede conocer, comparar, ampliar, deducir diferentes enfoques, teorías, conceptualizaciones y criterios de diversos autores sobre los “sistemas de visión artificial”, recurriendo a distintas fuentes de información como libros, documentos e internet.

Investigación experimental

El desarrollo de este proyecto está orientado hacia la investigación experimental debido a que se necesita realizar varias pruebas; se requiere manipular las variables y observar su comportamiento, esto permitirá perfeccionar el sistema de visión artificial que se pretende diseñar.

Nivel o tipo de investigación

Por el tipo de investigación, el presente estudio reúne las condiciones metodológicas de una investigación aplicada, en razón de que se utilizaron conocimientos sobre las técnicas de visión artificial a fin de aplicarlos al control de calidad de bebidas embotelladas. De acuerdo a la naturaleza del estudio de la investigación, reúne por su nivel las características de un nivel exploratorio, descriptivo y correlacionado.

Mediante la exploración, es posible percibir el problema en un contexto especial, analizarlo y conocer sus principales características. La descripción permite determinar las variables de estudio; profundizar en el conocimiento sobre las causas que provocan el fenómeno, a quienes afecta y cómo. La correlación de variables, mediante la aplicación de técnicas estadísticas, permite establecer comparaciones y prevenciones para profundizar la investigación.

Población y muestra

Población

La población está conformada por los estudiantes de octavo y noveno semestre de la carrera de Ingeniería Industrial en Procesos de Automatización de la FISEI, de la Universidad Técnica de Ambato.

Muestra

Para conseguir un resultado eficiente se ha seleccionado un grupo de diez personas que pasan a constituir la muestra de estudio.

Operacionalización de variables

Variable independiente: Sistema de visión artificial

Tabla 3.1 Variable dependiente

<i>Conceptualización</i>	<i>Dimensiones</i>	<i>Indicadores</i>	<i>Ítems</i>	<i>Tec. / Instr.</i>
Técnica que combina componentes electrónicos para adquirir imágenes y lograr medir ciertas características físicas de los objetos presentes en la escena, mediante la utilización de herramientas y algoritmos matemáticos	Componentes	Cámara	Resolución Interfaz	Encuesta; guía de encuesta
		Iluminación	Fuente Técnicas de iluminación Intensidad luminosa	
	Características físicas	Región de interés	Orientación	
			Perímetro Longitud	
Herramientas y algoritmos	Mejoramiento Segmentación	Contraste Detección de bordes		

Fuente: Investigador

Variable dependiente: Inspección del nivel de llenado de bebidas embotelladas

Tabla 3.2 Variable independiente

<i>Conceptualización</i>	<i>Dimensiones</i>	<i>Indicadores</i>	<i>Ítems</i>	<i>Tec. / Instr.</i>
Mecanismo de control de calidad mediante el cual se determina si el volumen del líquido embotellado está dentro de las especificaciones de la ingeniería del producto	Control de calidad	Indicadores de calidad	Nivel de llenado	Encuesta; guía de encuesta
	Parámetros de control	Especificaciones	Nivel mínimo Nivel máximo	

Fuente: Investigador

Plan de recolección de la información

Con el propósito de recolectar la información necesaria para el desarrollo del proyecto, se realizarán visitas de campo en la cual se mantendrá un diálogo con los sujetos involucrados; se solicitará información relacionada con la descripción de los factores que inciden en el problema y así analizar la factibilidad de crear el sistema.

Tabla 3.3 Plan de recolección de la información

<i>Preguntas básicas</i>	<i>Explicación</i>
¿Por qué investigar?	Para alcanzar los objetivos del proyecto
¿De quienes se va a obtener la información?	Estudiantes de octavo y noveno semestre de la carrera de Ingeniería Industrial
¿Cuándo se va a investigar?	Abril de 2011
¿Dónde se va a investigar?	UTA, Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial
¿Cuántas veces?	2
¿Qué técnicas se van a emplear?	Encuesta, entrevista
¿Qué instrumentos se van a utilizar?	Cuestionario, guía de entrevista
¿En qué situaciones?	Horarios de descanso, citas previas

Fuente: Investigador

Plan de procesamiento de la información

Los datos recogidos se transformarán de acuerdo a los siguientes procedimientos:

- ✓ Revisión crítica de la información recogida; es decir, limpieza de la información defectuosa: contradictoria, incompleta, no pertinente, etc.
- ✓ Tabulación o cuadros según variables de cada hipótesis: cuadros de una sola variable, cuadro con cruce de variables, etc.
- ✓ Manejo de información (reajuste de cuadros con casillas vacías o con datos tan reducidos cuantitativamente, que no influyen significativamente en los análisis).
- ✓ Estudio estadístico de datos para presentación de resultados.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

1. ¿Conoce las técnicas de visión artificial?

Tabla 4.1 Tabulación de resultados pregunta uno

<i>Respuesta</i>	<i>Población</i>	<i>% Población</i>
Si	6	60,00
No	4	40,00
Total	10	100

Fuente: Investigador

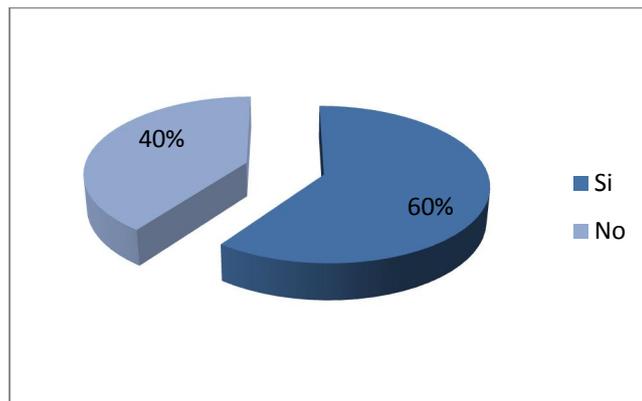


Figura 4.1 Gráfico de resultados pregunta uno

Fuente: Investigador

Los resultados demuestran que no todos los estudiantes encuestados tienen conocimientos sobre las técnicas de visión artificial. A pesar de que esta tecnología ya lleva varios años en la industria, aún no se ha ampliado como tema de estudio en la carrera.

2. ¿Conoce los beneficios de los sistemas de visión artificial?

Tabla 4.2 Tabulación de resultados pregunta dos

<i>Respuesta</i>	<i>Población</i>	<i>% Población</i>
Si	6	60,00
No	4	40,00
Total	10	100

Fuente: Investigador

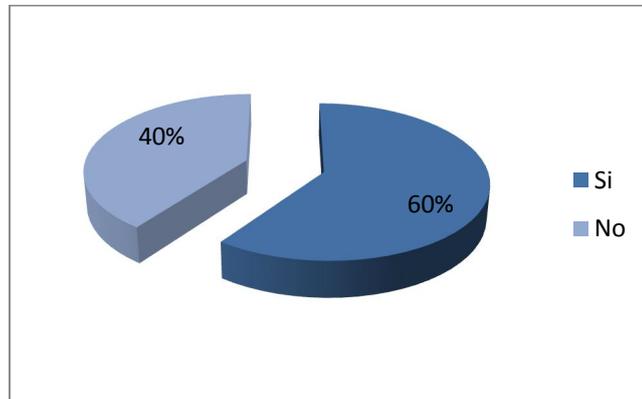


Figura 4.2 Gráfico de resultados pregunta dos

Fuente: Investigador

Los resultados coinciden con los de la respuesta anterior; se está ratificando que los sistemas de visión artificial y sus beneficios son un tópico aún desconocido para algunos estudiantes de la carrera.

3. ¿Qué tan eficiente considera el método de control de calidad mediante inspección visual humana?

Tabla 4.3 Tabulación de resultados pregunta tres

<i>Respuesta</i>	<i>Población</i>	<i>% Población</i>
Excelente	2	20,00
Bueno	4	40,00
Regular	4	40,00
Total	10	100

Fuente: Investigador

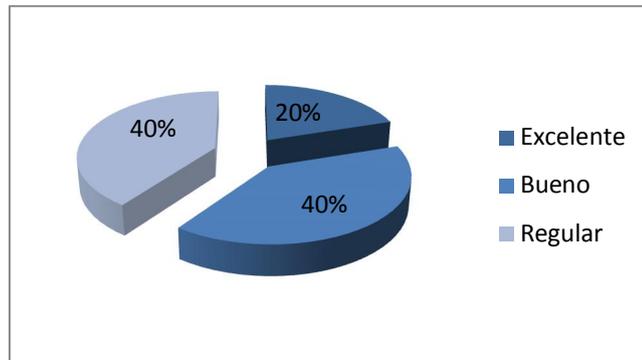


Figura 4.3 Gráfico de resultados pregunta tres

Fuente: Investigador

En general, se puede apreciar que la mayoría de los encuestados consideran a este método no tan eficiente; posiblemente están conscientes de que existen mejores alternativas. Por otro lado, dos personas opinan que este método de inspección es excelente y es muy probable que no conozcan otras alternativas.

4. ¿Conoce alguno de los siguientes métodos de inspección?

Tabla 4.4 Tabulación de resultados pregunta cuatro

<i>Respuesta</i>	<i>Población</i>	<i>% Población</i>
Inspección con cámara	6	40,00
Inspección con alta frecuencia	5	33,33
Inspección con rayos X	4	26,67
Total	15	100

Fuente: Investigador

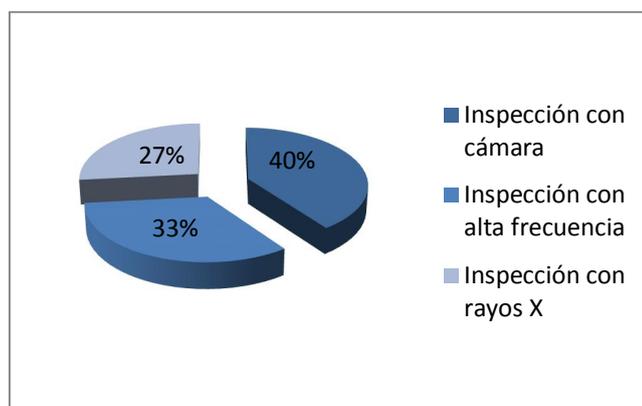


Figura 4.4 Gráfico de resultados pregunta cuatro

Fuente: Investigador

Los resultados demuestran que los estudiantes tienen conocimientos de los tres métodos de inspección citados. Sin embargo, lo ideal sería que todos los estudiantes conozcan todas estas tecnologías y tengan más herramientas para poder utilizarlas en beneficio de la industria.

5. ¿Le gustaría que en la carrera exista mayor difusión sobre las técnicas de visión artificial?

Tabla 4.5 Tabulación de resultados pregunta cinco

<i>Respuesta</i>	<i>Población</i>	<i>% Población</i>
Si	10	60,00
No	0	0,00
Total	10	100

Fuente: Investigador

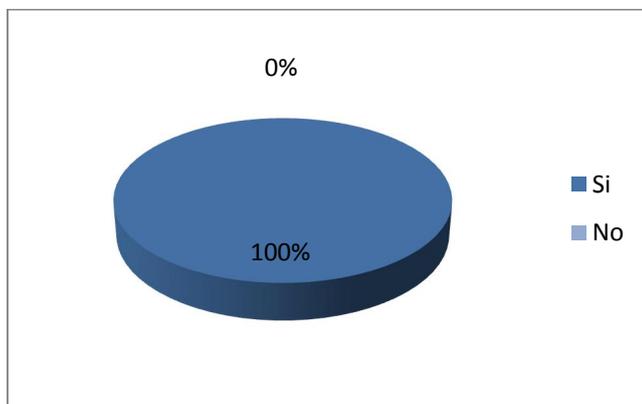


Figura 4.5 Gráfico de resultados pregunta cinco

Fuente: Investigador

Todos los estudiantes están de acuerdo en que debería existir mayor difusión acerca de las técnicas de visión artificial. Actualmente, en la carrera no existe un estudio profundo de esta tecnología.

6. ¿Le interesaría observar el funcionamiento de un sistema de control de calidad que utiliza técnicas de visión artificial?

Tabla 4.6 Tabulación de resultados pregunta seis

<i>Respuesta</i>	<i>Población</i>	<i>% Población</i>
Si	10	100,00
No	0	0,00
Total	10	100

Fuente: Investigador

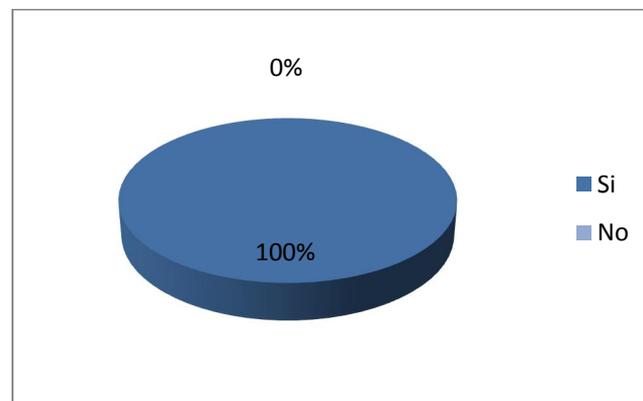


Figura 4.6 Gráfico de resultados pregunta seis

Fuente: Investigador

Se puede apreciar claramente el gran interés que existe por parte de los encuestados en aprender más acerca de esta nueva tecnología. A pesar que hay estudiantes que si conocen las características de esta tecnología, es muy probable que jamás hayan observado el funcionamiento de un sistema de visión artificial.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- ✓ Los estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial en procesos de Automatización han demostrado gran interés por conocer más acerca de las técnicas de visión artificial, debido a que este tema ha tenido muy poca difusión en la carrera.
- ✓ Es necesaria la implementación de un modelo experimental de un sistema de visión artificial para que exista una mayor difusión sobre este tema y los estudiantes puedan ampliar sus conocimientos.

Recomendaciones

- ✓ Se sugiere realizar un análisis para seleccionar los componentes más adecuados del sistema de visión artificial que se va a implementar.
- ✓ Se sugiere investigar cuál es el software más apropiado para desarrollar la aplicación.
- ✓ Se recomienda crear una guía de instalación para que cualquier persona interesada pueda implementar el sistema de visión artificial propuesto.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

Datos informativos

- ✓ **Tema:** Sistema de visión artificial para inspección del nivel de llenado de bebidas embotelladas
- ✓ **Estudiante:** Juan Pablo Cáceres Cárdenas
- ✓ **Tutor:** Ing. Luis Pomaquero
- ✓ **Decano FISEI:** Ing. Oswaldo Paredes

Antecedentes de la propuesta

Los sistemas de inspección basados en visión artificial tienen lugar en una cronología; en la cual, se involucran elementos de múltiples disciplinas como la automatización, visión artificial e informática.

La historia de la automatización industrial está caracterizada por períodos de constantes innovaciones tecnológicas, Esto se debe a que las técnicas de automatización están muy ligadas a los sucesos económicos mundiales.

En la década del 60, se comienza en el MIT el estudio de la visión artificial, lo cual implica no solo captar imágenes a través de una cámara, sino también la comprensión, de lo que estas imágenes representan.

Se ha demostrado que en escenas repetitivas y monótonas, las operaciones de inspección por parte de operarios humanos son fatigosas y molestas. Por otro lado, en un mundo de mercados abiertos, el control de calidad, a veces, resulta

decisivo para mostrarse competitivo. Por estos motivos, desde hace más de dos décadas hay una multitud de trabajos encargados de reemplazar la inspección visual humana mediante sistemas de inspección visual automatizados.

Justificación

Hoy en día, la industria de las bebidas se posiciona como una de las más competitivas del mercado; al existir varias alternativas, los fabricantes buscan mecanismos para mejorar la calidad de sus productos y atraer a nuevos consumidores. Esto se logra principalmente efectuando tareas de inspección tales como el control de calidad intermedio y final del producto.

Las inspecciones realizadas por los seres humanos, a menudo suelen ser inevitablemente subjetivas y no pueden cumplir con los requisitos de la industria moderna respecto a la velocidad de producción, calidad de producto y costes de fabricación.

Para poder satisfacer todas estas necesidades, indudablemente se debe recurrir a la automatización de los procesos productivos. Particularmente, en la producción de bebidas embotelladas, existen varias tecnologías muy distintas entre sí que se pueden aplicar en el control de calidad final del producto, siendo la visión artificial una de las alternativas con más aceptación en la industria debido a sus múltiples beneficios.

Teniendo como propósito brindar un punto de vista más amplio y difundir las grandes ventajas que los sistemas de visión artificial pueden brindar a la industria, se ha desarrollado un prototipo para inspeccionar el nivel de llenado en botellas de Cola-Cola de 250ml.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema de visión artificial para inspeccionar el nivel de llenado de bebidas embotelladas.

Objetivos Específicos

- ✓ Analizar las imágenes mediante una cámara USB y transferirlas al computador.
- ✓ Implementar funciones de procesamiento digital de imágenes para detectar el nivel de llenado.
- ✓ Diseñar un procedimiento de clasificación.
- ✓ Crear una interfaz sencilla para el usuario.

Análisis de factibilidad

La industria nacional de bebidas es una de las más importantes de los últimos años; el continuo lanzamiento de nuevos productos, conforman un perfil de mercado dinámico y de gran potencialidad.

El desarrollo del proyecto se lo hará contemplando las necesidades reales de la industria de bebidas. Con criterio orientado hacia la optimización de recursos y mediante la utilización de técnicas de ingeniería, se determinarán los parámetros de control de calidad más adecuados para favorecer la productividad.

El desarrollo de este proyecto pretende demostrar una alternativa tecnológica que puede ser utilizada para mejorar los procesos de control de calidad en la industria; mediante la implementación de un modelo experimental se desea difundir las ventajas de esta nueva tecnología.

Utilizando métodos técnicos apropiados y pocos recursos, se realizará una investigación científica que aportará al desarrollo de la industria.

Fundamentación

Imagen digital

Una imagen digital, como la de la Figura 6.1, está definida como una distribución espacial discreta de energía lumínica en una escena formada por $n*m$ píxeles y está representada matemáticamente por la función:

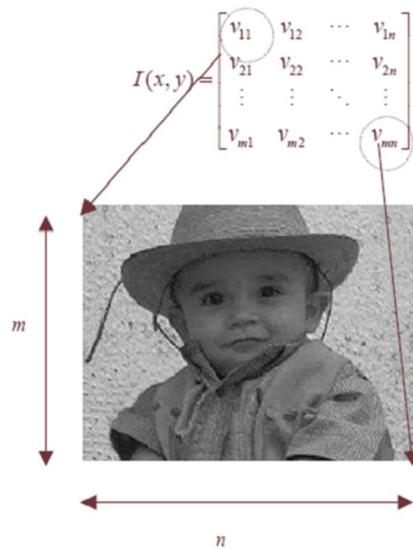


Figura 6.1 Imagen digital

Fuente: MINCHALA, Ismael A. *Procesamiento Digital de Imágenes*. Pág. 50

Una imagen multiespectral f es una función vectorial con componentes (f_1, f_2, \dots, f_n) donde cada uno representa la intensidad de la imagen a diferentes longitudes de onda.

En la Figura 6.2 se muestra una imagen multiespectral formada por los planos rojo verde y azul, cuya representación matemática está dada por la expresión:

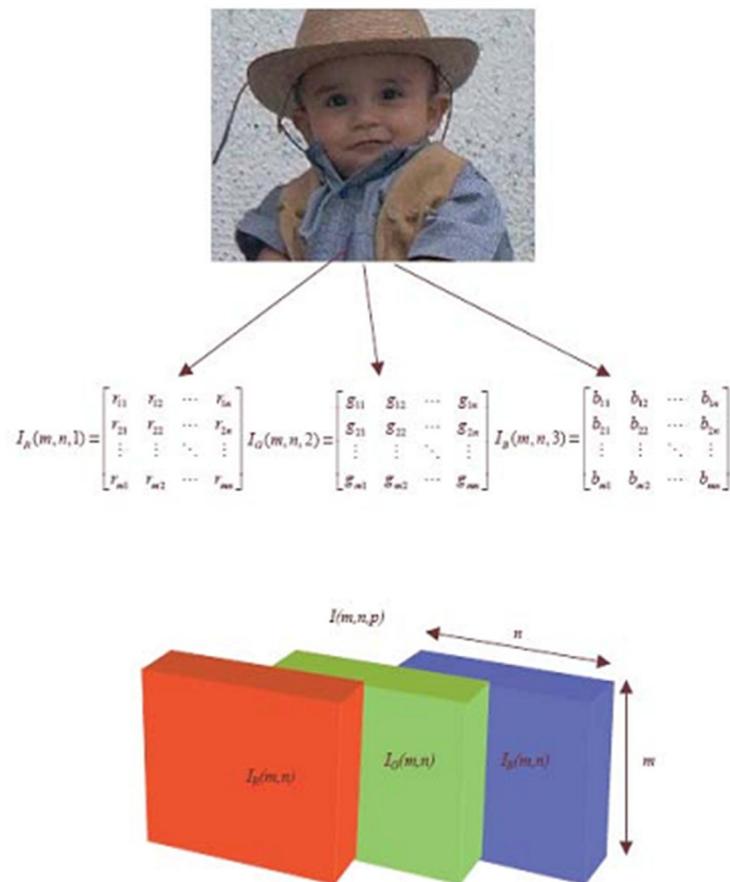


Figura 6.2 Imagen digital multispectral

Fuente: MINCHALA, Ismael A. *Procesamiento Digital de Imágenes*. Pág. 50

Filtrado espacial

El filtrado espacial es la operación que se aplica a una imagen para resaltar o atenuar detalles espaciales con el fin de mejorar la interpretación visual o facilitar un procesamiento posterior, y constituye una de las técnicas comprendidas dentro del realce de imágenes.

Ejemplos comunes incluyen aplicar filtros para mejorar los detalles de bordes en imágenes, o para reducir o eliminar patrones de ruido. El 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 niveles de gris originales de tal forma que se parezcan o diferencien más de los correspondientes a los píxeles cercanos.

Frecuencia espacial

La frecuencia espacial define la magnitud de cambios en el nivel de gris por unidad de distancia en una determinada zona de la imagen. Las áreas de la imagen con pequeños cambios o con transiciones graduales en los valores de los datos se denominan áreas de bajas frecuencias. Las áreas de grandes cambios o rápidas transiciones se conocen como áreas de altas frecuencias (por ejemplo, los bordes). Así, los filtros espaciales se pueden dividir en tres categorías:

Filtros pasa bajos: enfatizan las bajas frecuencias, suavizando las imágenes y atenuando ruidos. Se trata de asemejar el nivel de gris de cada píxel al nivel de gris de los píxeles vecinos, reduciendo la variabilidad espacial de la imagen. Ello produce un borronado de los bordes, perdiéndose en nitidez visual de la imagen, pero ganando en homogeneidad.

Filtros pasa altos: enfatizan las altas frecuencias, para mejorar o afilar las características lineales como los límites en general. Realizan por tanto el efecto contrario a los filtros pasa bajos, eliminando las bajas frecuencias.

Filtro detectores de bordes: realizan otro tipo de operaciones con los píxeles, pero siempre con el resultado de enfatizar los bordes que rodean a un objeto en una imagen, para hacerlo más fácil de analizar. Estos filtros típicamente crean una imagen con fondo gris y líneas blancas y negras rodeando los bordes de los objetos y características de la imagen.

Convolución espacial

El filtrado espacial se realiza trasladando una matriz rectangular de dos dimensiones (también llamada ventana, kernel, máscara o núcleo) que contiene "pesos" 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.

Cuando un nuevo valor es así calculado, se desplaza la ventana sobre el siguiente píxel, realizando la misma operación. Este proceso de evaluar la

vecindad ponderada del píxel se denomina "convolución bidimensional", y a la matriz de filtro se le conoce como "kernel de convolución".

En general, la convolución de una imagen f de $M*N$ con una máscara h de $m*n$ está dada por la siguiente expresión:

$$g(x, y) = \sum_{i=-a}^a \sum_{j=-b}^b f(x+i, y+j) \cdot h(i, j)$$

En donde,

$$a = \frac{m-1}{2}, b = \frac{n-1}{2}$$

Por ejemplo, considerando la máscara de convolución h y una imagen genérica representada por f . Dado que $m=3$ y $n=3$, a y b son iguales a 1. Teniendo en cuenta todo lo anterior, la respuesta a la máscara de convolución dada, o sea, $g(x,y)$, está dada por la expresión anterior. Luego, evaluando la respuesta para un punto cualquiera, por ejemplo, (5,4), obtenemos lo siguiente:

$$h = \begin{bmatrix} -1,1 & -1,0 & -1,1 \\ 0,-1 & 0,0 & 0,1 \\ 1,-1 & 1,0 & 1,1 \end{bmatrix}$$

$$g(5,4) = \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 f(5+i, 4+j) \cdot h(i, j)$$

$$\begin{aligned} g(5,4) = & f(4,3) \cdot h(-1,1) + f(4,4) \cdot h(-1,0) + f(4,5) \cdot h(-1,-1) + f(5,3) \cdot h(0,-1) \\ & + f(5,4) \cdot h(0,0) + f(5,5) \cdot h(0,1) + f(6,3) \cdot h(1,-1) \\ & + f(6,4) \cdot h(1,0) + f(6,5) \cdot h(1,1) \end{aligned}$$

Filtros pasa bajos

El resultado de aplicar un filtro pasa bajos a una imagen es simplemente el promediado de los píxeles contenidos en el vecindario (o entorno) de la máscara utilizada.

Si bien anteriormente se dieron los usos de los filtros pasa bajos, generalmente se los utiliza para atenuar los detalles irrelevantes en una imagen. Otra de las utilidades del filtro pasa bajos, aparte de la más obvia que es la atenuación del ruido, es el suavizado de los falsos contornos producidos por una cuantización con un número insuficiente de niveles de gris.

El procedimiento básico del filtro pasa bajos es reemplazar el valor de cada píxel en una imagen por el promedio de los niveles de gris del vecindario definido por la máscara.

La Figura 6.3 muestra dos máscaras (o núcleos) de 3*3. Usando la primera se obtiene el promediado estándar de los píxeles abarcados por aquella. Se debe notar que, en lugar de ser 1/9, los coeficientes de la máscara son todos 1's. Esto se hace así debido a que es más eficiente computacionalmente tener todos los coeficientes con el valor 1. Luego, la imagen completa se divide por 9 (o sea, por la suma de todos los coeficientes).

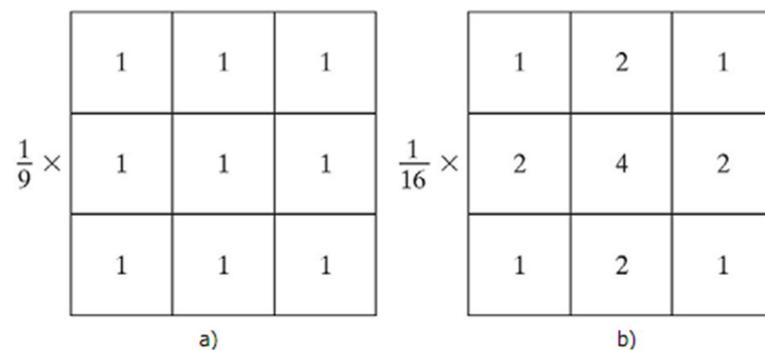


Figura 6.3 Dos máscaras de 3*3 para realizar un filtrado pasa bajos

Fuente: <http://bit.ly/otkvHw>

La segunda máscara produce un promedio ponderado. Como se puede ver, los píxeles son multiplicados por diferentes coeficientes, dándoles así más importancia (peso) a algunos píxeles que a otros. En el caso particular de la máscara de la Figura 6.3, el píxel del centro se multiplica por el valor más alto, mientras que los demás píxeles son pesados teniendo en cuenta la inversa de su distancia al centro.

La razón de darle más importancia al píxel central y menos importancia a los píxeles más alejados al centro, radica en la necesidad de reducir el borronado durante el proceso de suavizado. Como se hacía en el caso anterior, primero se multiplican los píxeles por los coeficientes de la máscara, que son números enteros potencias de 2 (mayor eficiencia, rapidez), y luego se divide por la suma de todos los coeficientes de la máscara, o sea, 16.

En la Figura 6.4 pueden verse los efectos del filtro espacial pasa bajos, o suavizado. Teniendo en cuenta la imagen original (a), desde (b) a (f) son el resultado de filtrar la imagen original utilizando núcleos cuadrados de $n=3, 5, 9, 15$ y 35 , respectivamente.

Para la máscara de $3*3$, notamos un leve borronado general de la imagen, pero los detalles que tienen aproximadamente el mismo tamaño que el núcleo han sido afectados considerablemente. Para $n=9$, se ve un borronado mucho mayor, y también que el 20% del círculo negro casi se confunde con el fondo, ilustrando así el efecto de mezclado que el borronado produce sobre aquellos objetos cuyos niveles de gris son parecidos a los de sus vecinos.

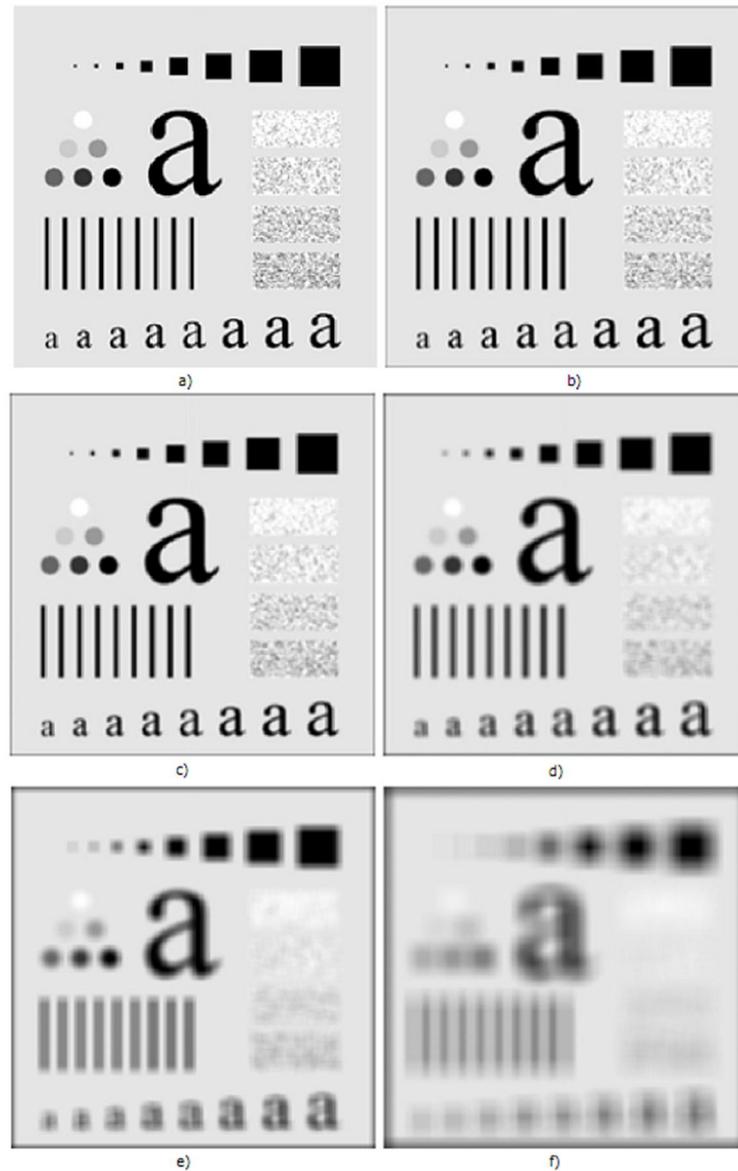


Figura 6.4 Resultados de suavizado
Fuente: <http://bit.ly/otkvHw>

Otro efecto que se puede notar es la reducción del ruido en los rectángulos. Para $n=15$ y 35 , se puede ver que el borronado es excesivo. Este tipo de borronado se utiliza para eliminar los objetos pequeños en una imagen.

Como ya se ha mencionado, una aplicación importante de este tipo de filtrado es el borronado de una imagen con el fin de obtener una presentación burda de los objetos de interés, de manera que la intensidad de los objetos

pequeños se confunda con la del fondo y los objetos grandes sean fáciles de detectar.

Por último, se presenta la implementación general para filtrar una imagen de $M*N$ con una máscara de promedio ponderado de $m*n$ (m y n impares):

$$g(x, y) = \frac{\sum_{i=-a}^a \sum_{j=-b}^b f(x+i, y+j) \cdot h(i, j)}{\sum_{i=-a}^a \sum_{j=-b}^b h(i, j)}$$

Donde el denominador es simplemente la suma de los coeficientes de la máscara y, por lo tanto, una constante que sólo debe calcularse una vez.

Modelo operativo

Para establecer un orden en las actividades y obtener mayor fluidez en el proceso de implementación del prototipo, se diseñó un procedimiento donde se contemplan cuatro etapas fundamentales de desarrollo que se llevarán a cabo en forma secuencial. La Figura 6.5 muestra el diagrama general del proceso de implementación.

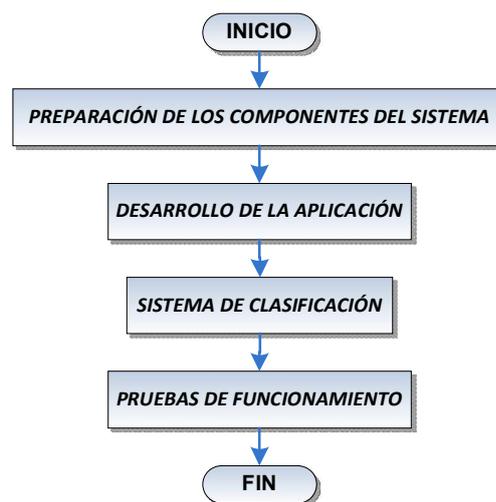


Figura 6.5 Etapas de desarrollo
Fuente: Investigador

En la primera etapa se plantean actividades relacionadas con los preparativos, diseño de accesorios y pruebas de compatibilidad. Se establecen

tareas primordiales para verificar que se cuenta con todo lo necesario, además, detectar y rechazar con antelación aquellos componentes que puedan ocasionar efectos negativos. La correcta selección de los dispositivos garantizará un óptimo desempeño del sistema.

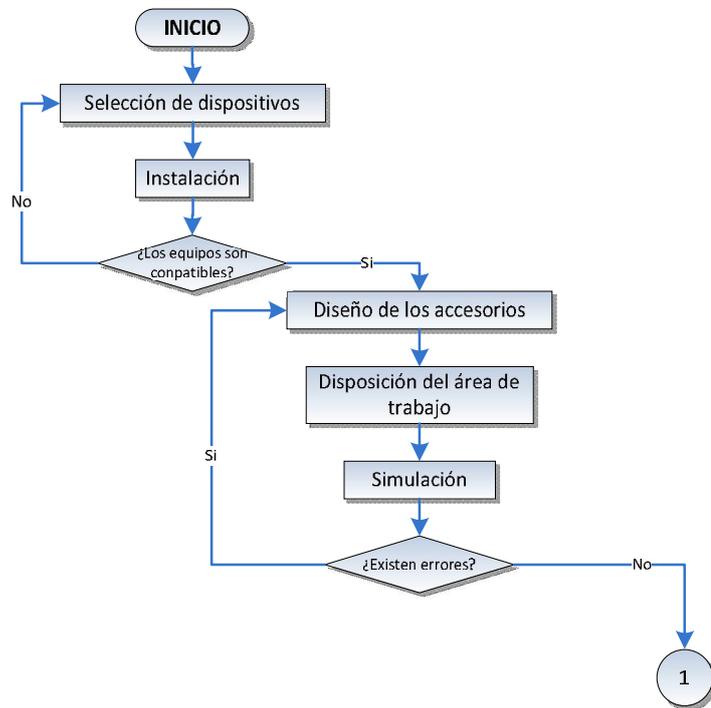


Figura 6.6 Preparación de los componentes del sistema
Fuente: Investigador

Sin duda alguna, el desarrollo de la aplicación es la etapa más importante del proyecto por tanto abarca el objetivo fundamental de la propuesta. Esta fase inicia con la calibración de la cámara, posteriormente la captura de una imagen de referencia que servirá para el análisis, desarrollo y programación de la aplicación.

Se efectuarán múltiples pruebas, simulaciones y ajustes para favorecer el robustecimiento del sistema. La aplicación debe contar con una HMI (Interfaz Hombre Máquina) donde se integre las tareas de calibración, monitoreo y control del proceso. De acuerdo a las especificaciones de control de calidad, la aplicación generará señales de control para manipular el dispositivo de clasificación.

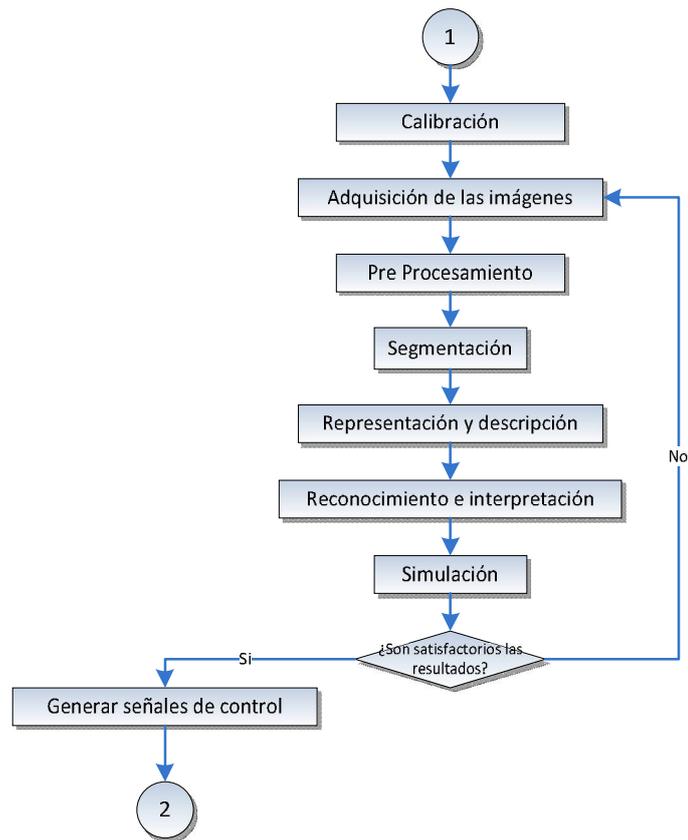


Figura 6.7 Desarrollo de la aplicación
Fuente: Investigador

Luego de obtener la aplicación, el siguiente paso será desarrollar el método de clasificación. El diseño de esta etapa debe contemplar la manipulación y clasificación de los productos de forma rápida y precisa de acuerdo a las señales de control que genere la aplicación. Se realizarán pruebas para optimizar el sistema y obtener el máximo rendimiento.

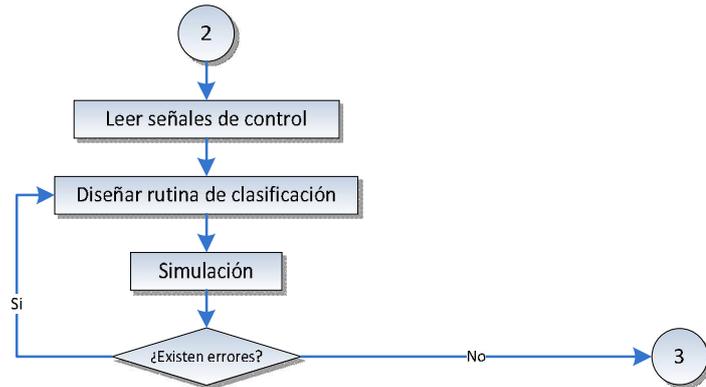


Figura 6.8 Sistema de manipulación y clasificación
Fuente: Investigador

A pesar de tomar todas las medidas necesarias para un óptimo desempeño, es posible que puedan surgir eventos inesperados, sucesos que no han sido considerados y aparecen para generar inestabilidad en el sistema.

En tal virtud, en esta etapa final, se realizarán pruebas de funcionamiento y en el caso de encontrarse con algún problema de esta naturaleza, se deberán realizar todos los ajustes pertinentes para obtener un sistema de inspección automatizado que sea eficiente, robusto y confiable.

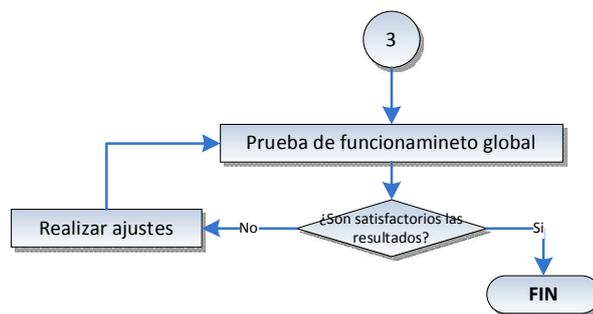


Figura 6.9 Pruebas de funcionamiento
Fuente: Investigador

En la Figura 6.10 se muestra el esquema unificado del procedimiento de implementación con todas las etapas y actividades.

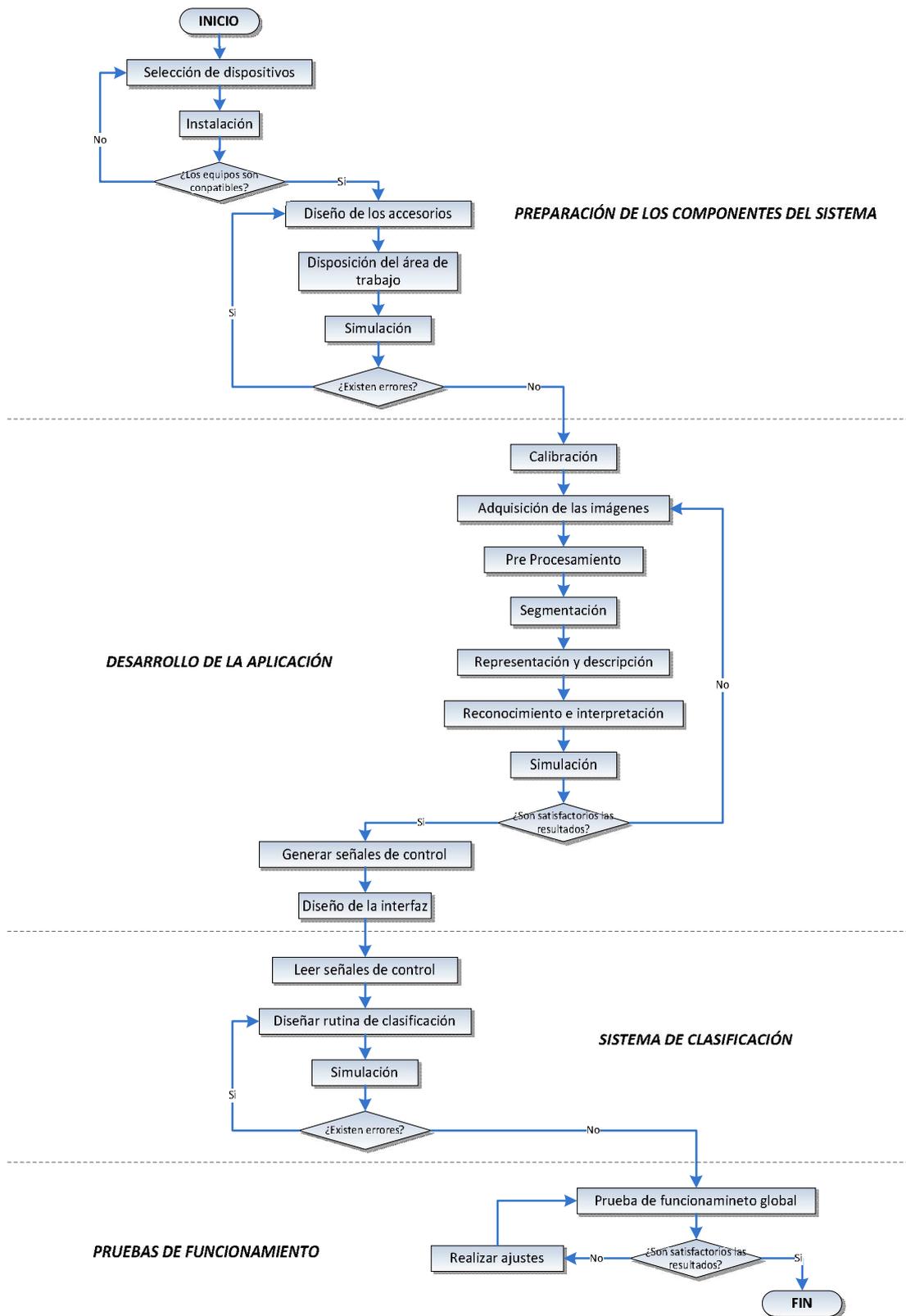


Figura 6.10 Procedimiento de implementación
Fuente: Investigador

Metodología

Preparación de los componentes del sistema

Para poder realizar la inspección del nivel de llenado de bebidas embotelladas de Coca Cola de 250ml es necesario contar un sistema de transporte. Las botellas serán colocadas manualmente en una banda transportadora que las moviliza de un lugar a otro. Un sensor colocado al final de la banda envía una señal cuando la botella se ha posicionado correctamente.

Esta señal es utilizada para controlar el disparo de la cámara, y obtener así, una imagen de la escena. La imagen adquirida será procesada para determinar el nivel de llenado de la botella. Este resultado es analizado para determinar si cumple con los parámetros de control de calidad establecidos.

Finalmente, la botella es manipulada y colocada en la bandeja correspondiente de acuerdo a los resultados obtenidos en la inspección.

En la Figura 6.11 se expone el diagrama de bloques del sistema de visión artificial.



Figura 6.11 Diagrama de bloques del sistema

Fuente: Investigador

Selección de dispositivos

Para la selección de los dispositivos se consideraron fundamentalmente tres factores: disponibilidad, compatibilidad y coste. En la Tabla 6.1 se muestra los dispositivos seleccionados para la implementación del sistema.

Tabla 6.1 Dispositivos seleccionados

<i>Nombre</i>	<i>Observación</i>
NI USB-6009	Proporcionado por la FISEI
Webcam Omega 362348	Adquirido
Scorbot ER-4u	Proporcionado por la FISEI
Cinta transportadora	Proporcionado por la FISEI
Sensor de proximidad SUNX CY-22	Proporcionado por la FISEI

Fuente: Investigador

La webcam fue adquirida mientras que los demás equipos fueron proporcionados por el laboratorio de la FISEI de la Universidad Técnica de Ambato, bajo autorización.

Para conocer un poco más a cada dispositivo, a continuación se expone una breve reseña de cada uno. Las especificaciones y características técnicas de estos equipos se encuentran en la sección *ANEXOS*.

a) NI USB-6009

Se ha seleccionado este dispositivo para crear una interfaz de comunicación entre la aplicación y los demás elementos del sistema. Este dispositivo puede leer y generar señales digitales.



Figura 6.12 NI USB-6009

Fuente: <http://sine.ni.com/psp/app/doc/p/id/psp-115/lang/en>

b) Webcam Omega 362348

Se seleccionó una webcam comercial con interfaz USB y sensor CMOS; su bajo costo y características que ofrece la convierten en una buena opción para este prototipo.



Figura 6.13 Webcam Omega 362348

Fuente: <http://www.omega.com.tw/webcam-362348.asp>

c) Scorbot ER-4u

El Scorbot ER-4u será el encargado de las tareas de clasificación y manipulación de los productos. Este equipo posee un software de programación propio y un módulo de control que facilita su integración con cualquier aplicación.



Figura 6.14 Scorbot ER-4u

Fuente: <http://ceres.ugr.es/~angel/docencia/robin/robots.htm>

d) Cinta transportadora

Se utilizará esta cinta para simular el avance de las botellas en la línea producción mediante alimentación manual. La cinta transportadora es un accesorio del Scrobot ER-4u y se conecta al mismo módulo de control.



Figura 6.15 Cinta transportadora
Fuente: <http://bit.ly/qoJncQ>

e) Sensor de proximidad

Este sensor irá montado sobre la cinta transportadora y se empleará para detener el avance de la cinta y posicionar la botella en el lugar deseado. En ese instante se enviará una señal a la aplicación para efectuar el disparo de la cámara.



Figura 6.16 Sensor de presencia fotoeléctrico SUNX CY-22
Fuente: <http://bit.ly/ottUoj>

Instalación

Para el desarrollo de este proyecto se seleccionó el software LabVIEW de National Instruments, su interfaz de lenguaje gráfico de programación hace más sencillo y práctico el desarrollo de aplicaciones.

El software posee Toolkits o librerías como el Vision Acquisition Software, que cuenta con poderosas herramientas dedicadas al desarrollo de

soluciones basadas en visión artificial. Este paquete se integra fácilmente con la interfaz de trabajo.

Para iniciar con la configuración de los dispositivos seleccionados es necesario contar con el siguiente software:

- ✓ LabVIEW
- ✓ NI Vision Acquisition Software
- ✓ NI-DAQmx (driver del dispositivo)
- ✓ Driver de la cámara
- ✓ Robocell

Luego de haber instalado el software mencionado se procede a configurar la tarjeta de adquisición de datos (NI USB-6009). Una vez conectado el dispositivo se inicia el *MAX* (Measurement & Automation Explorer). En la parte izquierda de la ventana, en la sección *Devices and Interfaces* aparecerá un listado con todos los dispositivos instalados y detectados de National Instruments, si la tarjeta de adquisición de datos ha sido instalada con éxito, figurará en esta lista.

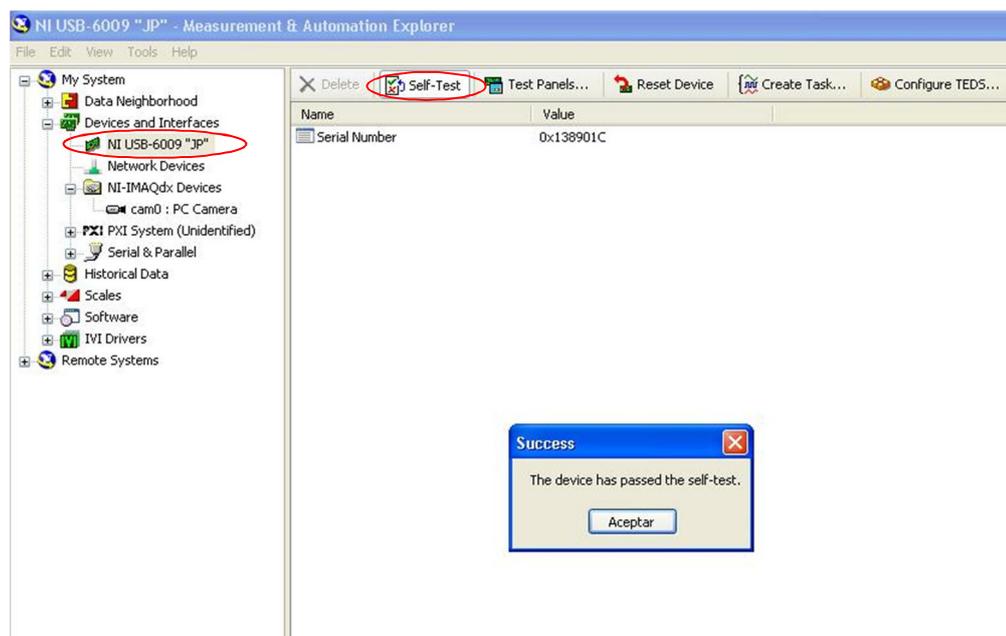


Figura 6.17 Configuración de la DAQ
Fuente: Investigador

Al presionar el botón *Self-Test* el programa comprueba si el dispositivo funciona correctamente, aparecerá un mensaje indicando el estado del dispositivo.

Se conecta la webcam, si ha sido instalada correctamente aparecerá en la sección *NI-IMAQdx Devices* del *MAX*; se configura el modo de video como se indica en la Figura 6.18.

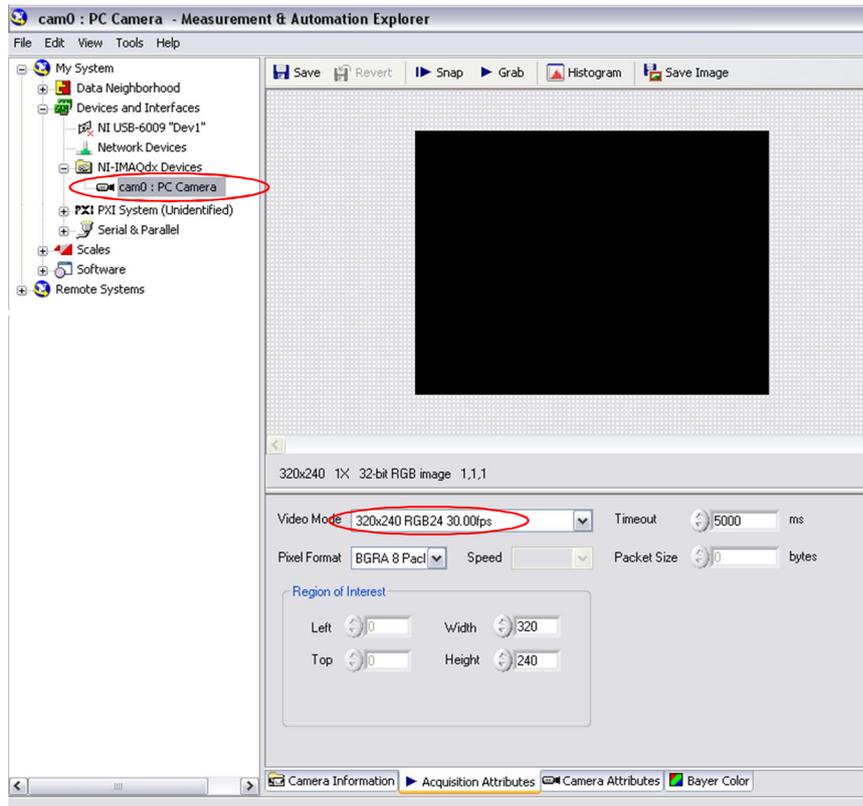


Figura 6.18 Configuración de la cámara
Fuente: Investigador

De esta forma la cámara queda configurada y la aplicación podrá comunicarse con ella en el instante requerido.

Para instalar el Scorbot ER-4u se conectan los cables del dispositivo al módulo de control, la cinta transportadora irá conectada en el eje 7 (*AXIS 7*) como se muestra en la Figura 6.19.



Figura 6.19 Instalación del Scorbot ER-4u
Fuente: Investigador

Para establecer la comunicación entre la aplicación y el Scorbot ER-4u se conecta la DAQ al módulo de control del utilizando el cable UTP, según las etiquetas.



Figura 6.20 Conexión de la DAQ al módulo de control
Fuente: Investigador

Finalmente, se conectan los cables del sensor de proximidad como se observa en la Figura 6.21.

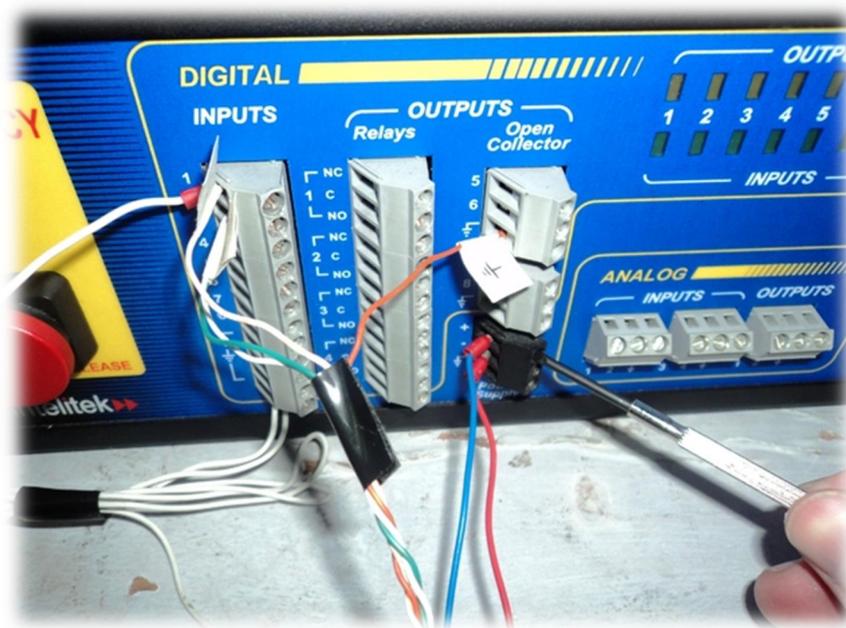


Figura 6.21 Instalación del sensor de proximidad
Fuente: Investigador

Diseño de los accesorios

Con el propósito de acondicionar el espacio de trabajo, fue necesario construir algunos elementos auxiliares que ayuden a posicionar de forma adecuada los dispositivos. En la Tabla 6.2 se muestran los accesorios utilizados en la implementación del sistema.

Tabla 6.2: Accesorios

<i>Nombre</i>	<i>Cantidad</i>
Soporte Regulable	1
Lámpara	1
Guía	2
Caja de clasificación	2

Fuente: Investigador

Cada uno de estos elementos cumple una función específica dentro del sistema. En la sección *ANEXOS* se adjuntan los planos de cada accesorio.

a) Soporte Regulable

Este complemento sirve para posicionar la cámara. La pinza de sujeción de la webcam se ajusta a la parte superior del soporte, los tornillos permiten fijarla en una altura adecuada. Además, el soporte brinda estabilidad a la cámara frente a posibles vibraciones.



Figura 6.22 Soporte regulable
Fuente: Investigador

b) Lámpara

La iluminación es uno de los factores más críticos, una correcta iluminación permitirá obtener una imagen con alto contraste. El objetivo del sistema de iluminación es destacar las características presentes en la escena que serán motivo de análisis.

Se ha empleado la técnica de iluminación posterior o retroiluminación ya que esta técnica resalta la silueta de la botella y permite obtener una imagen de alta calidad, facilitando así el análisis posterior.

Se diseñó una lámpara especial que cuenta con un soporte y un foco ahorrador de 20W. La lámpara tiene una altura adecuada y brinda iluminación

uniforme, el fondo de color blanco es una lámina de acrílico de 3mm que ayuda a mejorar el contraste de la imagen.



Figura 6.23 Lámpara
Fuente: Investigador

c) Guías

En los sistemas de visión artificial, lo habitual es que la distancia entre el objeto y la cámara sea en lo posible constante, permitiendo que el tamaño de la imagen también lo sea.

Estas guías van acopladas a la cinta transportadora con tornillos tipo allen y sirven para ubicar las botellas a una distancia constante de la cámara. Al implementar estas guías se logra obtener mayor precisión en la inspección.



Figura 6.24 Guías y accesorios
Fuente: Investigador

d) Cajas de clasificación

Según los resultados de la inspección, el sistema de clasificación ubicará las botellas en las cajas de productos aprobados y productos rechazados.



Figura 6.25 Cajas de clasificación
Fuente: Investigador

Disposición de los elementos del sistema

Los elementos del sistema fueron posicionados tomando en cuenta algunas consideraciones generales:

- ✓ La distribución de los dispositivos debe permitir la interacción de los mismos.
- ✓ Los accesorios cinta transportadora y cajas de clasificación deben ir colocados dentro del área de trabajo del Scorbobot ER-4u.
- ✓ Los demás elementos se ubicarán procurando optimizar la velocidad del sistema de clasificación.

El sensor de proximidad va colocado sobre la cinta transportadora como se puede apreciar en la Figura 6.26.



Figura 6.26 Montaje del sensor de proximidad
Fuente: Investigador

La lámpara fue situada de manera experimental en el mismo eje del sensor de proximidad, verificando que no se produzcan impactos con el Scorbot ER-4u. Se determinó una posición óptima a 70 mm del borde de la cinta transportadora.



Figura 6.27 Disposición de la lámpara
Fuente: Investigador

Para posicionar la cámara ajustamos la altura del soporte, acoplamos la cámara y la ubicamos a una distancia de 150 mm tomada desde el borde de la cinta transportadora.

La distancia de trabajo fue determinada de forma experimental contemplando las consideraciones generales y tomando en cuenta que la webcam posee enfoque manual y no tiene las mismas características de las cámaras industriales.

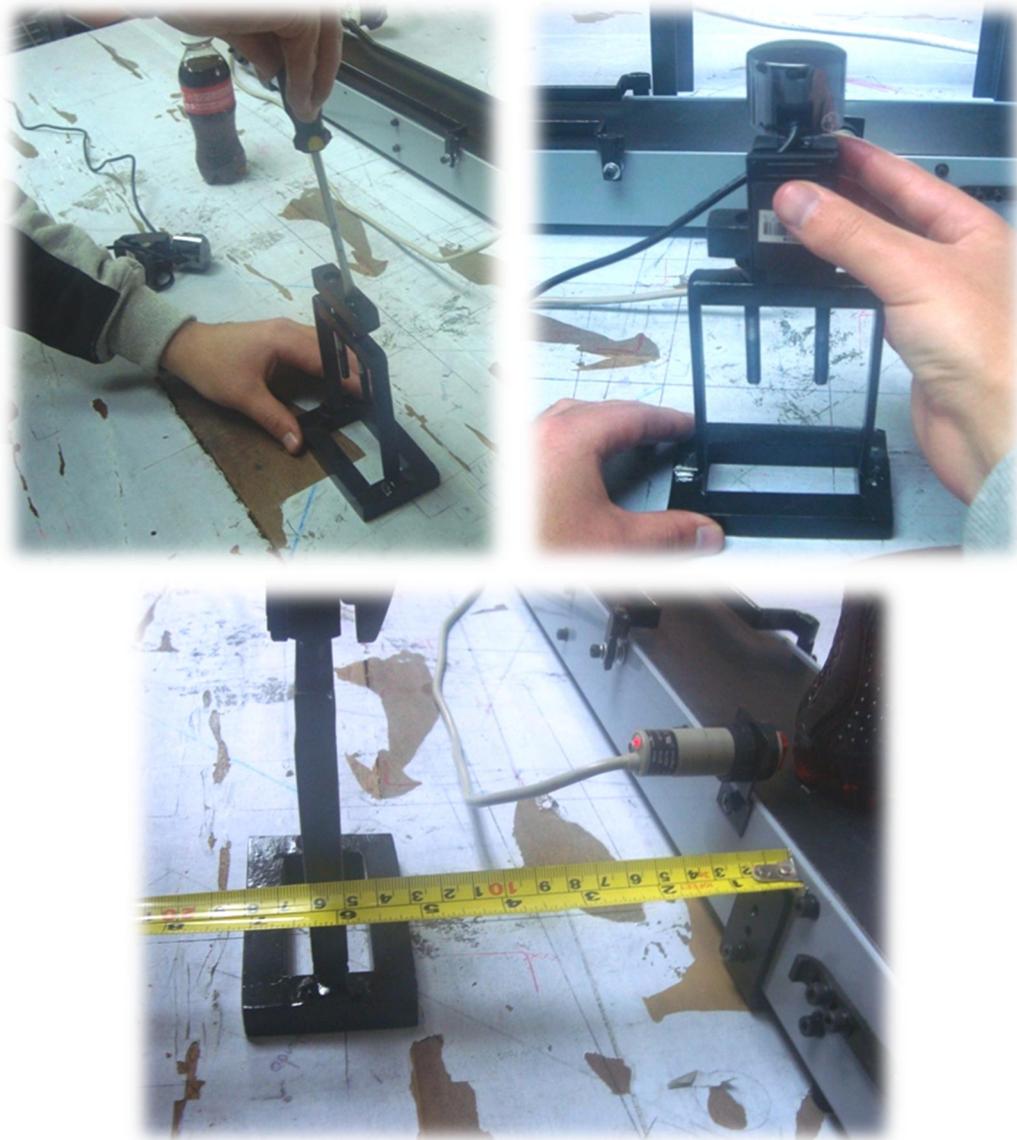


Figura 6.28 Disposición de la cámara
Fuente: Investigador

En la Figura 6.29 se puede observar la disposición final de los elementos del sistema.

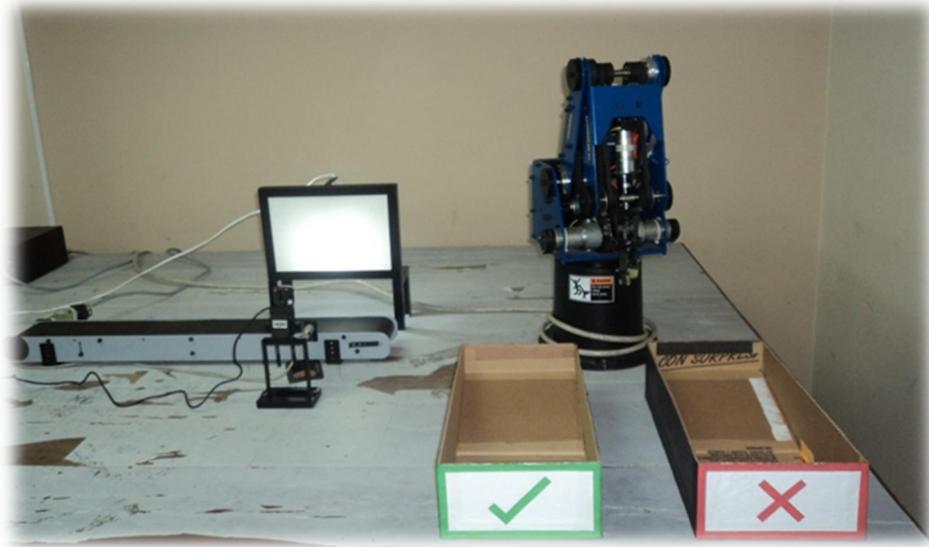


Figura 6.29 Disposición final del sistema
Fuente: Investigador

Desarrollo de la aplicación

A continuación se explica el código empleado en la programación de la aplicación. Para una mejor comprensión, en las figuras se incluye el detalle de los parámetros que poseen las funciones empleadas, obtenido del archivo de ayuda de LabVIEW.

Calibración

Para obtener mejores resultados, National Instruments en su página web, recomienda calibrar la cámara antes de empezar una inspección. Considerando esta sugerencia nace la necesidad de desarrollar un módulo de calibración que se integre fácilmente con la aplicación.

El sistema de calibración consiste en la creación de un patrón (imagen calibrada) mediante la utilización de una plantilla de calibración. Esta plantilla es

una matriz de círculos donde la distancia horizontal y vertical entre los mismos es conocida y a su vez constante.

Se utilizó una plantilla tamaño A4 con una matriz de círculos de 2mm distribuidos uniformemente a una distancia de 5mm entre filas y columnas.

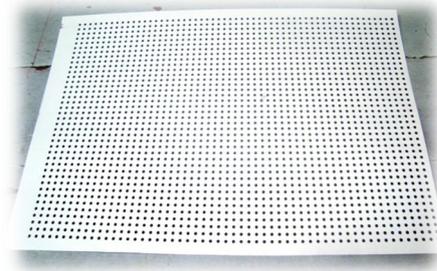


Figura 6.30 Plantilla de calibración
Fuente: Investigador

Mediante el proceso de calibración se pretende obtener la información necesaria para transformar los píxeles (unidades de imagen digital) a unidades reales (mm).

La Figura 6.31 muestra el diagrama de flujo del sistema de calibración implementado.

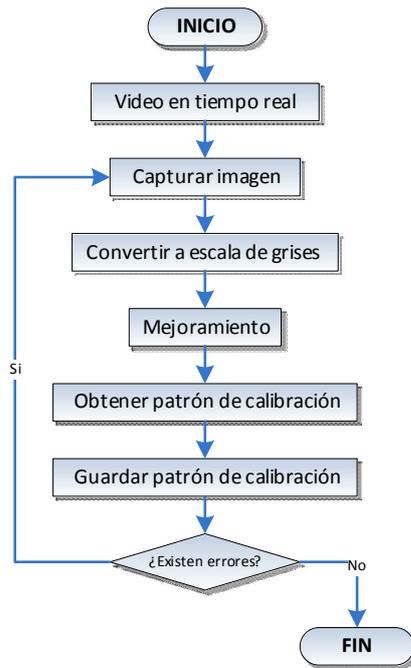


Figura 6.31 Diagrama de flujo del sistema de calibración
Fuente: Investigador

En el programa LabVIEW, en un nuevo archivo, se emplea la estructura de tipo *Stacked Sequence*; en la cual cada cuadro o *Frame*, sirve para agrupar un conjunto de instrucciones que se han de ejecutar de acuerdo al orden establecido.

En primer lugar se requiere reservar el espacio en memoria para utilizar las funciones de la librería IMAQ. Entonces, en el primer *Frame* se inicializan las variables de tipo imagen que servirán para el desarrollo de la aplicación.

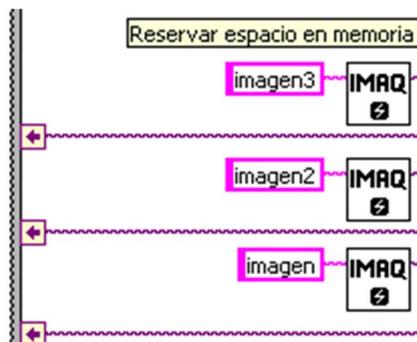


Figura 6.32 Inicialización de variables
Fuente: Investigador

Luego, en un nuevo *Frame*, se fijan los parámetros de calibración correspondientes a la plantilla diseñada, haciendo uso de la herramienta de calibración *IMAQ Learn Calibration Template*. Se guarda el patrón de calibración en un directorio temporal.

El código de la Figura 6.33 permite generar un patrón de calibración basado en una plantilla de calibración.

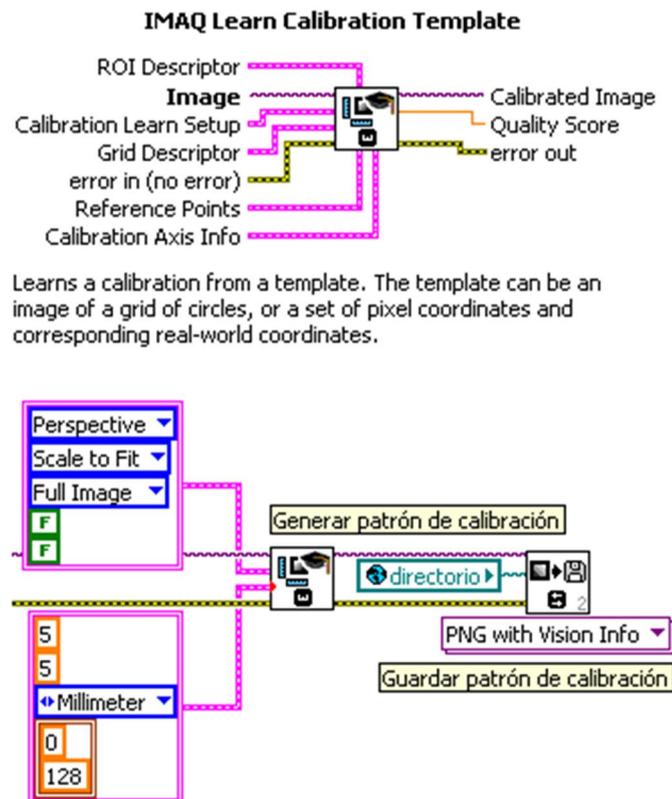


Figura 6.33 Creación del patrón de calibración
Fuente: Investigador

Este código va encerrado dentro de una estructura tipo *Case* como se puede apreciar en la Figura 6.34. De esta forma se logra que estas instrucciones se ejecuten sólo cuando el usuario presione el botón *Calibrar*.

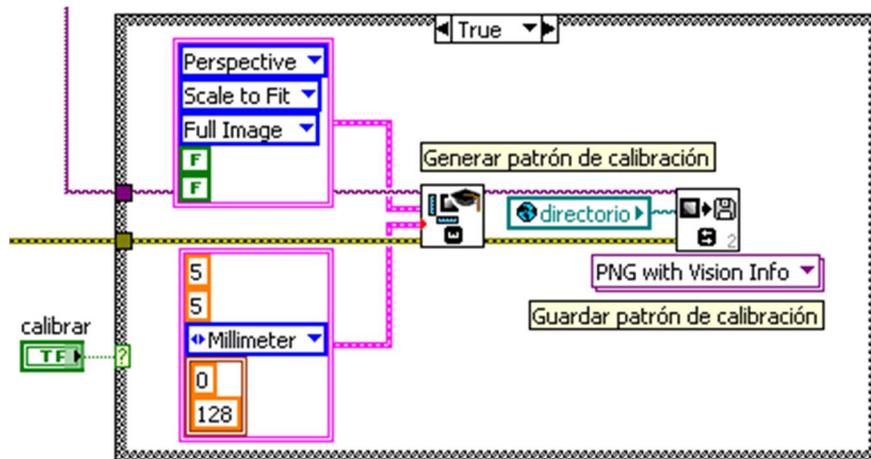


Figura 6.34 Programación de la calibración
Fuente: Investigador

Adquisición de las imágenes

Esta etapa consiste en programar las instrucciones necesarias para conseguir una imagen de la escena cuando el sensor de proximidad detecte que la botella se ha posicionado en el lugar adecuado.

Las herramientas *Open Camera* y *Configure Grab* de la paleta *IMAQdx* permiten crear una rutina para abrir una secuencia de video en tiempo real.

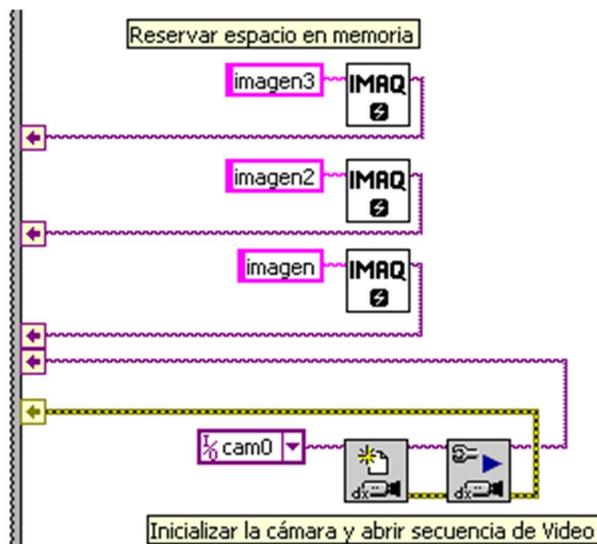


Figura 6.35 Inicialización de la cámara
Fuente: Investigador

Para controlar el disparo de la cámara se crea una subrutina (DAQIN.vi) para que lea el canal de la DAQ donde está conectado el sensor de proximidad (P1.3).

La función *DAQ Assistant* permite establecer comunicación entre la aplicación y todos los dispositivos compatibles con LabVIEW. Para utilizar esta herramienta basta con arrastrarla desde la paleta de herramientas y automáticamente se inicia un asistente.

En el asistente, se selecciona la configuración correspondiente como se muestra en la Figura 6.36.

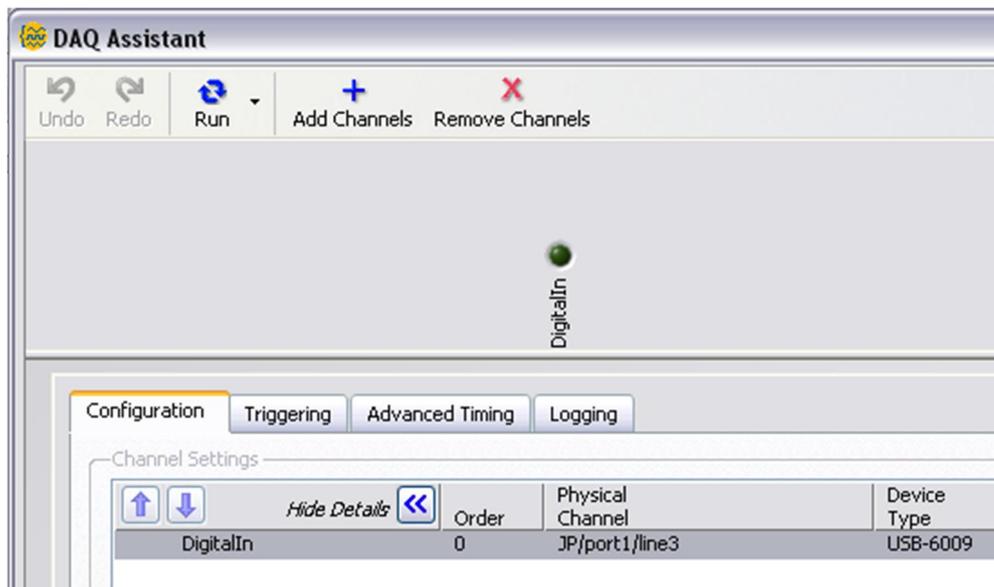


Figura 6.36 Configuración de la DAQ

Fuente: Investigador

Una vez guardada la configuración, el asistente se cierra y se añaden las instrucciones necesarias para extraer el dato de interés del array de datos que entrega esta función:

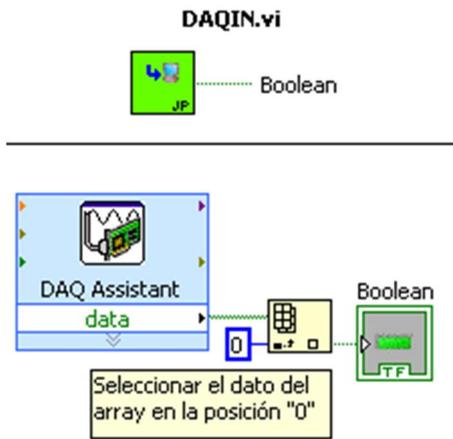


Figura 6.37 Subrutina DAQIN.vi
Fuente: Investigador

Para capturar una imagen cuando el sensor de proximidad se active se programan las instrucciones que se muestran en la Figura 6.38.

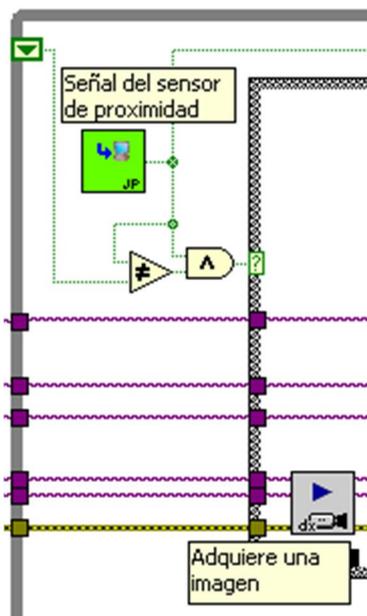


Figura 6.38 Control del disparo de la cámara
Fuente: Investigador

Pre Procesamiento

La importancia de esta etapa se basa principalmente en el tratamiento de la información obtenida de la escena para facilitar el reconocimiento de las características relevantes de la imagen.

La cámara entrega una imagen a color de tipo RGB, para poder aplicar funciones de mejoramiento y detección de bordes, es indispensable transformar esta imagen a escala de grises. En LabVIEW, la herramienta *IMAQ ExtractSingleColorPlane* permite ejecutar esta operación.

En la Figura 6.39 se observa la imagen original y la imagen convertida a escala de grises.

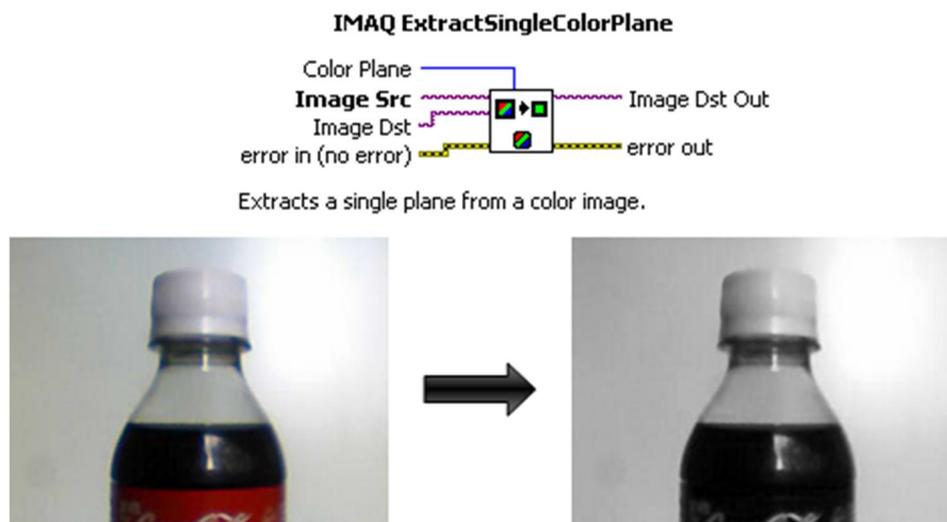


Figura 6.39 Transformación a escala de grises

Fuente: Investigador

Se decidió implementar un filtro de suavizado para mejorar los detalles de bordes en la imagen y obtener una imagen más homogénea. Se crea una máscara (kernel) de 3*3 de promedio estándar y se utiliza la herramienta *IMAQ Convolute* para conseguir un filtro pasa bajo. Implementando estas funciones en LabVIEW se obtiene:

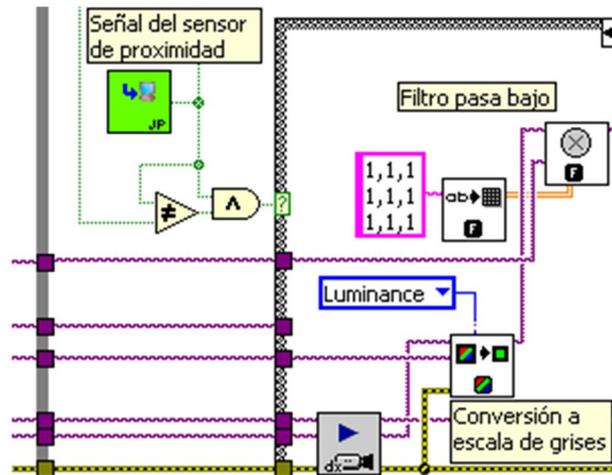


Figura 6.40 Implementación de funciones de pre procesamiento
Fuente: Investigador

En la Figura 6.41 se puede observar la imagen original y la imagen obtenida luego de haber aplicado el filtro.

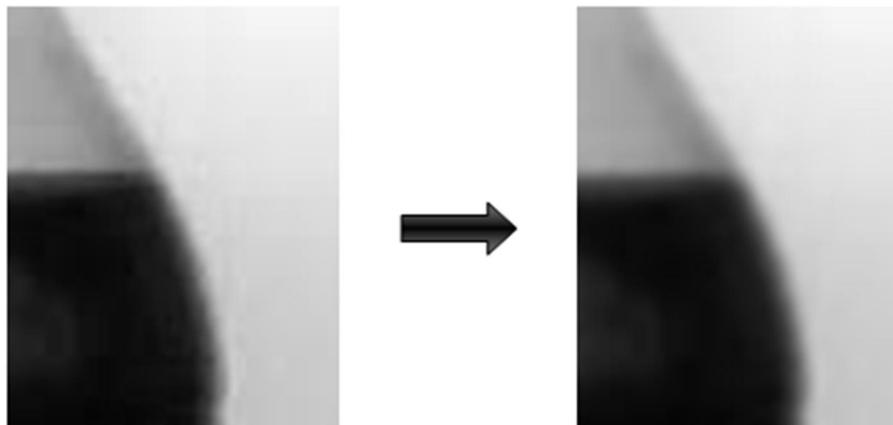


Figura 6.41 Obtención de imagen con filtro pasa bajo
Fuente: Investigador

Segmentación

La tarea fundamental de esta fase es determinar el área de interés donde se buscará las características de la imagen que van a ser motivo de análisis, que para este caso, es la línea del nivel de llenado de la botella.

LabVIEW posee la función *IMAQ Edge Tool 3* que permite encontrar un borde mediante la localización de los puntos en donde se produce un cambio de intensidad a lo largo de una trayectoria o área definida.

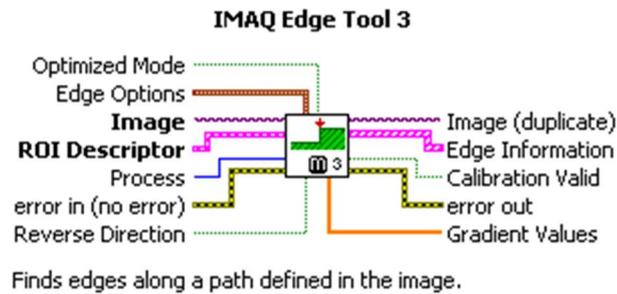


Figura 6.42 Descripción de la función IMAQ Edge Tool 3
Fuente: Investigador

Considerando que existen elementos en la escena que permanecen constantes es posible realizar un análisis geométrico y establecer puntos de referencia a partir de los cuales se determinará el área de interés o ROI.

En una imagen f de resolución $x*y$ se establece la trayectoria de búsqueda de bordes dada por la Ecuación 6.1, obteniendo los puntos $p1$ y $p2$.

(Ec. 6.1)

Para obtener la distancia L se tiene la ecuación:

$$\text{-----}$$

Como $y2 = y1$ tenemos:

(Ec. 6.2)

Para obtener el punto medio $p3$ se aplica la ecuación:

$$\text{-----}$$

Sabiendo que $y1 = y2 = y_{max} - 5$ se obtiene:

(Ec. 6.3)

En la Figura 6.43 se puede apreciar gráficamente los elementos involucrados en el análisis.

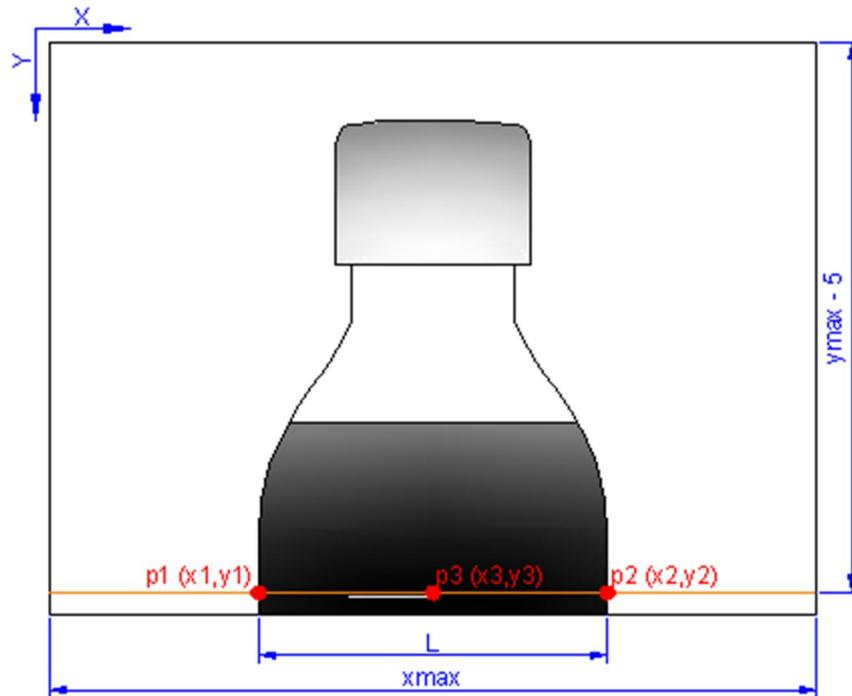


Figura 6.43 Obtención del punto p3 y distancia L

Fuente: Investigador

Implementando estas funciones en una nueva subrutina se tiene:

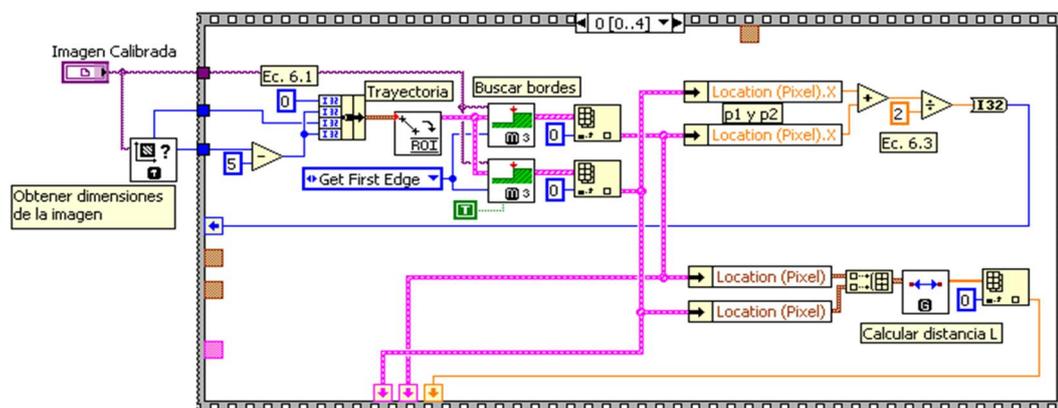


Figura 6.44 Código para obtener el punto p3 y distancia L

Fuente: Investigador

Se establece una nueva trayectoria de búsqueda de bordes representada por la Ecuación 6.4, obteniendo el punto $p4$.

(Ec. 6.4)

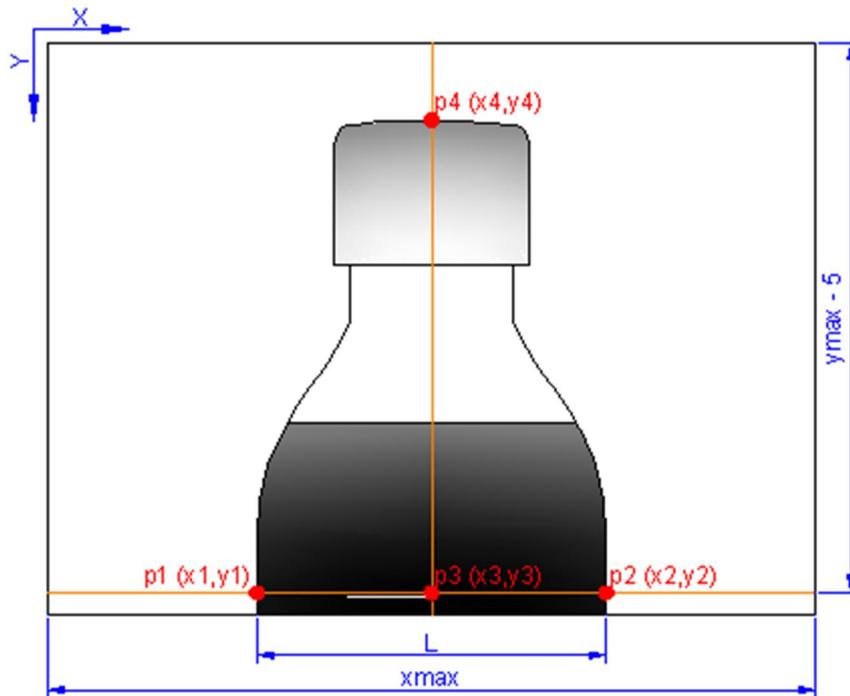


Figura 6.45 Obtención del punto $p4$
Fuente: Investigador

Implementando estas funciones en LabVIEW:

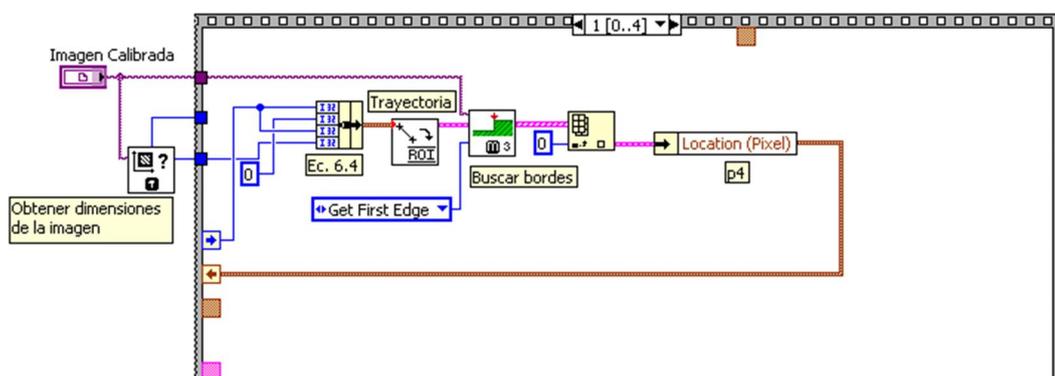


Figura 6.46 Código para obtener el punto $p4$
Fuente: Investigador

A partir del punto $p3$ y la distancia L se construye el ROI rectangular formado por las intersecciones de las Ecuaciones 6.5 - 6.8:

(Ec. 6.5)

(Ec. 6.6)

(Ec. 6.7)

(Ec. 6.8)

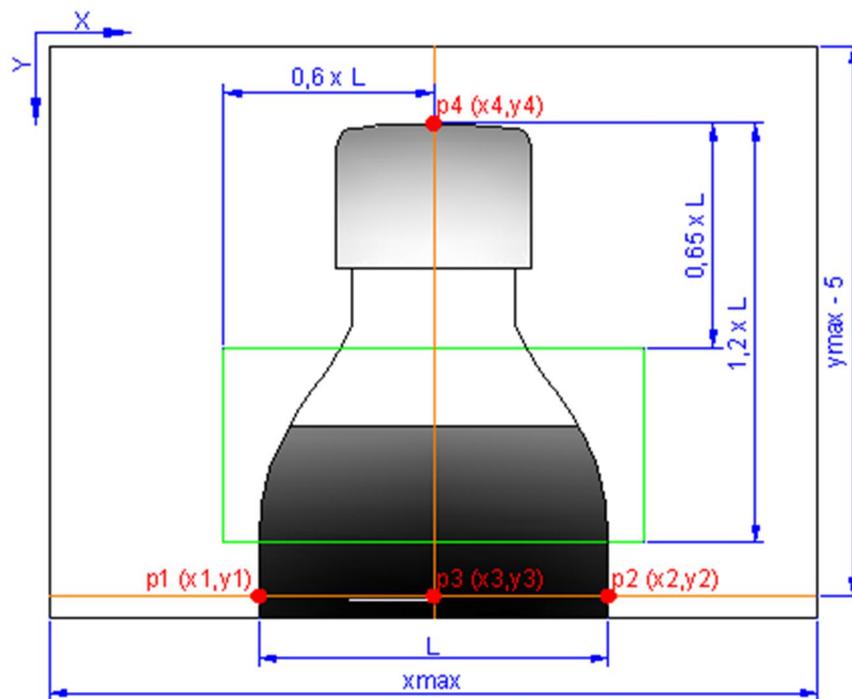


Figura 6.47 Construcción del ROI
Fuente: Investigador

Implementando estas funciones se obtiene:

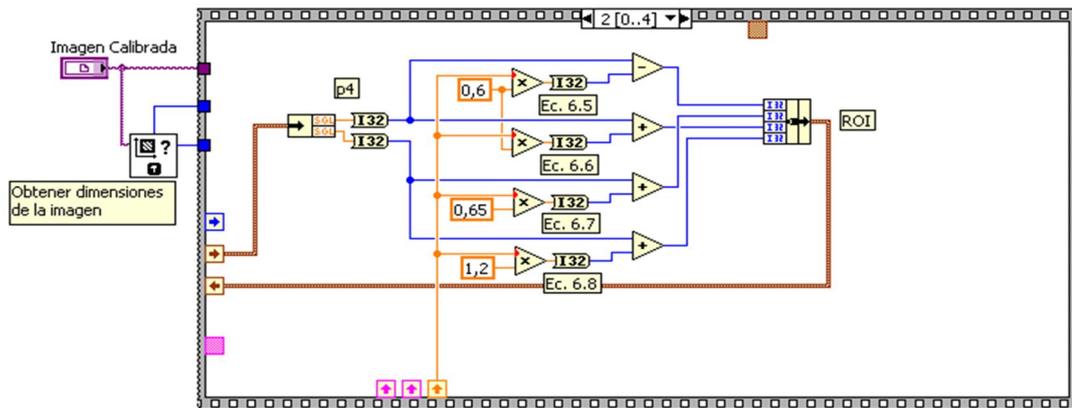


Figura 6.48 Código para la construcción del ROI

Fuente: Investigador

Representación y descripción

En esta etapa se pretende obtener la característica que mejor describa la propiedad en estudio. Se ha determinado como referente del nivel de llenado de la botella la distancia perpendicular comprendida entre el punto $p4$ y la línea del nivel del líquido.

Una vez que se ha determinado el área de interés, se hace uso de la función *IMAQ Edge Tool 3* fijando como área de búsqueda el ROI construido. Estableciendo estos parámetros, la función entregará como resultado la línea del nivel de líquido.

Utilizando la función *IMAQ Perpendicular Line* y fijando como parámetros la línea de nivel obtenida y el punto $p4$ se obtiene la distancia d que es un indicador del nivel de llenado de la botella.

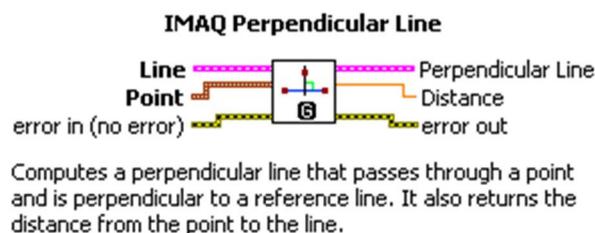


Figura 6.49 Descripción de la función IMAQ Perpendicular Line

Fuente: Investigador

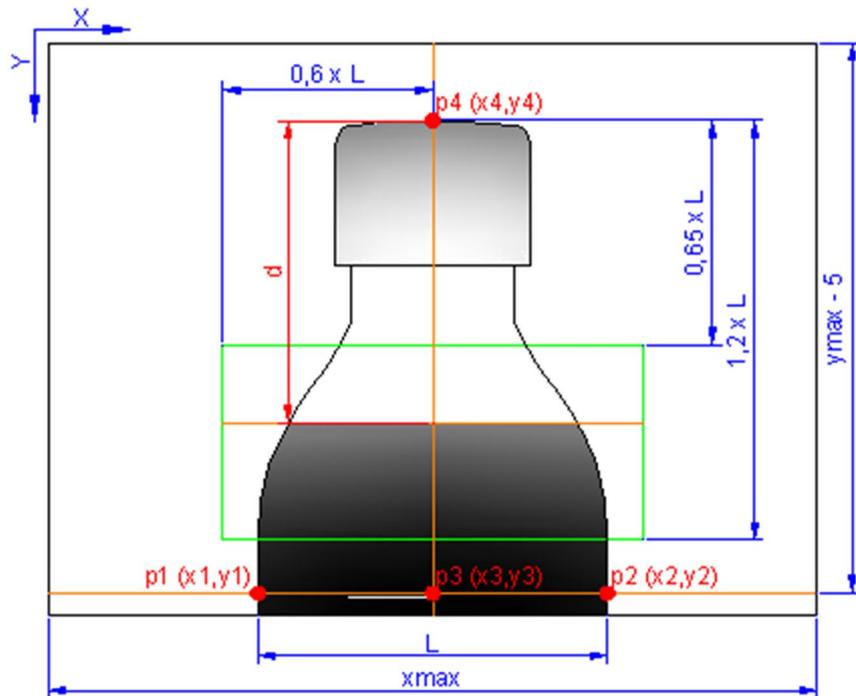


Figura 6.50 Obtención de la distancia d
Fuente: Investigador

Implementando estas funciones en LabVIEW:

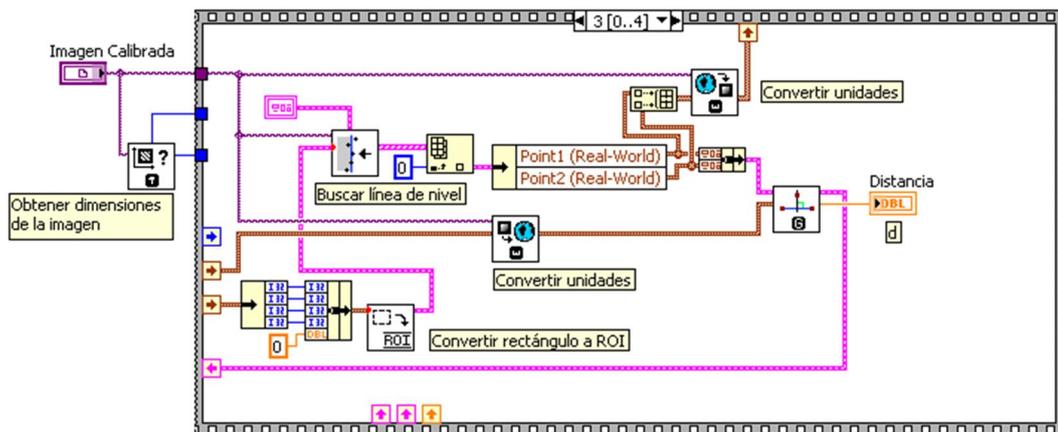


Figura 6.51 Código para obtener la distancia d
Fuente: Investigador

En la Figura 6.51 se puede observar que la función entrega la distancia d calculada en unidades reales (mm), haciendo uso del patrón de calibración

obtenido anteriormente es posible lograr esta conversión para tener una apreciación más clara de los resultados.

Para tener una mejor comprensión del análisis realizado, resulta conveniente graficar los resultados obtenidos. Para conseguir esto se emplea el código expuesto en la Figura 6.52.

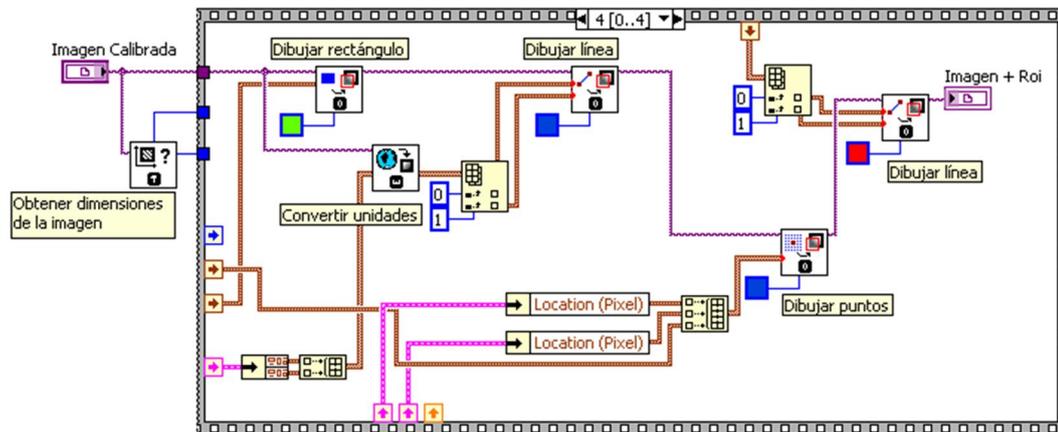


Figura 6.52 Código para dibujar los resultados del análisis
Fuente: Investigador

En la Figura 6.53 se observa la imagen ya procesada junto con los elementos del análisis realizado. La línea de color azul representa la medida del nivel de llenado.

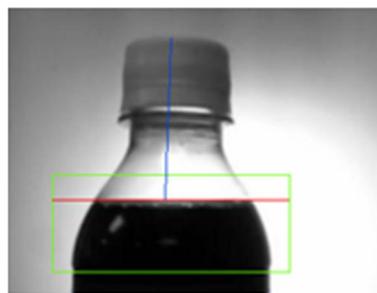


Figura 6.53 Imagen procesada
Fuente: Investigador

Reconocimiento e interpretación

Habiendo obtenido una variable que refleja el nivel de llenado de la bebida, se la puede comparar con los parámetros de control y en función de este resultado clasificar el producto.

Para obtener los parámetros de control se tomaron aleatoriamente veinte botellas de bebida Coca Cola y se sometieron a un proceso de medición, del cual se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 6.3 Resultados de la medición

<i>Nº de mediciones</i>	<i>Valor promedio (mm)</i>	<i>Valor máximo (mm)</i>	<i>Valor mínimo (mm)</i>
20	40,23	42,97	38,12

Fuente: Investigador

Analizando los valores obtenidos, máximo y mínimo, se puede determinar un rango en el cual se ubican los niveles óptimos de llenado.

Considerando el hecho de que al rechazar los productos con niveles de sobrellenado, el coste por reproceso elevaría el coste final del producto, y considerando además, que los productos con niveles de sobrellenado no afectan la satisfacción del cliente, se decidió rechazar solamente aquellos productos que en la medición presenten un valor mayor a 43mm, es decir, que presenten niveles de subllenado.

Con esta lógica se implementa una nueva subrutina en LabVIEW para cumplir con la tarea de clasificación. Se programan tres contadores automáticos con ayuda de variables globales para conseguir que estos puedan ser reinicializados cuando sea necesario.

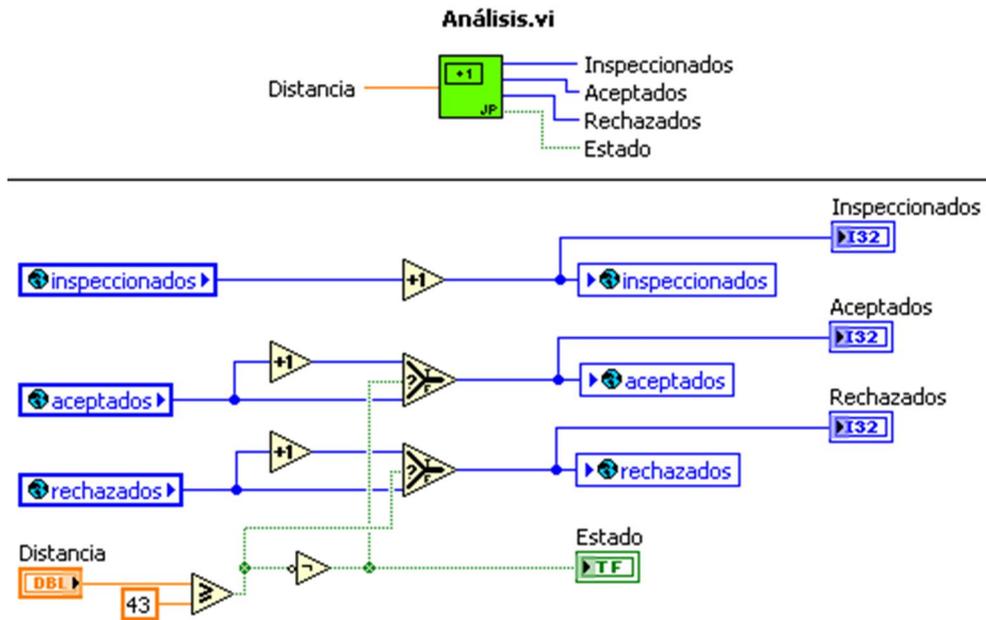


Figura 6.54 Subrutina Análisis.vi
Fuente: Investigador

Generar de señales de control

Para establecer comunicación entre la aplicación y el Scorbot ER-4u, que es el encargado de efectuar la tarea de clasificación, se generan dos señales de control que son enviadas al módulo de control a través de la DAQ.

La primera señal de control se genera a través del puerto P1.1 de la DAQ y sirve para iniciar o detener el movimiento de la banda transportadora. Esta señal se obtiene configurando la herramienta *DAQ Assistant* en una nueva subrutina como se indica en el siguiente gráfico:

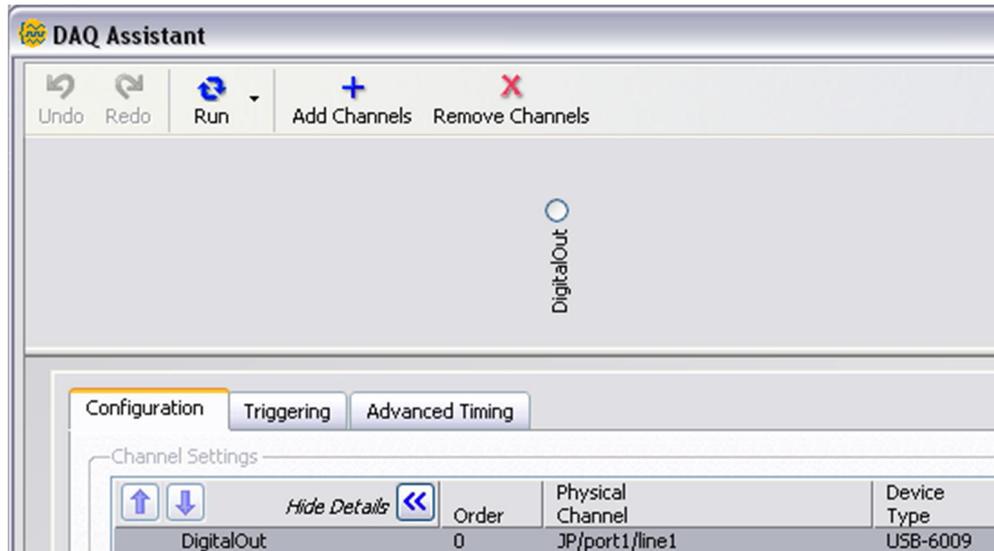


Figura 6.55 Configuración de la señal de control
Fuente: Investigador

El dato enviado a la función *DAQ Assistant* debe transformado a dato tipo array. Para realizar la conversión se añade el código mostrado en la Figura 6.56.

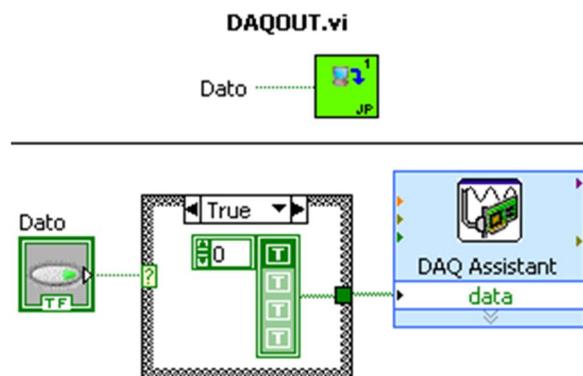


Figura 6.56 Subrutina DAQOUT.vi
Fuente: Investigador

La segunda señal de control se genera a través del puerto P1.2 de la DAQ y sirve para indicar al Scorbot ER-4u el resultado de la inspección, es decir, si el producto ha sido aceptado o rechazado. Para generar esta señal se implementa la subrutina DAQOUT2.vi siguiendo el mismo procedimiento anterior como se muestra en la Figura 6.57.

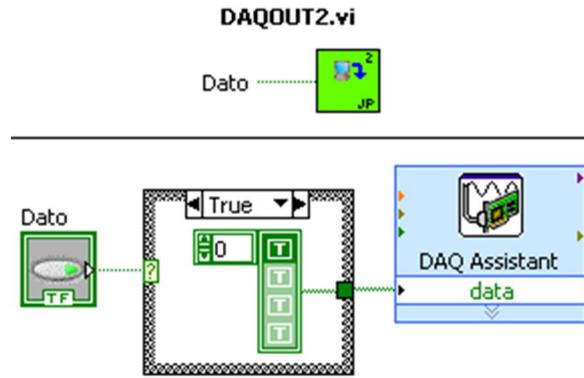


Figura 6.57 Subrutina DAQOUT2.vi
Fuente: Investigador

Implementando estas subrutinas en el vi principal se obtiene:

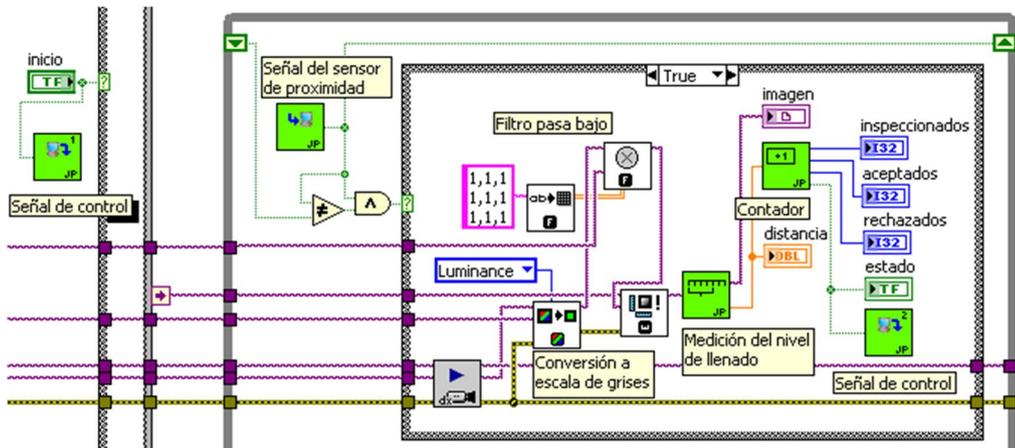


Figura 6.58 Implementación de las señales de control
Fuente: Investigador

Finalmente, se debe cerrar la comunicación entre la webcam y la aplicación para evitar cualquier error; para conseguir esto, en el último frame se escriben las siguientes instrucciones:



Figura 6.59 Código para cerrar la secuencia de video
Fuente: Investigador

Diseño de la interfaz

Se diseñó la interfaz de la aplicación (HMI) considerando principalmente el rendimiento, facilidad de uso y la estética. Considerando estos tres aspectos se distribuyeron los controles obteniendo la interfaz expuesta en la Figura 6.60.

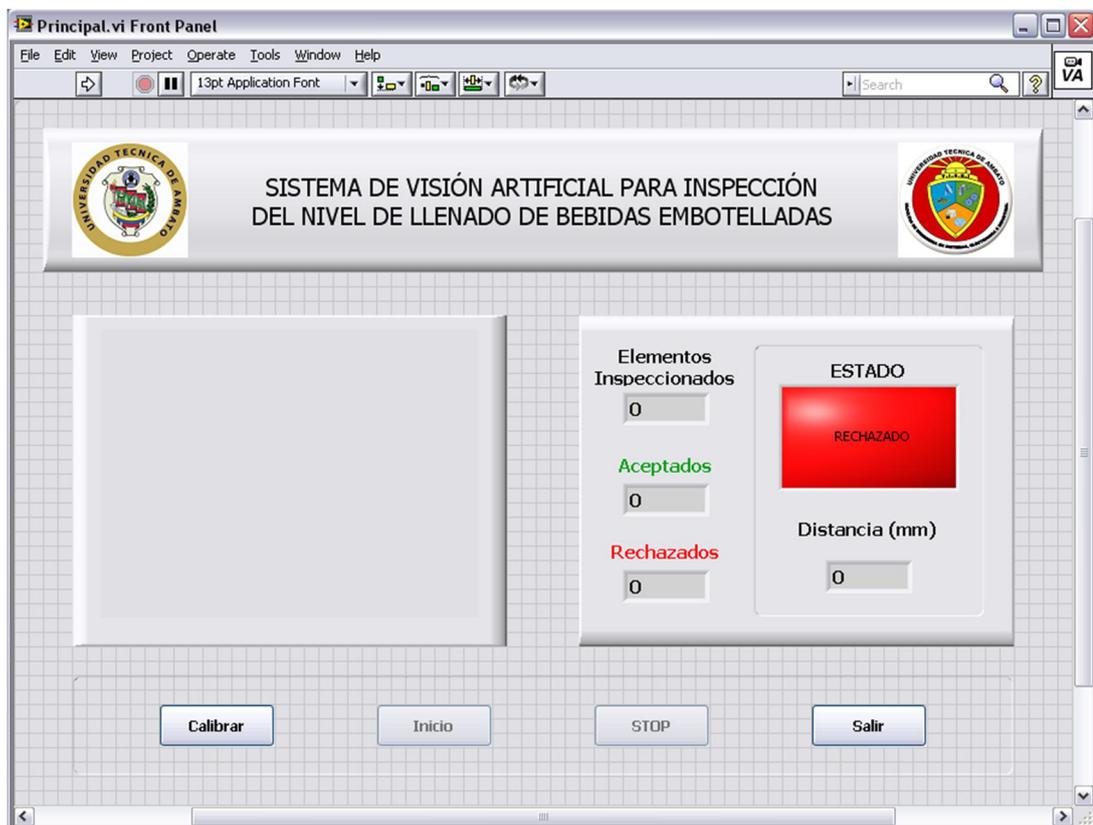


Figura 6.60 Interfaz de la aplicación
Fuente: Investigador

Como se puede observar, la interfaz es sencilla y cuenta con dos paneles principales y una botonera. El panel izquierdo mostrará primero la secuencia en vivo para calibrar la cámara con la plantilla de calibración y luego mostrará la imagen procesada del producto actual.

El panel derecho tiene como propósito mostrar información relacionada con el estado de la inspección, contadores y la distancia obtenida en la medición. Esta información se actualiza cada vez que un nuevo producto es analizado.

La interfaz cuenta con cuatro botones situados en la parte inferior, cada botón cumple con una función específica y permiten al usuario interactuar con el sistema.

Sistema de clasificación

Este sistema está encargado de la clasificación de los productos de acuerdo a los resultados de la inspección. Para lograr este cometido recurrimos al software Robocell que permite programar una rutina de clasificación para el Scorbobot ER-4u de manera sencilla.

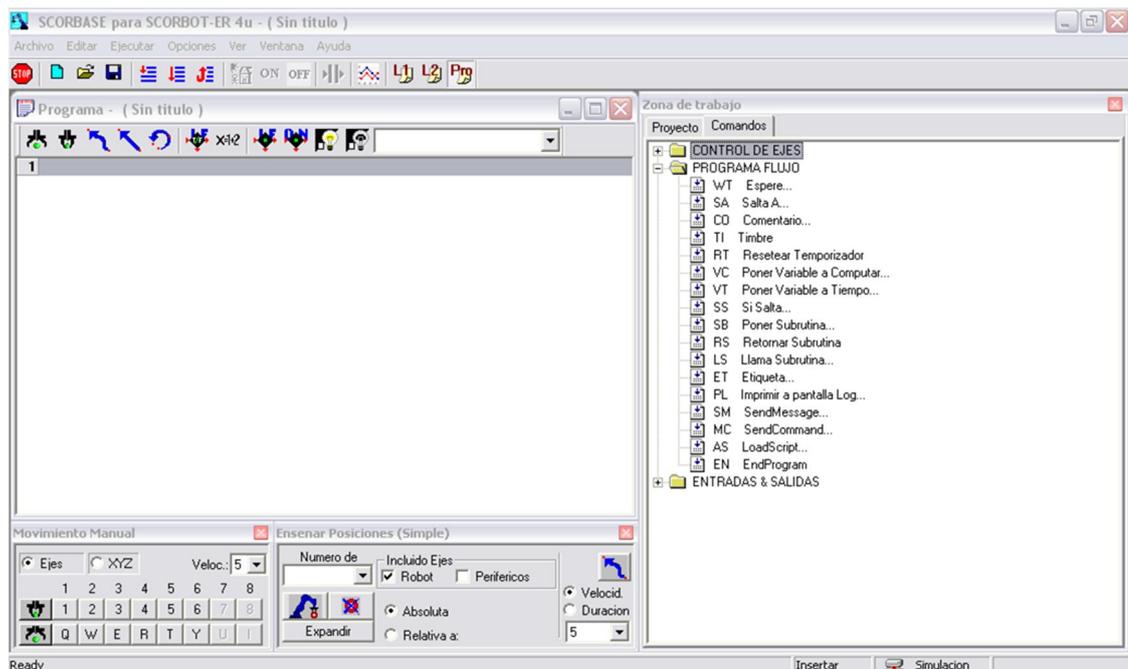


Figura 6.61 Interfaz del software Robocell
Fuente: Investigador

En la Figura 6.62 se puede observar el flujograma utilizado para implementar la tarea de clasificación.

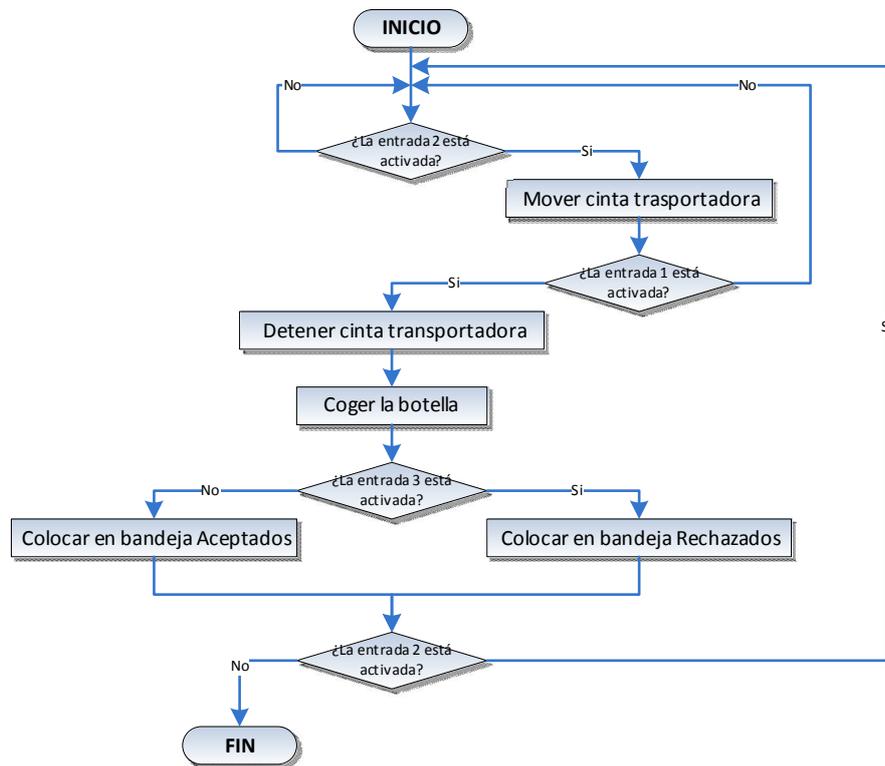


Figura 6.62 Flujograma de clasificación
Fuente: Investigador

En el software Robocell, en un nuevo proyecto, se configura el hardware seleccionando la opción *Cinta transportadora (gris), 24V*, en el eje 7, como se muestra en la Figura 6.63.



Figura 6.63 Configuración del hardware
Fuente: Investigador

Haciendo uso de las herramientas disponibles en la interfaz, se escribe el código el programa, de acuerdo al flujograma establecido.



Figura 6.64 Instrucciones para la tarea de clasificación
Fuente: Investigador

El software Robocell cuenta con una herramienta gráfica que permite testear el programa mediante la simulación del movimiento real del Scorbot ER-4u, de esta forma, se pueden detectar y corregir errores de manera oportuna.

Aprovechando esta característica, se diseñó una celda de trabajo virtual con elementos de características similares a los reales, para simular el programa y observar su comportamiento.

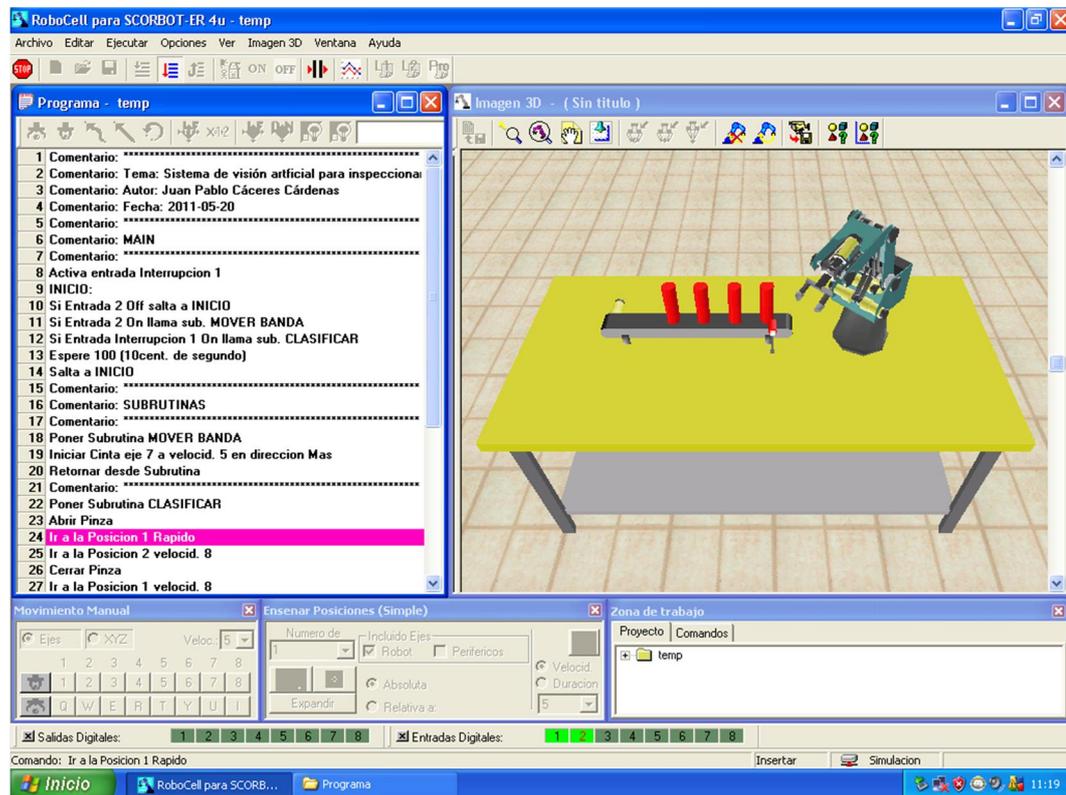


Figura 6.65 Simulación en Robocell
Fuente: Investigador

Una vez que se ha comprobado que el código escrito trabaja correctamente, el sistema queda listo para ser probado.

Pruebas de funcionamiento

Habiendo instalado y configurado todos los elementos de software hardware del sistema de inspección, es necesario realizar algunas pruebas con el propósito de analizar si los objetivos planteados para este proyecto se han cumplido.

En la Figura 6.66 se indica el sistema completo con todos sus elementos que será sometido a diferentes pruebas de funcionamiento.



Figura 6.66 Sistema de inspección final

Fuente: Investigador

Para realizar estas pruebas se debe iniciar la aplicación en LabVIEW y el programa en Robocell debido a que durante todo el proceso se involucra el envío y recepción de datos entre el computador y el módulo de control del Scorbot ER-4u.

Prueba de la interfaz

Al iniciar la aplicación el botón *Calibrar* y *Salir* deben ser los únicos que estén habilitados. La interfaz ha sido programada de esta forma para obligar al usuario a efectuar la calibración antes de una nueva inspección. El botón *Inicio* solamente se activa cuando la calibración se ha concretado con éxito.

Al presionar el botón *STOP* se detiene el avance de la cinta transportadora, interrumpiendo en ese instante el proceso de inspección. En este momento el usuario puede reanudar el proceso presionando *Continuar* o finalizar la aplicación presionando *Salir*.

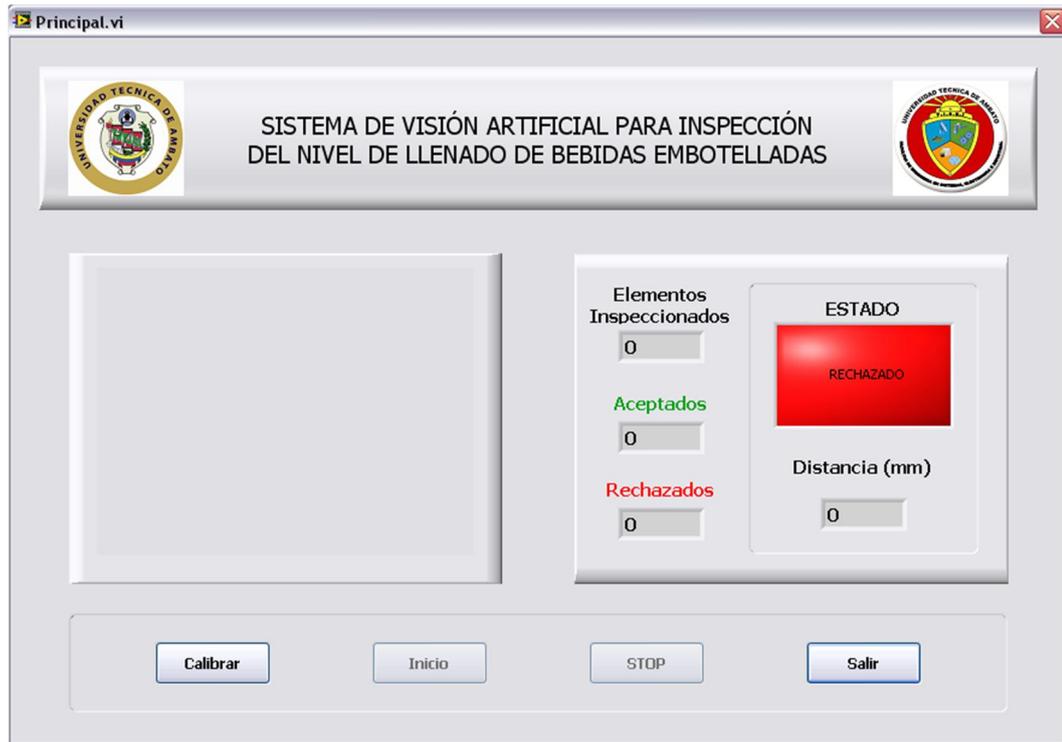


Figura 6.67 Prueba de la interfaz
Fuente: Investigador

Prueba de calibración

El sistema genera un mensaje indicando que se debe posicionar la plantilla de calibración. Luego de unos instantes se muestra la secuencia de video en vivo, se ubica la plantilla de calibración y al presionar el botón *Calibrar* el sistema queda calibrado y el botón *Inicio* se habilita.



Figura 6.68 Prueba de calibración
Fuente: Investigador

Prueba de control de calidad

Para llevar a cabo esta prueba se coloca una botella con un nivel de subllenado, lo cual implica que esta será rechazada por el sistema como se muestra en la Figura 6.69.



Figura 6.69 Prueba de control de calidad - botella con nivel de subllenado
Fuente: Investigador

Se coloca una botella con un nivel de sobrellenado, esta botella es aceptada por el sistema como se muestra en la Figura 6.70.



Figura 6.70 Prueba de control de calidad - botella con nivel de sobrellenado
Fuente: Investigador

En las Figuras 6.69 y 6.70 se puede observar como se ha incrementado el valor de los contadores.

Prueba de clasificación

En la Figura 6.71 se observa la manipulación y clasificación efectuada por el Scorbot ER-4u.



Figura 6.71 Prueba de clasificación
Fuente: Investigador

Administración

Cronograma de actividades

En la Figura 6.72 se puede apreciar el cronograma de actividades utilizado en el desarrollo de la propuesta.

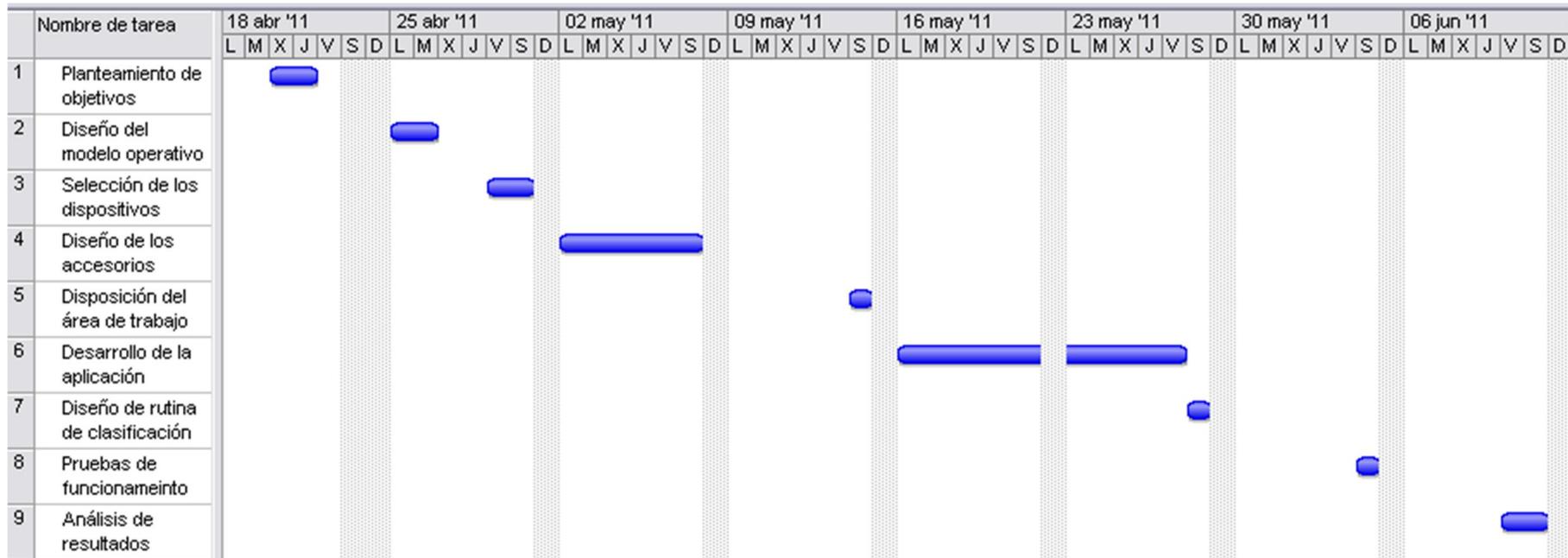


Figura 6.72 Cronograma de actividades
Fuente: Investigador

Costos

En la Tabla 6.4 se muestra el detalle de costos de los dispositivos y materiales utilizados en el proyecto.

Tabla 6.4 Detalle de costos

<i>Ítem</i>	<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio unitario</i>	<i>Subtotal</i>
1	Webcam Omega 362348	1	15,00	15,00
2	Estructura del soporte ajustable	1	15,00	15,00
3	Estructura de la lámpara	1	20,00	20,00
4	Guía	2	3,00	6,00
5	Caja de clasificación	2	0,50	1,00
6	Tornillo de 1/4" * 3"	2	0,15	0,30
7	Tornillo Allen de 5/32" * 5/8"	4	0,10	0,40
8	Arandela plana de 5/32"	6	0,02	0,12
9	Arandela de presión de 5/32"	6	0,30	1,80
10	Lámina de acrílico blanco de 3mm	1	2,00	2,00
11	Boquilla de porcelana	1	0,50	0,50
12	Foco ahorrador de 20w	1	3,00	3,00
13	Cable AWG (m)	2	0,60	1,20
14	Cable UTP (m)	1	0,80	0,80
15	Cinta adhesiva masking	1	0,50	0,50
TOTAL				67,62

Fuente: Investigador

Cabe indicar que en la tabla solamente figuran aquellos ítems que fueron adquiridos, ya que como se había mencionado anteriormente, algunos equipos y dispositivos fueron proporcionados por el laboratorio de la FISEI de la Universidad Técnica de Ambato, bajo autorización.

Conclusiones y recomendaciones de la propuesta

Conclusiones

- ✓ El objetivo principal de este proyecto, que fue el diseño de un sistema de visión artificial fue alcanzado con éxito, desarrollando un sistema que logre identificar el nivel de llenado en botellas de Coca Cola de 250ml y las clasifique de acuerdo a los parámetros de control de calidad establecidos.

- ✓ El sistema diseñado brinda una perspectiva más clara de los alcances que tiene la tecnología basada en visión artificial. A diferencia de los métodos tradicionales, este sistema permite inspeccionar el 100% de la producción, eliminando cualquier posibilidad de error que pueda afectar la satisfacción del cliente.
- ✓ Se ha desarrolladoLa aplicación posee contadores automáticos que almacenan datos sobre el estado actual de la inspección. Esta información puede ser muy útil para crear reportes o realizar un análisis de productividad.
- ✓ El plástico de la botella es un material que refleja cierta cantidad de luz, lo cual podría convertirse en un problema al momento de analizar la imagen. Este inconveniente fue resuelto utilizando la técnica de iluminación posterior, eliminando así los reflejos.
- ✓ El sistema de inspección fue desarrollado contemplando las necesidades reales de la industria, logrando determinar los parámetros de control de calidad más adecuados para favorecer la productividad.
- ✓ Debido a que no existe una forma concreta de encarar un problema con visión artificial, se ha desarrollado una propuesta realizando varias pruebas logrando determinar las herramientas y técnicas que más se ajustan a este problema.
- ✓ El prototipo presenta un leve margen de error en la medición, atribuido principalmente a las características técnicas de la cámara utilizada, debido a que esta no ha sido diseñada para este propósito.

Recomendaciones

- ✓ Al seleccionar los dispositivos, se recomienda observar detenidamente las características técnicas en los manuales y hojas de datos para verificar que los elementos sean compatibles entre sí.
- ✓ Las variaciones en la iluminación son percibidas por el sistema como variaciones en los objetos. Es necesario conseguir una iluminación estable que resalte las características de los elementos que van a ser analizadas, evitando crear sombras y reflejos.
- ✓ Al diseñar una interfaz hombre máquina (HMI) se recomienda optimizar el rendimiento de la misma. Esto se logra principalmente utilizando las

funciones y herramientas que son realmente necesarias. Se debe considerar que cada control consume memoria RAM y capacidad de procesamiento; una interfaz con demasiados controles puede ocasionar inestabilidad en el sistema operativo.

- ✓ Para obtener mayor precisión se recomienda trabajar con imágenes de alta calidad. Si se intenta mejorar la calidad de la imagen con algoritmos complejos es muy probable que se ralentice el sistema y no se logre resolver completamente el problema.
- ✓ Se sugiere realizar varias pruebas de funcionamiento considerando todos los eventos que podrían suscitarse. Estas pruebas permiten detectar errores y corregirlos a tiempo, optimizando así el funcionamiento del sistema.
- ✓ Si se desea implementar este sistema en una línea de producción a nivel industrial se recomienda reemplazar la webcam por una cámara industrial ya que esta no está diseñada para trabajar en ambientes hostiles.
- ✓ Se recomienda leer la guía de instalación para no tener complicaciones al momento de implementar el sistema de visión artificial propuesto.

MATERIALES DE REFERENCIA

BIBLIOGRAFÍA

1. *Aspectos de un Sistema de Visión Artificial* [en línea]. Universidad Nacional de Quilmes. Ing. en Automatización y Control Industrial. Octubre de 2005 [consulta: enero 20 de 2011]. Disponible en Web: <<http://iaci.unq.edu.ar/materias/vision/archivos/apuntes/Aspectos%20de%20un%20Proyecto%20de%20Visi%C3%B3n%20Artificial.pdf>>
2. *Filtrado Espacial* [en línea]. Universidad Nacional de Quilmes. Ing. en Automatización y Control Industrial. Septiembre de 2005 [consulta: 20 de enero de 2011]. Disponible en Web: <<http://iaci.unq.edu.ar/Materias/vision/archivos/apuntes/Filtrado%20Espacial.pdf>>
3. **HORNBERG**, Alexander. *Handbook Of Machine Vision*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co KGaA , 2006. 798 p.
4. **GONZALEZ**, Rafael C.; **WOODS**, Richard E. *Digital Image Processing*. Second edition. Upper Saddle River, New Jersey 07458: Prentice Hall, 2002. 793 p.
5. *IMAQ Vision Concepts Manual* [en línea]. National Instruments Corporation. Enero de 2005 [consulta: 20 de febrero de 2011]. Disponible en Web: <<http://www.ni.com/pdf/manuals/322916a.pdf>>
6. **KLINGER**, Thomas. *Image Processing With Labview And Imaq Vision*. Upper Saddle River, New Jersey 07458: Prentice Hall, 2003. 319 p.
7. **MINCHALA**, Ismael A. *Procesamiento Digital de Imágenes*. Ambato: agosto de 2008. (Presentado en: Curso de procesamiento digital de imágenes basadas en computador: del 19 al 23 de agosto de 2008).
8. *Nueve Pasos para Crear Exitosamente una Máquina de Visión* [en línea]. National Instruments Corporation [consulta: 22 de febrero de 2011]. Disponible en Web: <<http://digital.ni.com/worldwide/latam.nsf/web/all/AB1E7073072CD16E86256F49006EC429>>

9. **RUSS**, John C. *The Image Processing Handbook*. Third edition. 2000 N.W. Corporate Blvd., Boca Raton, Florida: CRC Press LLC, 1999. 984 p.
10. *Sistemas de llenado para el sector bebidas* [en línea]. CL-BEV-ES Rev. 1.0-090. OCME Competence Library [consulta: 24 de febrero de 2011]. Disponible en Web: http://www.ocme.it/adm/Media/gallery/Llenadora_es.pdf
11. *Visión artificial y reconocimiento de patrones* [en línea]. Neural Labs, s.l. Octubre de 2005 [consulta: 28 de febrero de 2011]. Disponible en Web: <http://www.neurallabs.net/en/articulos-y-publicaciones/Articulos-de-interes/Introduccion-a-la-Vision-Artificial-y-al-Reconocimiento-de-Patrones/view.html>

ANEXOS

Anexo A.- Características técnicas de los dispositivos

NI USB-6009

DAQ Multifunción de Bajo Costo de 14 Bits, 48 kS/s



[Hacer Zoom/Imágenes Alternas](#)

- ◆ 8 entradas analógicas (14 bits, 48 kS/s)
- ◆ 2 salidas analógicas (12 bits a 150 S/s), 12 E/S digitales; contador de 32 bits
- ◆ Energizado por bus para una mayor movilidad, conectividad de señal integrada
- ◆ La versión OEM está disponible
- ◆ Compatible con LabVIEW, LabWindows/CVI y Measurement Studio para Visual Studio .NET
- ◆ Software controlador NI-DAQmx y software interactivo NI LabVIEW SignalExpress LE para registro de datos

Resumen de Especificaciones

General	
Producto	USB-6009
Familia de Productos	DAQ Multifunción
Formato Físico	USB
Número de Parte	779026-01
Sistema Operativo/Objetivo	Linux , Mac OS , Pocket PC , Windows
Familia de Productos DAQ	Serie B
Tipos de Medida	Voltaje
Compatibilidad con RoHS	Sí
Entrada Analógica	
Canales	4 , 8
Canales de una sola terminal	8
Canales Diferenciales	4
Resolución	14 bits

Velocidad de Muestreo	48 kS/s
Rendimiento	48 kS/s
Máx. Voltaje de Entrada Analógica	10 V
Rango de Voltaje Máximo	-10 V , 10 V
Precisión Máxima del Rango de Voltaje	138 mV
Rango de Voltaje Mínimo	-1 V , 1 V
Mínima Precisión del Rango de Voltaje	37.5 mV
Número de Rangos	8
Muestreo Simultáneo	No
Memoria Interna	512 B
Salida Analógica	
Canales	2
Resolución	12 bits
Máx. Voltaje de Salida Analógica	5 V
Rango de Voltaje Máximo	0 V , 5 V
Precisión Máxima del Rango de Voltaje	7 mV
Rango de Voltaje Mínimo	0 V , 5 V
Mínima Precisión del Rango de Voltaje	7 mV
Razón de Actualización	150 S/s
Capacidad de Corriente Simple	5 mA
Capacidad de Corriente Total	10 mA
E/S Digital	
Canales Bidireccionales	12
Canales de Entrada Únicamente	0
Canales de Salida Únicamente	0
Número de Canales	0 , 12
Temporización	Software

Niveles Lógicos	TTL
Entrada de Flujo de Corriente	Sinking , Sourcing
Salida de Flujo de Corriente	Sourcing , Sinking
Filtros de Entrada Programables	No
¿Soporta Estados de Encendido Programables?	No
Capacidad de Corriente Simple	8.5 mA
Capacidad de Corriente Total	102 mA
Temporizador Watchdog	No
¿Soporta Protocolo de Sincronización para E/S?	No
¿Soporta E/S de Patrones?	No
Máximo Rango de Entrada	0 V , 5 V
Máximo Rango de Salida	0 V , 5 V
Contadores/Temporizadores	
Número de Contadores/Temporizadores	1
Operaciones a Búfer	No
Eliminación de Rebotes	No
Sincronización GPS	No
Rango Máximo	0 V , 5 V
Frecuencia Máxima de la Fuente	5 MHz
Entrada Mínima de Ancho de Pulso	100 ns
Generación de Pulso	No
Resolución	32 bits
Estabilidad de Tiempo	50 ppm
Niveles Lógicos	TTL
Especificaciones Físicas	
Longitud	8.51 cm
Ancho	8.18 cm

Altura	2.31 cm
Conector de E/S	Terminales de tornillo
Temporización/Disparo/Sincronización	
Disparo	Digital
Bus de Sincronización (RTSI)	No

<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/201987>


[Products](#)
[Branch](#)
[Support](#)
[Information](#)
[About us](#)
[Contact](#)
[HOME](#)
[EMAIL](#)


»Webcam

Item No. 362348

[description](#)
[download](#)
Description

- High definition photos
- Multi-clip
- Pan, Tilt and Zoom
- Video effects
- Up to 30 frames per second live video
- Built-in microphone
- Adjustable manual 360° focus
- Auto exposure / White balance / Color control
- Superior low-light performance by 6 LED light

Specification

- Interface: USB 2.0 (backward compatible with USB 1.1)
- Image Resolution: Motion video- 300K up to 2.0M pixel
Still image- 300K up to 5.0M pixel
- Video Capture: 640*480 up to 1600*1200
- Sensor: CMOS image sensor
- Lens: 2-element glass lens
- Focus: manual focus ring
- Digital Zoom: 10 X digital zoom
- Video Format: 24 bit true color
- Image Distance: 3 cm to infinity

Especificaciones del SCORBOT-ER 4u

Brazo mecánico

Estructura mecánica	Brazo vertical articulado; estructura abierta
Grados de libertad	5 ejes rotacionales y pinza
Capacidad de carga	2,1 kg.
Movimiento de los ejes	
Eje 1: Base	310°
Eje 2: Brazo inferior	+130° / -35°
Eje 3: Brazo superior	+130°
Eje 4: Elevación pinza	+130°
Eje 5: Giro pinza	±570°
Alcance	610 mm. con pinza
Velocidad	700 mm/seg.
Repetibilidad	± 0.18 mm.
Realimentación	Enconders ópticos incrementales
Home	Microinterruptor en cada eje
Actuadores	Servomotores 12 V DC en cada eje
Pinza	Servomotor DC, 2 dedos paralelos
Abertura de la pinza	65/75 mm con/sin almohadillas de goma
Transmisión	Engranaje correa dentada
Peso	10,8 kg.

Controlador

Comunicación	USB tipo A cable conexión al PC; Plug and play sin arrancar
Entradas / Salidas	8 entradas digitales; 4 entradas analógicas; 8 salidas digitales (4 relés, 4 colector abierto); 2 salidas analógicas
Microcontrolador	NEC V853 RISC 32-bit
Servo Control de Ejes	Tiempo-real; PID; PWM
Número de servo ejes	8 (brazo del robot, pinza y 2 periféricos)
Memoria de usuario	Programas, líneas de programa, variables y posiciones ilimitadas
Definición de Posición	Absoluta, Relativa, Cartesiana, Ejes (Joints), Encoders
Control de Trayectoria	Ejes (Joint), Lineal, Circular
Definición de Velocidad (soft.)	10 configuraciones de velocidad; definición del tiempo de movimiento
Parámetros de Control	160 parámetros accesibles para el usuario
Características de seguridad	Interruptor de emergencia; protección cortacircuitos; cierre automático en detección de impacto, sobrecalentamiento, fallo del PC ó error de comunicación

Software

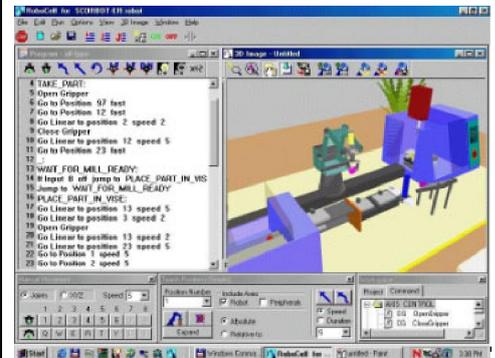
- Software de control y programación de robótica **SCORBASE**
- Software de simulación gráfica en 3D **Robocell** (opcional), permite diseño offline, simulación de células virtuales con robots y el seguimiento gráfico online de la célula actual

Accesorios (opcional)

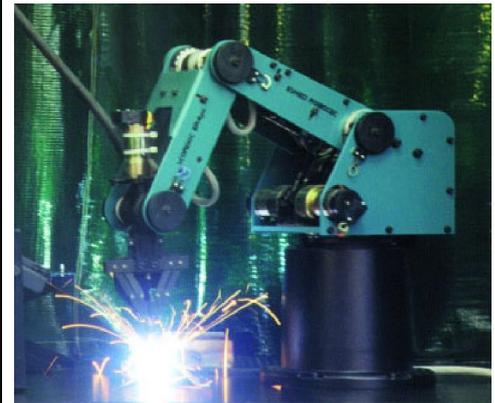
Botonera de enseñanza, cintas transportadoras, mesas giratorias, bases lineales, mesas XY, alimentadores de piezas, sensores, mesas de experimentos I/O, pinzas neumáticas, elementos terminales, sistemas de visión, bancos de trabajo

Manuales y Currículum

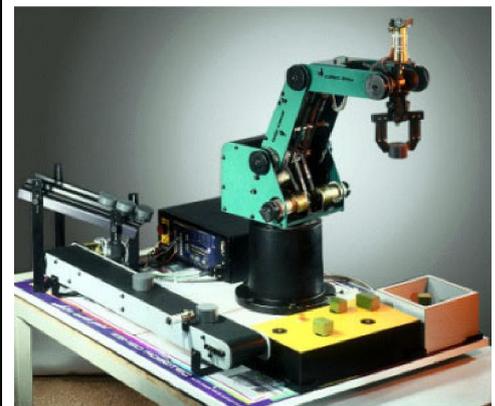
Manuales de usuario para todos los componentes del sistema y el software.



Los alumnos usan el modo offline del software de simulación gráfica en 3D **Robocell** para diseñar, programar y ejecutar ilimitadas aplicaciones industriales simuladas, obteniendo una experiencia práctica.



Los alumnos programan y practican las técnicas de soldadura en modo simulación y luego ejecutan en modo online aplicaciones de soldadura automatizada usando la **célula de soldadura automatizada**.



Los alumnos aprenden a programar y usar el SCORBOT-ER 4u y las E/S y servos auxiliares usando **células de trabajo de manejo de materiales con robots** tanto actuales como simuladas.

Distribuido por:



Soluciones Tecnológicas Integradas S.L.

www.stieducacion.com sti@sti-sl.es

902 102 368

Parque Tecnológico Cogullada
Carretera Cogullada, 20
Nave 23 B – 50014 Zaragoza

DELEGACIONES EN TODO EL TERRITORIO NACIONAL



Products

Home > Products > Education > Robots > Accessories > Linear conveyor

E-Learning Content and LMS

CNC

Robots

- [Educational Robots](#)
- [Industrial Robots](#)
- [VEX](#)
- [Robotics Software](#)
- [Accessories](#)
- [Upgrades for Robots](#)

Rapid Prototyping

Mechatronics

Industrial Maintenance

FMS

CIM

Software

Agriculture

Used Equipment

Linear conveyor

Description

Specification



[Enlarge Picture](#)

[Complementary Products](#)

Design

- Metal base, heavy duty PVC belt
- Dimensions: L=805 mm, W=100 mm, H=100 mm (L=31.7", W=4", H=4")
- Belt width: 90 mm (3.5")
- Adjustable side supports enable tilting of conveyor up to 5° angle
- Predrilled holes enable sensor attachment to conveyor, and conveyor attachment to workbench

Drive and control

- 24 VDC motor with high resolution optical encoder
- Controlled by axis driver in robot controller via software
- Can be operated in open-loop by connecting directly to a ±24 V power supply
- Variable travel speed

Additional components

- 2.5 m (98") cable with D9 connector for connection to axis driver in controller

Safety

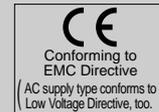
- Certified for CE safety compliance.

CY SERIES

Cylindrical Photoelectric Sensor **Amplifier Built-in**

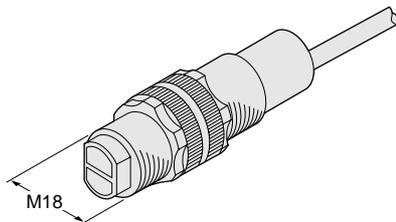


Cylindrical type easily mountable with M18 thread



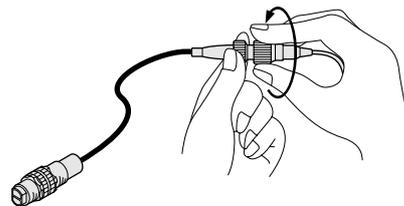
M18 thread

This sensor has an M18 thread size for convenient mounting.



Easy to replace

A pigtailed type sensor with connector (CY-□-J), which is easy to replace, is also available.

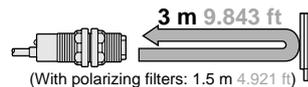


Long sensing range

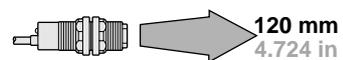
Thru-beam type



Retroreflective type



Diffuse reflective type



Wide product range

Supply voltage

- ① AC supply type (24 to 240 V AC)
- ② DC supply type (10 to 30 V DC)

Output

- ① NPN open-collector transistor
- ② PNP open-collector transistor
- ③ AC non-contact (thyristor) output

Connection

- ① Cable type
- ② Pigtailed type

A total of 32 models are available.

Environment resistant

Its IP67 construction can be hosed down with water. In addition, it has strong resistance against vibration since it is filled up with resin.

The connector also has IP67 protection.



Note: However, take care that if it is exposed to water splashes during operation, it may detect a water drop itself.

Convenient options

Side-view attachment (For thru-beam type sensors only)

The beam is bent at a right angle with the side-view attachment.



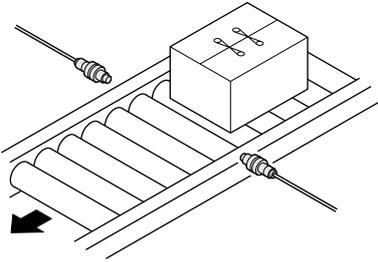
Slit mask (For thru-beam type sensors only)

It is convenient for detecting small objects or enhancing the sensing accuracy.

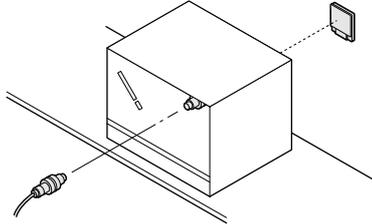


APPLICATIONS

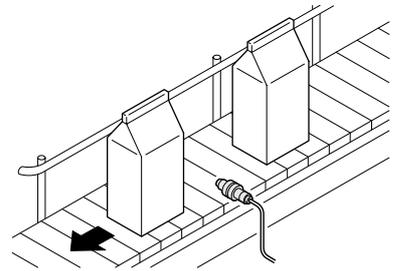
Sensing cardboard boxes



Sensing specular objects



Sensing milk packs



ORDER GUIDE

Type	Appearance	Sensing range	Model No.	Supply voltage	Output	Output operation
DC supply type	Thru-beam	12 m 39.370 ft	CY-21	10 to 30 V DC	NPN open-collector transistor	Selectable either Light-ON or Dark-ON by the control input
			CY-21-PN		PNP open-collector transistor	
	Retroreflective	3 m 9.843 ft (Note)	CY-27		NPN open-collector transistor	
			CY-27-PN		PNP open-collector transistor	
			With polarizing filters		1.5 m 4.921 ft (Note)	
	CY-29-PN	PNP open-collector transistor				
Diffuse reflective	120 mm 4.724 in	CY-22	NPN open-collector transistor			
		CY-22-PN	PNP open-collector transistor			
AC supply type	Thru-beam	12 m 39.370 ft	CY-11A	24 to 240 V AC ± 10 %	AC non-contact (thyristor) output	Light-ON
			CY-11B			Dark-ON
	Retroreflective	3 m 9.843 ft (Note)	CY-17A			Light-ON
			CY-17B			Dark-ON
			With polarizing filters			1.5 m 4.921 ft (Note)
	CY-19B	Dark-ON				
	Diffuse reflective	120 mm 4.724 in	CY-12A			Light-ON
			CY-12B			Dark-ON

NOTE: Reflector is not supplied with the retroreflective type sensor. Please select the suitable reflector or reflective tape from the options.

Note: The sensing range of the retroreflective type sensor is specified for the RF-230 reflector (optional).

Amplifier Built-in

CY

PX-2

RT-610

MS-AJ

PM

PM2

NX5

VF

EQ-500

SPECIFICATIONS

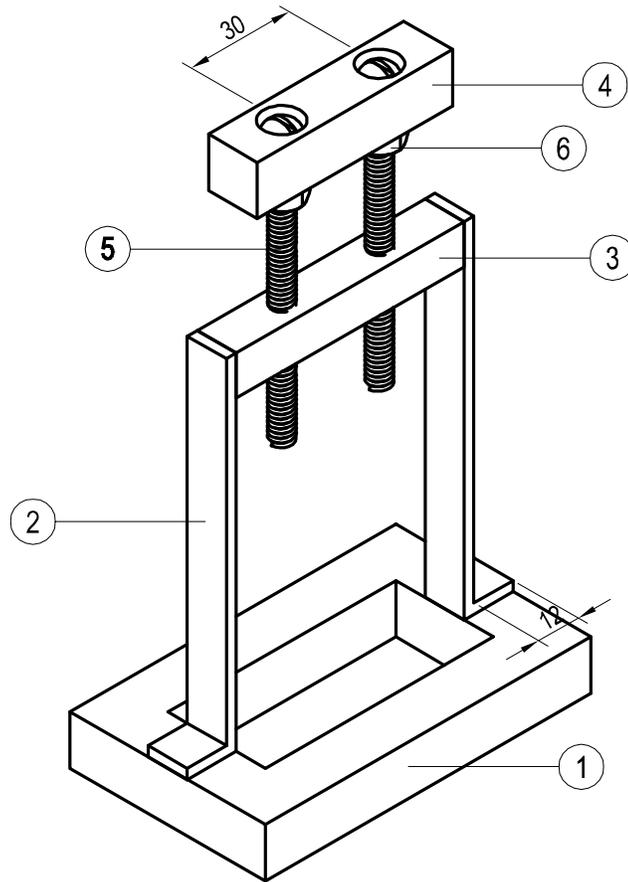
DC supply type

Item	Model No.	Type	Retroreflective			Diffuse reflective
			Thru-beam		With polarizing filters	
		NPN output type	CY-21	CY-27	CY-29	CY-22
		PNP output type	CY-21-PN	CY-27-PN	CY-29-PN	CY-22-PN
Sensing range			12 m 39.370 ft	3 m 9.843 ft (Note 1)	1.5 m 4.921 ft (Note 1)	120 mm 4.724 in (Note 2)
Sensing object			φ8 mm φ0.315 in or more opaque object	φ50 mm φ1.969 in or more opaque or translucent object (Note 1)	φ50 mm φ1.969 in or more opaque, translucent or specular object (Note 1)	Opaque, translucent or transparent object
Hysteresis			—————			15 % or less of operation distance
Repeatability (perpendicular to sensing axis)			0.1 mm 0.004 in or less			0.3 mm 0.012 in or less
Supply voltage			10 to 30 V DC Ripple P-P 10 % or less			
Current consumption			Emitter: 20 mA or less Receiver: 25 mA or less	25 mA or less		
Output			<NPN output type> NPN open-collector transistor • Maximum sink current: 100 mA • Applied voltage: 30 V DC or less (between output and 0 V) • Residual voltage: 1.5 V or less (at 100 mA sink current)		<PNP output type> PNP open-collector transistor • Maximum source current: 100 mA • Applied voltage: 30 V DC or less (between output and + V) • Residual voltage: 1.5 V or less (at 100 mA source current)	
	Utilization category		DC-12 or DC-13			
	Output operation		Selectable either Light-ON or Dark-ON by the control input			
	Short-circuit protection		Incorporated			
Response time			2 ms or less			
Test input (emission halt) function			Incorporated	—————		
Operation indicator			Red LED (lights up when the output is ON)			
Emission indicator			Red LED (lights up during beam emission)	—————		
Environmental resistance	Pollution degree		3 (Industrial environment)			
	Protection		IP67 (IEC)			
	Ambient temperature		- 25 to + 55 °C - 13 to + 131 °F (No dew condensation or icing allowed), Storage: - 30 to + 70°C - 22 to + 158 °F			
	Ambient humidity		35 to 85 % RH, Storage: 35 to 85 % RH			
	Ambient illuminance		Sunlight: 10,000 lx at the light-receiving face, Incandescent light: 3,000 lx at the light-receiving face			
	EMC		EN 50081-2, EN 50082-2, EN 60947-5-2			
	Voltage withstandability		1,000 V AC for one min. between all supply terminals connected together and enclosure			
	Insulation resistance		20 MΩ, or more, with 250 V DC megger between all supply terminals connected together and enclosure			
	Vibration resistance		10 to 500 Hz frequency, 1.5 mm 0.059 in amplitude (10 G max.) in X, Y and Z directions for two hours each			
Shock resistance		500 m/s ² acceleration (50 G approx.) in X, Y and Z directions for three times each				
Emitting element			Infrared LED (modulated)	Red LED (modulated)	Infrared LED (modulated)	
Material			Enclosure: PBT, Lens: Polycarbonate		Enclosure: PBT, Front cover: Acrylic	
Cable			0.34 mm ² 4-core (thru-beam type emitter: 3-core) cabtyre cable, 2 m 6.562 ft long			
Cable extension			Extension up to total 100 m 328.084 ft is possible with 0.34 mm ² , or more, cable (thru-beam type: both emitter and receiver).			
Weight			Emitter: 90 g approx. Receiver: 100 g approx.	100 g approx.		
Accessories			Nut: 4 pcs.		Nut: 2 pcs.	

NOTE: Reflector is not supplied with the retroreflective type sensor. Please select the suitable reflector or reflective tape from the options.

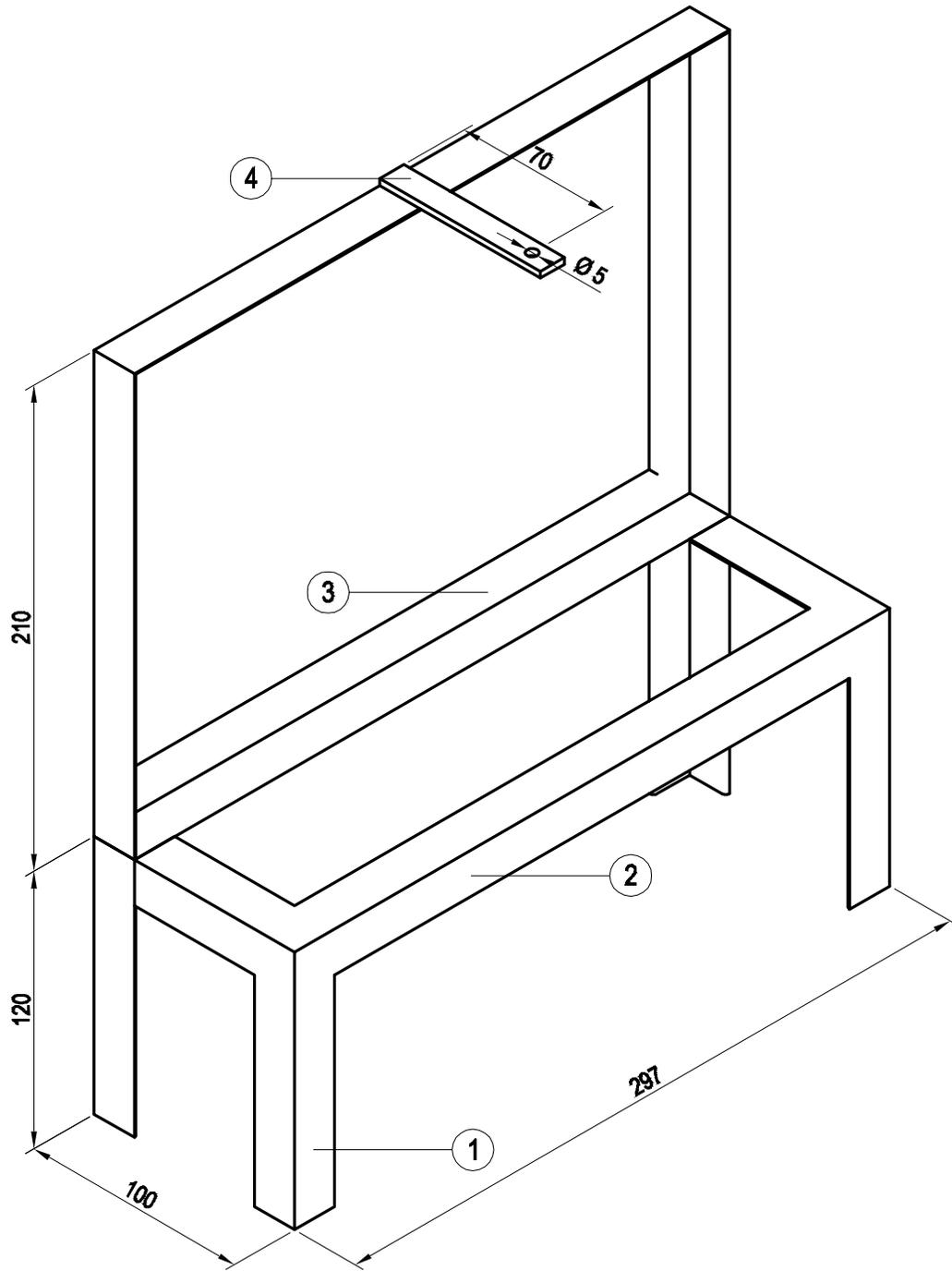
Notes: 1) The sensing range and the sensing object of the retroreflective type sensor are specified for the **RF-230** reflector (optional).
 2) The sensing range of the diffuse reflective type sensor is specified for white non-glossy paper (200 × 200 mm 7.874 × 7.874 in) as the object.

Anexo B.- Planos de los Accesorios



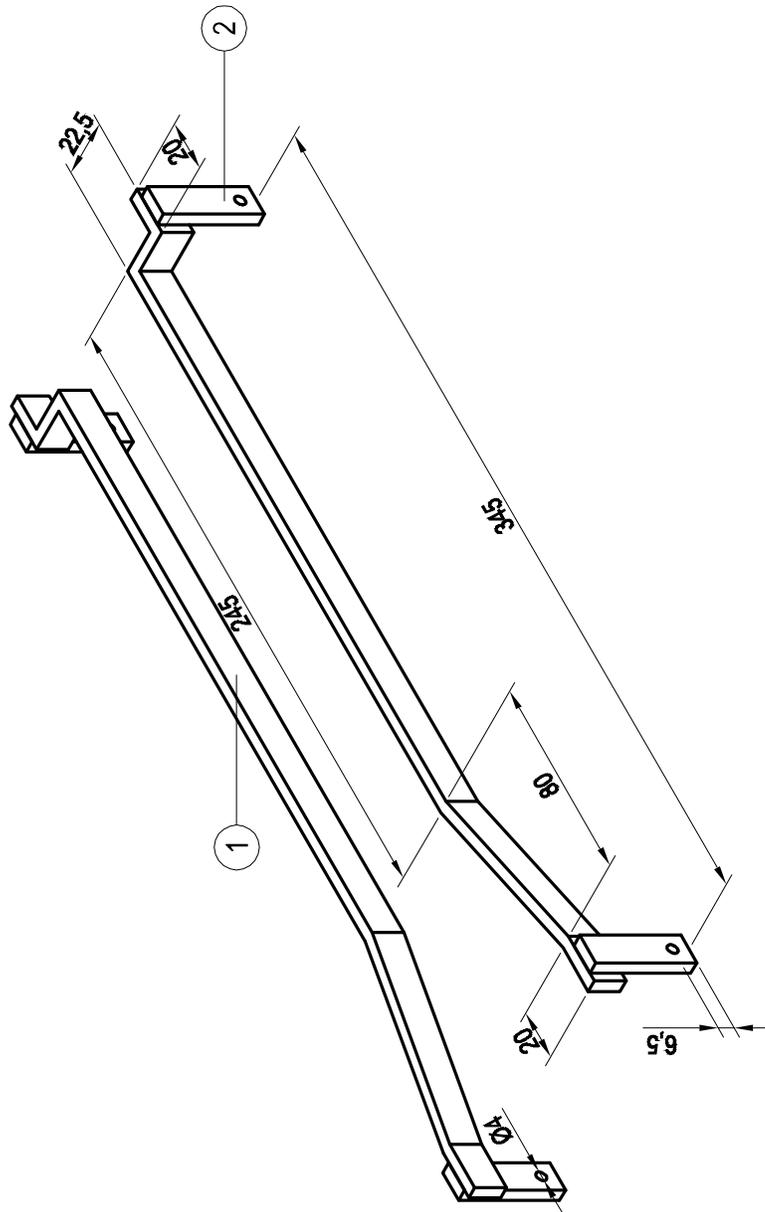
6	Tuerca	2	1/4"	-----	Adquirido
5	Tornillo	2	1/4" x 3"	-----	Adquirido
4	Apoyo móvil	1	60	BC 15	Perforado
3	Apoyo fijo	1	70	BC 12	Roscado
2	Apoyo lateral	2	120	PL 12 x 3	Doblado
1	Base	1	100 x 60	BC 15	Soldado
Nº	DENOMINACIÓN	Cnt.	DIMENSIÓN	MATERIAL	OBSERVACIÓN

Trat. Térmico	Ninguno		UTA	Carera de Ingeniería Industrial y Procesos de Automatización	
Recubrimiento	Pintura negra (mate)				
Material:	Hierro Fundido	Tolerancia General ±0.5	Escala: 1:2	Dib:	Juan Pablo Cáceres
				Dis:	Juan Pablo Cáceres
				Rev:	Ing. Luis Pomaquero

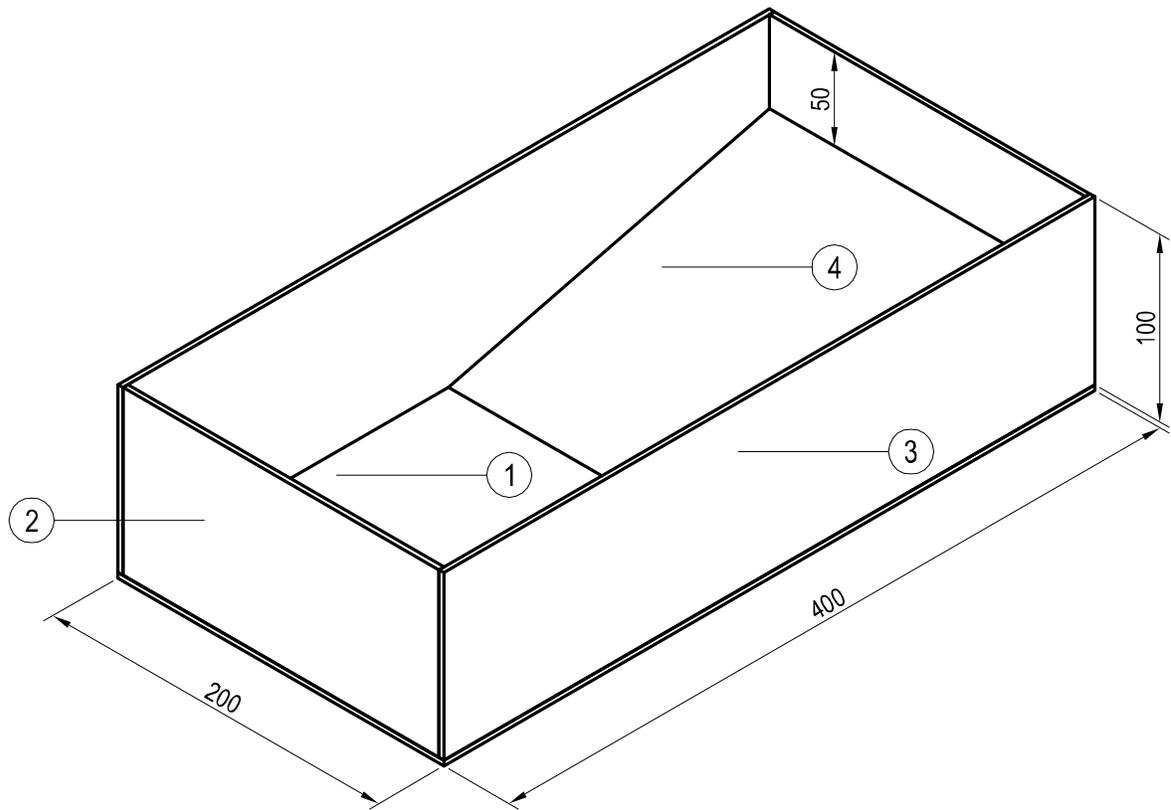


4	Soporte foco	1	80	PL 12 x 3	Perforado
3	Marco	1	297 x 210	AL 20 x 3	Soldado
2	Soporte	1	297 x 100	AL 20 x 3	Soldado
1	Pata	4	100	AL 20 x 3	Soldado
Nº	DENOMINACIÓN	Cnt.	DIMENSIÓN	MATERIAL	OBSERVACIÓN

Trat. Térmico	Ninguno		UTA	Carera de Ingeniería Industrial y Procesos de Automatización	
Recubrimiento	Pintura negra (mate)				
Material:	Hierro Fundido	Tolerancia General ±0.5	Escala: 1:3	Dib:	Juan Pablo Cáceres
				Dis:	Juan Pablo Cáceres
				Rev:	Ing. Luis Pomaquero



2	Soporte	4	40	PL 12 x 3	Perforado
1	Asidero	2	385	PL 12 x 3	Doblado
Nº	DENOMINACIÓN	Cnt.	DIMENSIÓN	MATERIAL	OBSERVACIÓN
Trat. Térmico		Ninguno		UTA	Carera de Ingeniería Industrial y Procesos de Automatización
Recubrimiento		Pintura negra (mate)			
Material: Hierro Fundido			Tolerancia General ±0.5	Escala: 1:3	Dib: Juan Pablo Cáceres Dis: Juan Pablo Cáceres Rev: Ing. Luis Pomaquero

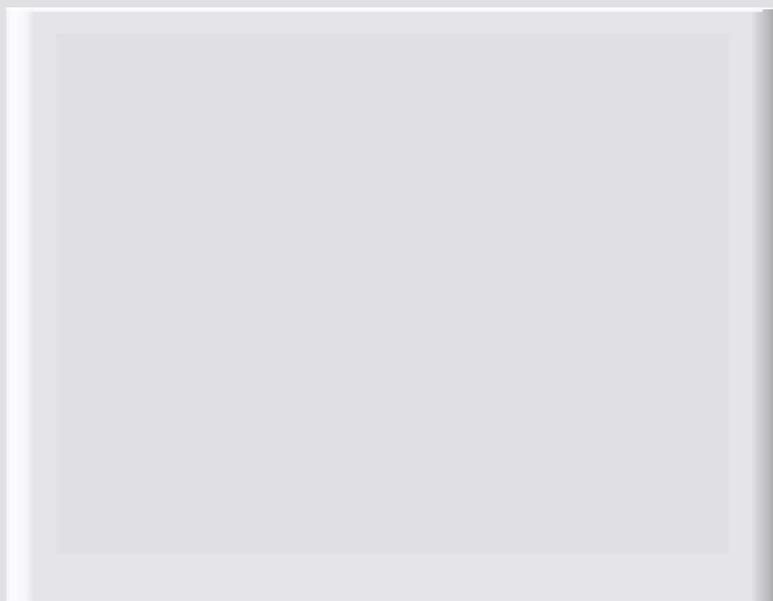


4	Rampa	1	200 x 190	-----	Pegado
3	Tapa lateral	2	390 x 100	-----	Pegado
2	Tapa frontal	2	190 x 100	-----	Pegado
1	Base	4	400 x 200	-----	Pegado
Nº	DENOMINACIÓN	Cnt.	DIMENSIÓN	MATERIAL	OBSERVACIÓN
Trat. Térmico		Ninguno		UTA	Carera de Ingeniería Industrial y Procesos de Automatización
Recubrimiento		Pintura negra (mate)			
Material: Cartón de 5mm		Tolerancia General ± 1	Escala: 1:4	Dib:	Juan Pablo Cáceres
				Dis:	Juan Pablo Cáceres
				Rev:	Ing. Luis Pomaquero

Anexo C.- Código de la aplicación en LabVIEW



SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA INSPECCIÓN DEL NIVEL DE LLENADO DE BEBIDAS EMBOTELLADAS



Elementos Inspeccionados

0

Aceptados

0

Rechazados

0

ESTADO



RECHAZADO

Distancia (mm)

0

Calibrar

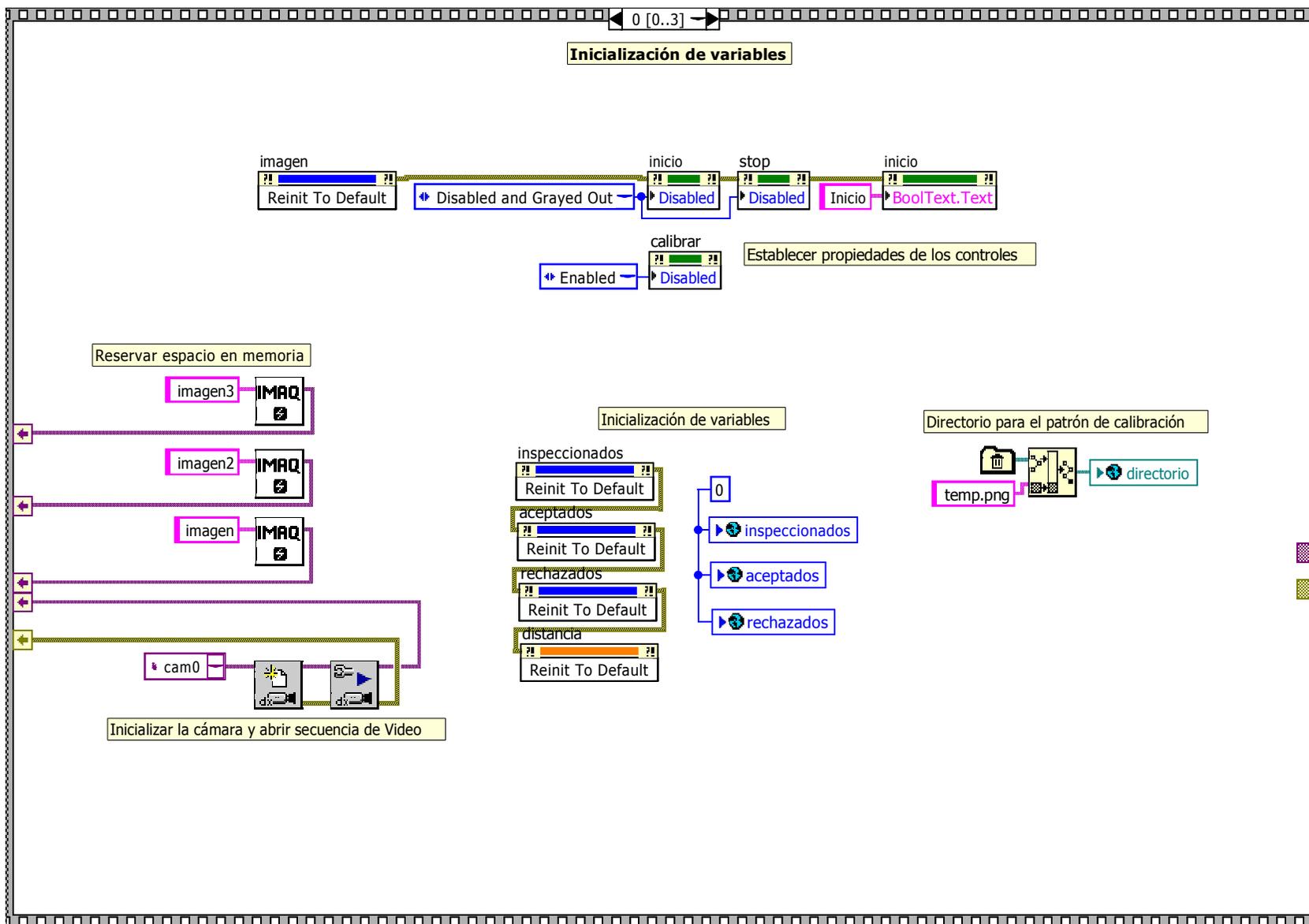
Inicio

STOP

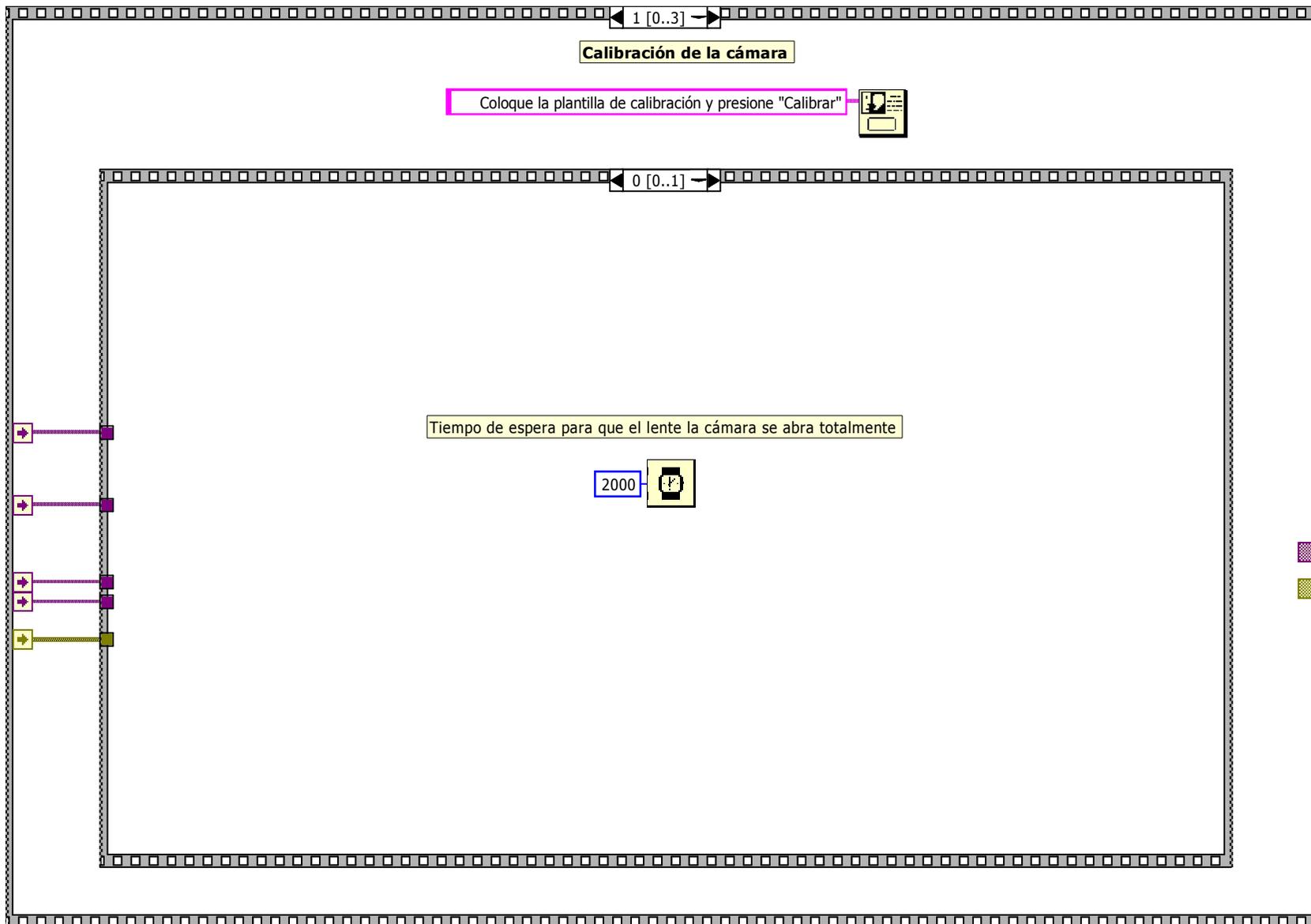
Salir



Principal.vi
D:\DOCUMENTOS\Juan Pablo\PROYECTOS\Tesis\Programa\LabVIEW\Principal.vi
Last modified on 22/06/2011 at 13:06
Printed on 22/06/2011 at 13:09

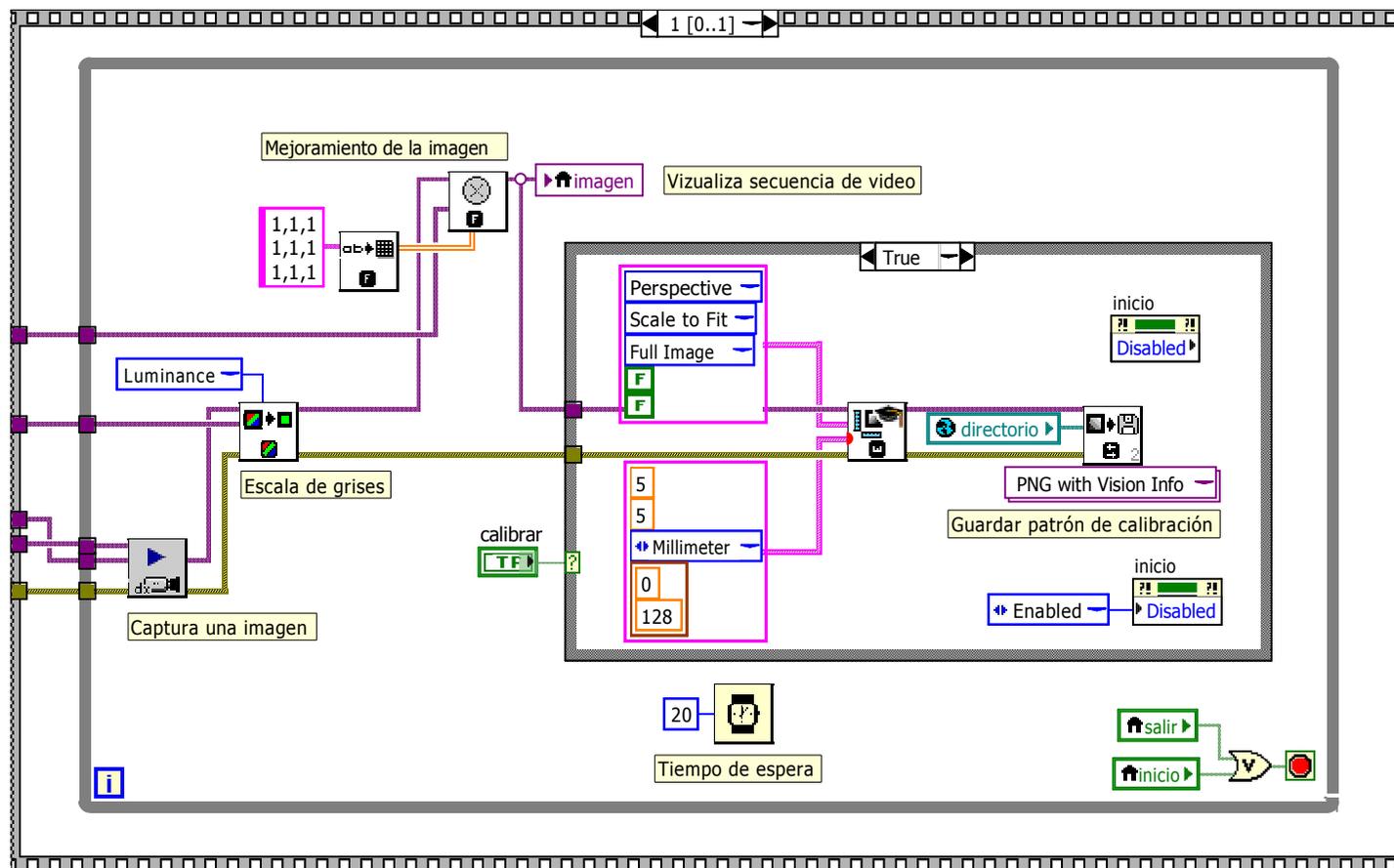


Principal.vi
D:\DOCUMENTOS\Juan Pablo\PROYECTOS\Tesis\Programa\LabVIEW\Principal.vi
Last modified on 22/06/2011 at 13:06
Printed on 22/06/2011 at 13:09



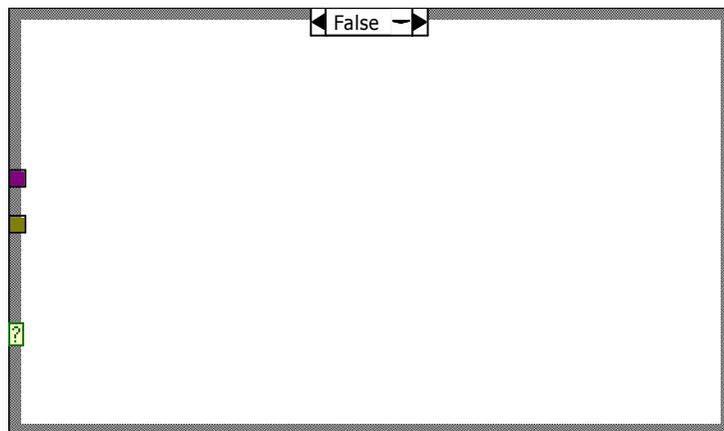


Principal.vi
D:\DOCUMENTOS\Juan Pablo\PROYECTOS\Tesis\Programa\LabVIEW\Principal.vi
Last modified on 22/06/2011 at 13:06
Printed on 22/06/2011 at 13:09

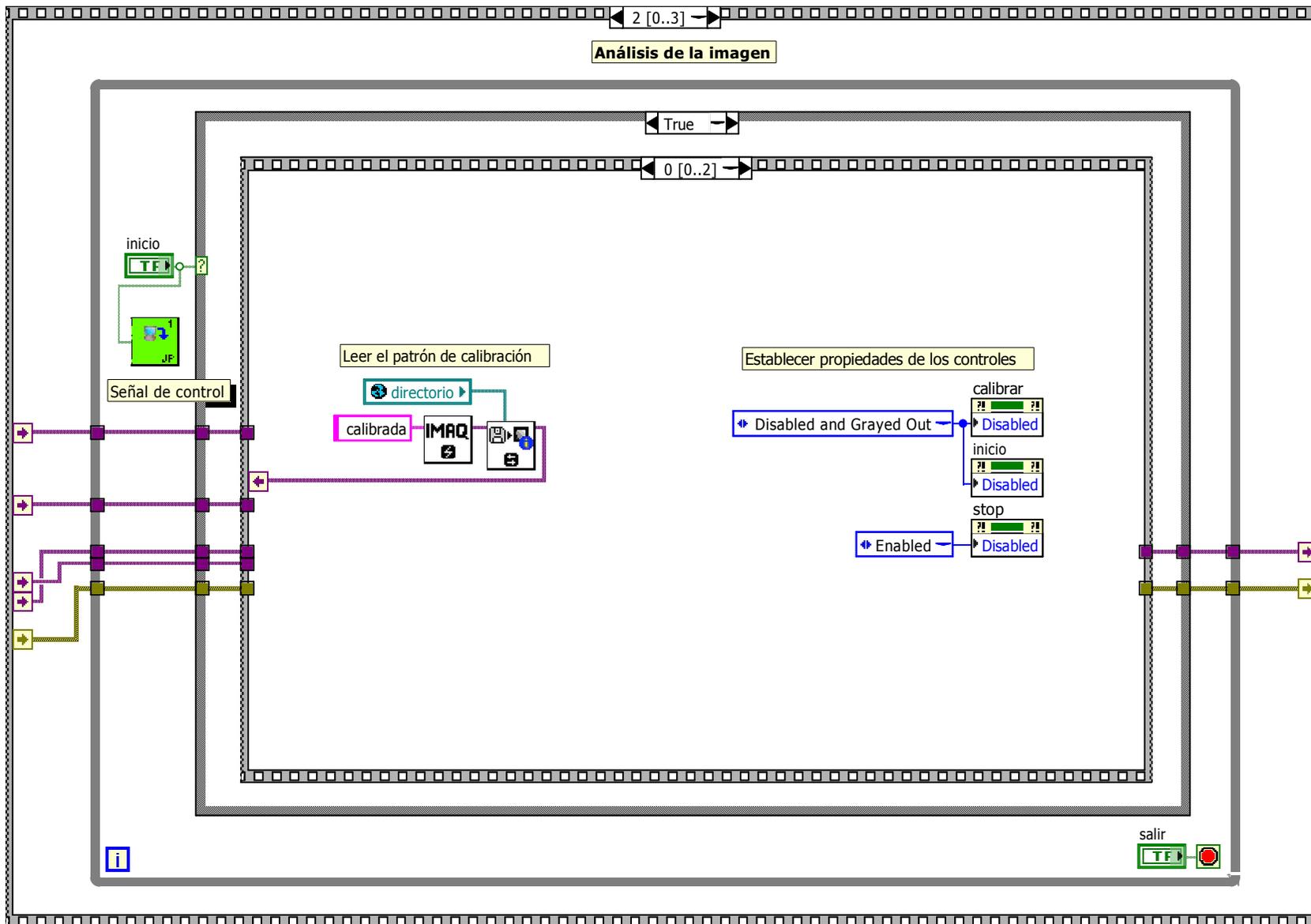




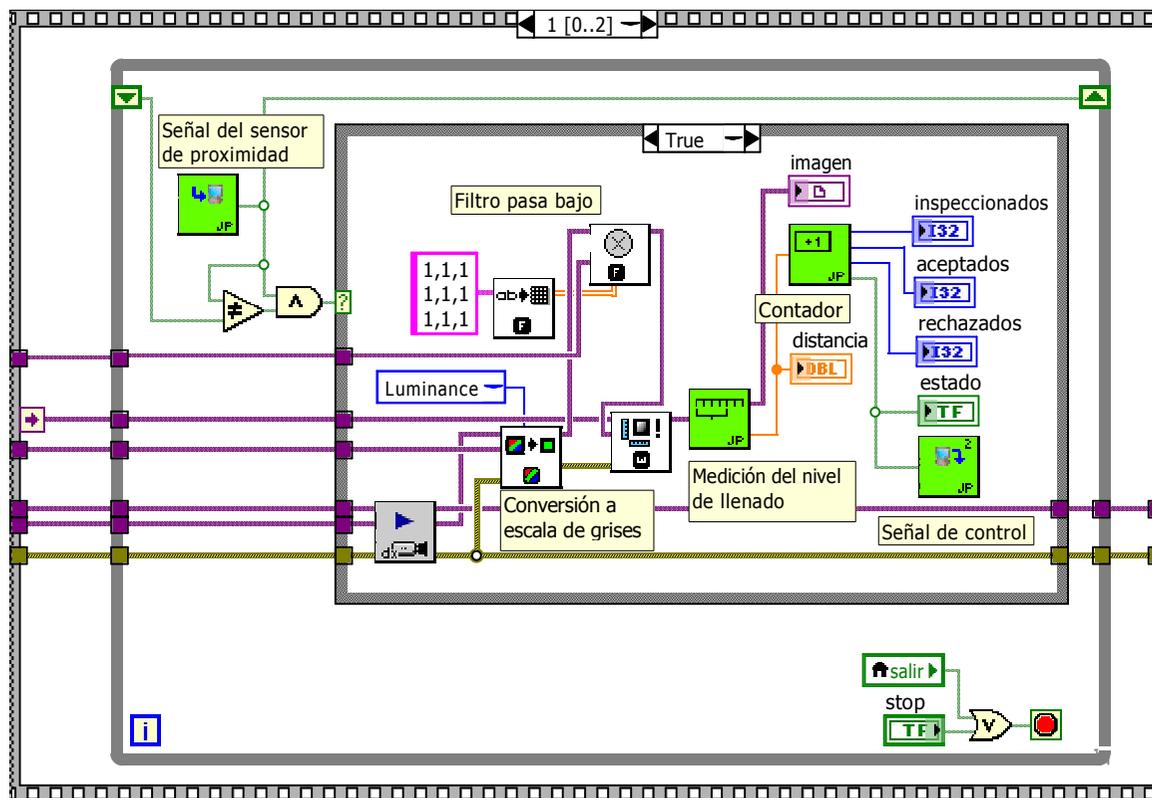
Principal.vi
D:\DOCUMENTOS\Juan Pablo\PROYECTOS\Tesis\Programa\LabVIEW\Principal.vi
Last modified on 22/06/2011 at 13:06
Printed on 22/06/2011 at 13:09



Principal.vi
D:\DOCUMENTOS\Juan Pablo\PROYECTOS\Tesis\Programa\LabVIEW\Principal.vi
Last modified on 22/06/2011 at 13:06
Printed on 22/06/2011 at 13:09

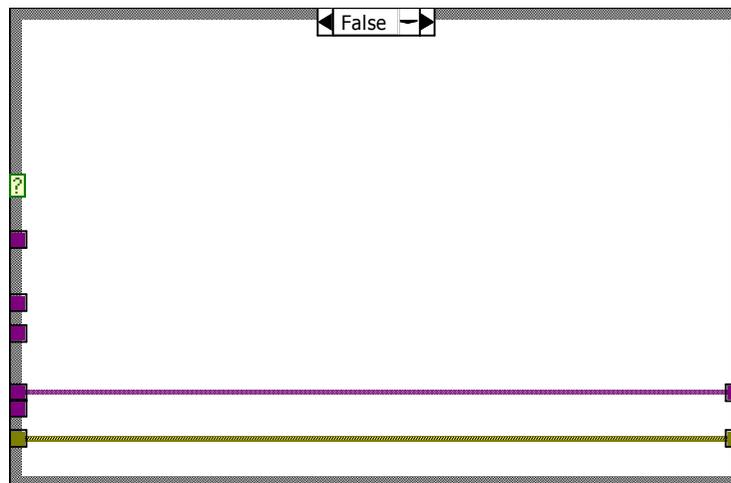


Principal.vi
D:\DOCUMENTOS\Juan Pablo\PROYECTOS\Tesis\Programa\LabVIEW\Principal.vi
Last modified on 22/06/2011 at 13:06
Printed on 22/06/2011 at 13:09

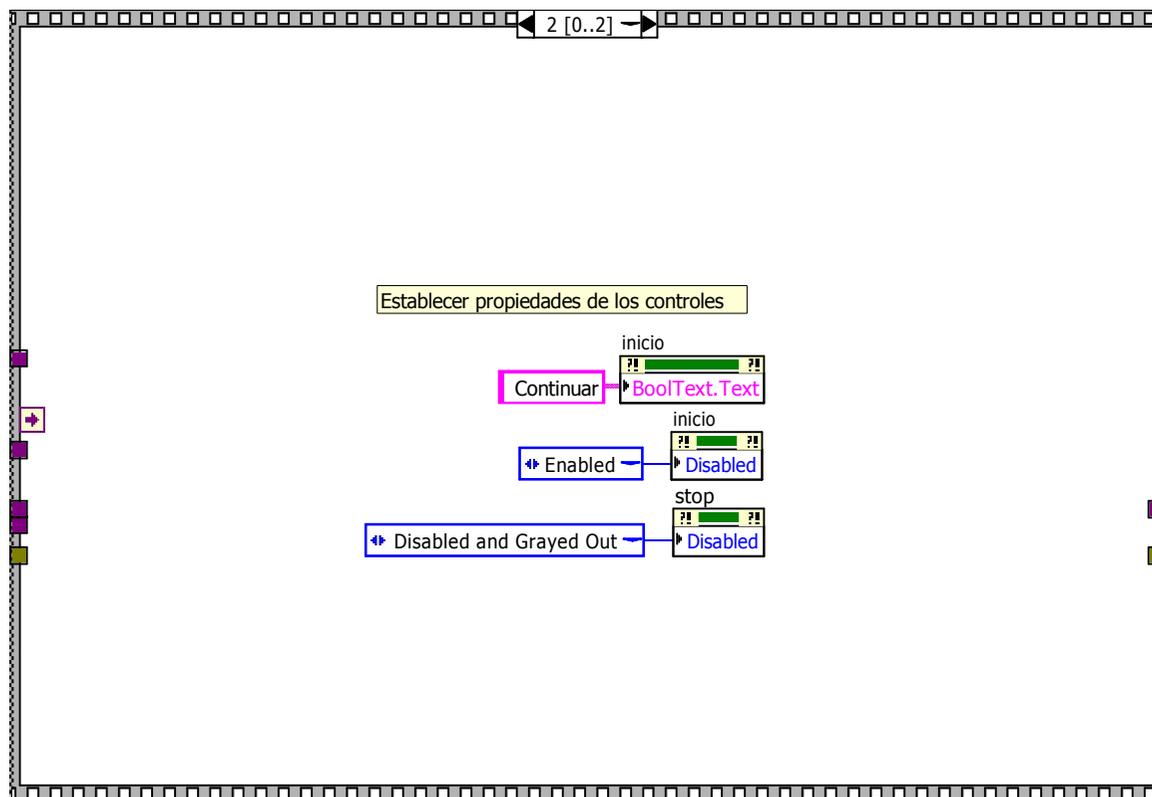




Principal.vi
D:\DOCUMENTOS\Juan Pablo\PROYECTOS\Tesis\Programa\LabVIEW\Principal.vi
Last modified on 22/06/2011 at 13:06
Printed on 22/06/2011 at 13:09

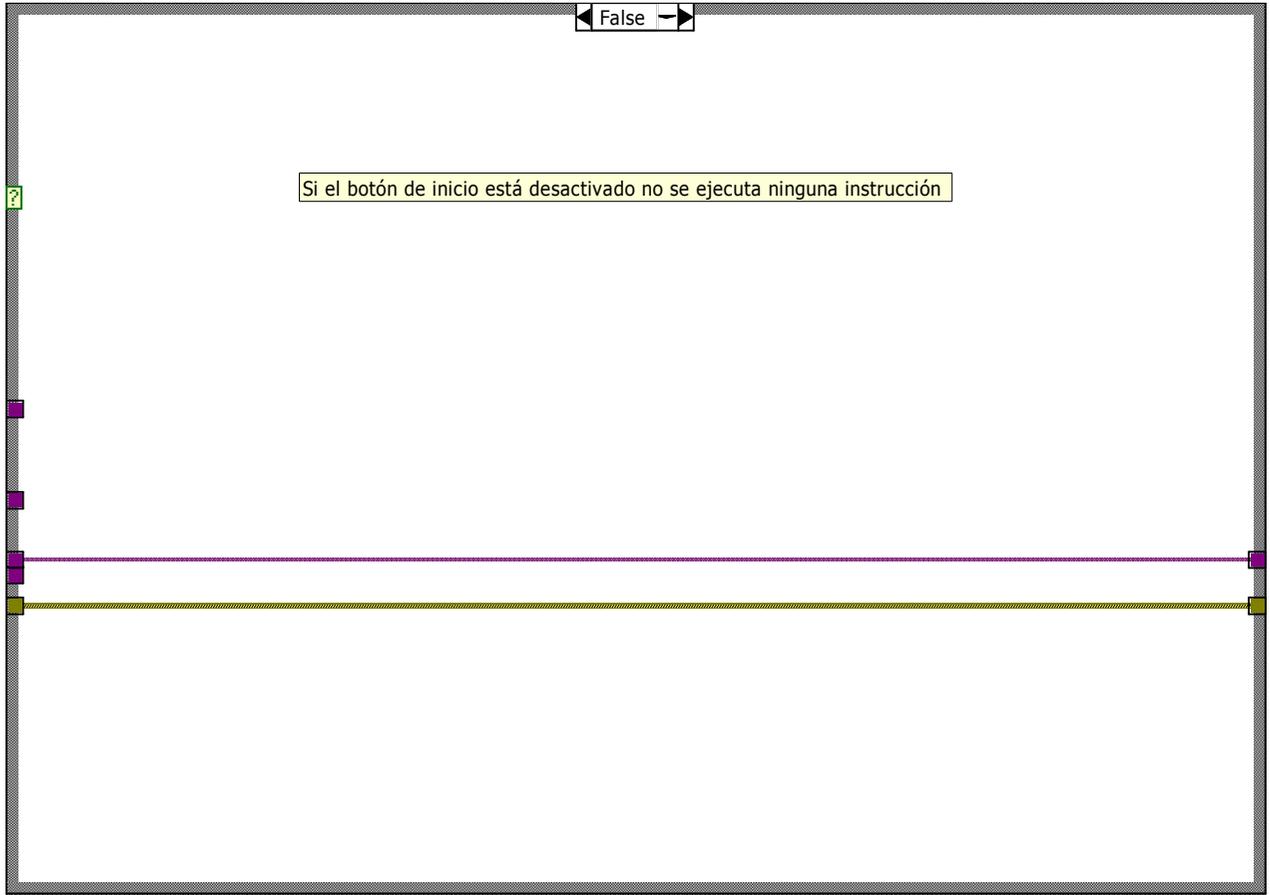


Principal.vi
D:\DOCUMENTOS\Juan Pablo\PROYECTOS\Tesis\Programa\LabVIEW\Principal.vi
Last modified on 22/06/2011 at 13:06
Printed on 22/06/2011 at 13:09



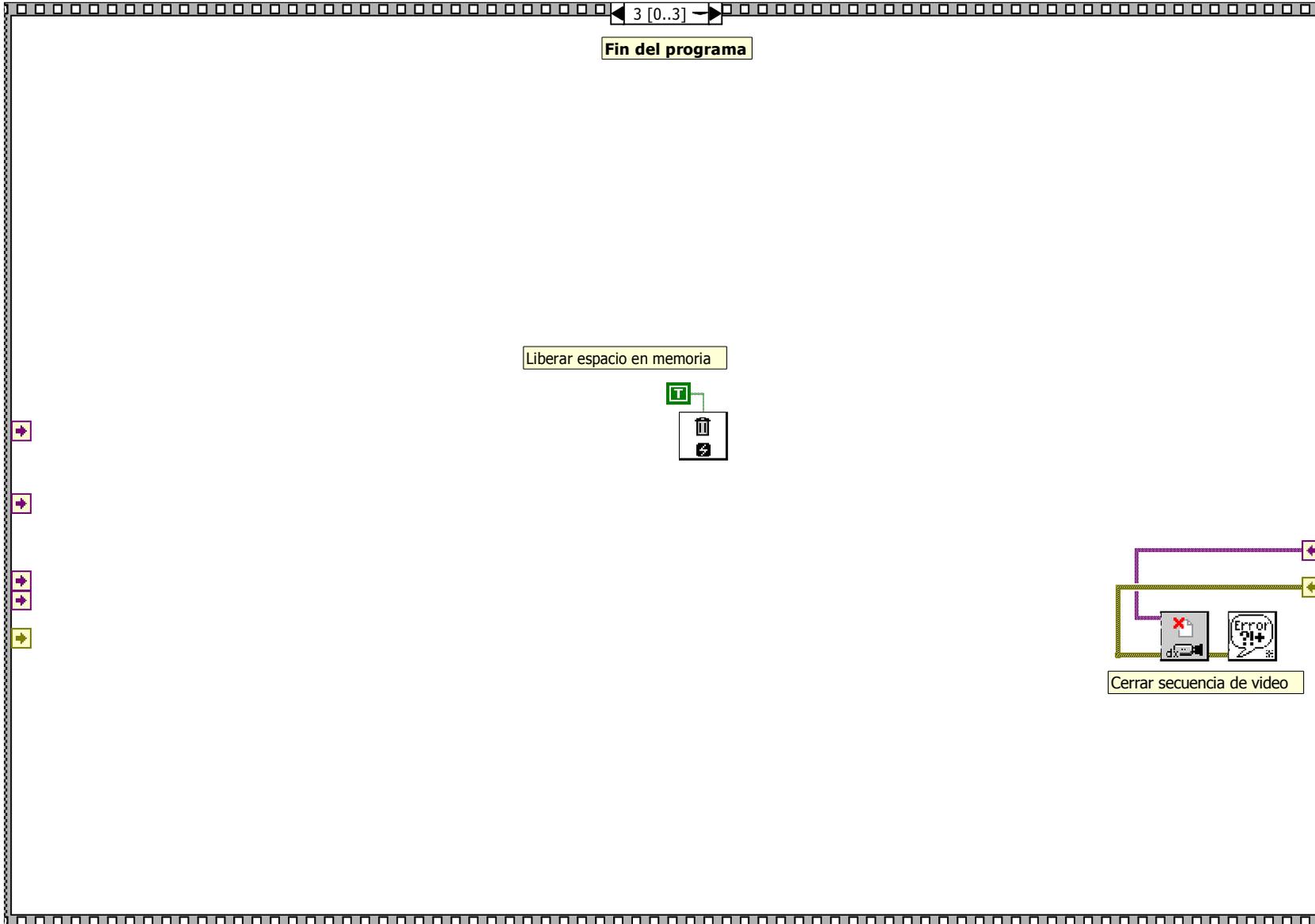


Principal.vi
D:\DOCUMENTOS\Juan Pablo\PROYECTOS\Tesis\Programa\LabVIEW\Principal.vi
Last modified on 22/06/2011 at 13:06
Printed on 22/06/2011 at 13:09





Principal.vi
D:\DOCUMENTOS\Juan Pablo\PROYECTOS\Tesis\Programa\LabVIEW\Principal.vi
Last modified on 22/06/2011 at 13:06
Printed on 22/06/2011 at 13:09





Análisis.vi

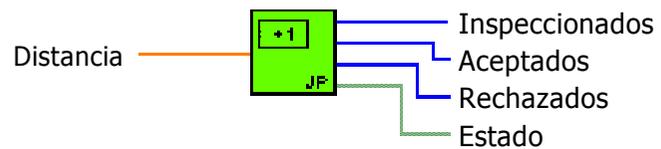
D:\DOCUMENTOS\Juan Pablo\PROYECTOS\Tesis\Programa\LabVIEW\Análisis.vi

Last modified on 18/06/2011 at 13:26

Printed on 22/06/2011 at 13:19

Connector Pane

Análisis.vi



Front Panel



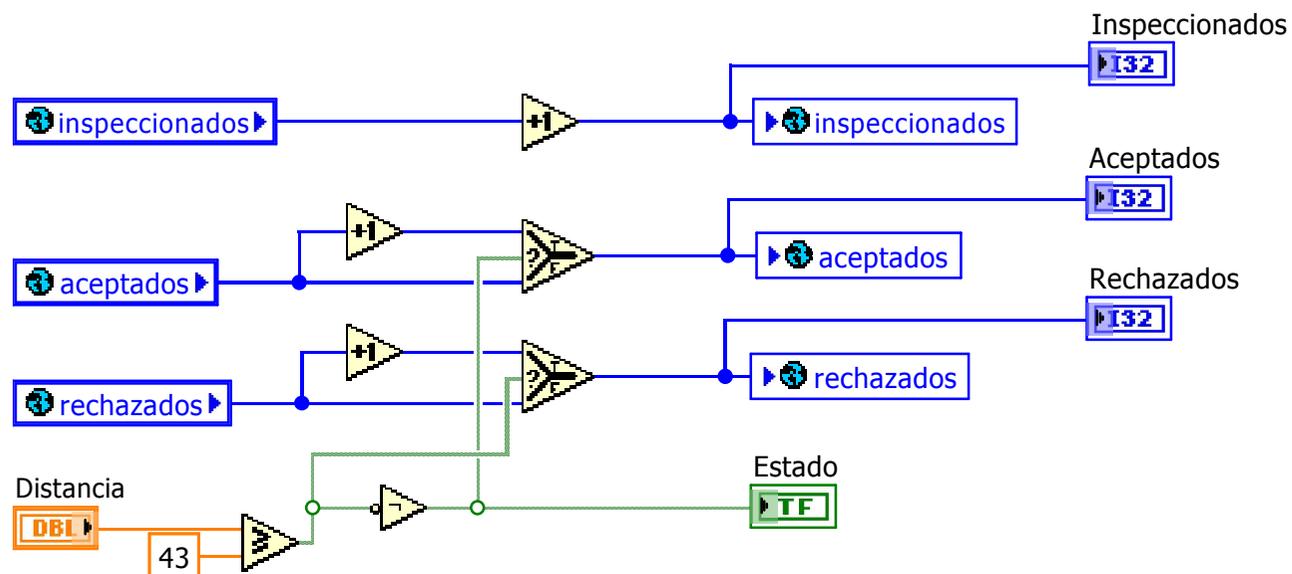
Análisis.vi

D:\DOCUMENTOS\Juan Pablo\PROYECTOS\Tesis\Programa\LabVIEW\Análisis.vi

Last modified on 18/06/2011 at 13:26

Printed on 22/06/2011 at 13:19

Block Diagram





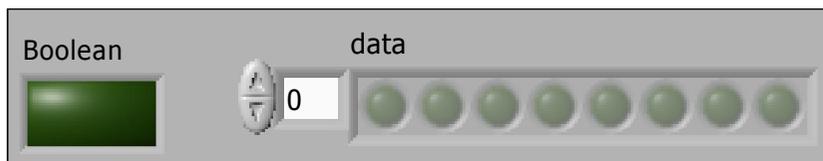
DAQIN.vi
D:\DOCUMENTOS\Juan Pablo\PROYECTOS\Tesis\Programa\LabVIEW\DAQIN.vi
Last modified on 13/06/2011 at 12:10
Printed on 22/06/2011 at 13:19

Connector Pane

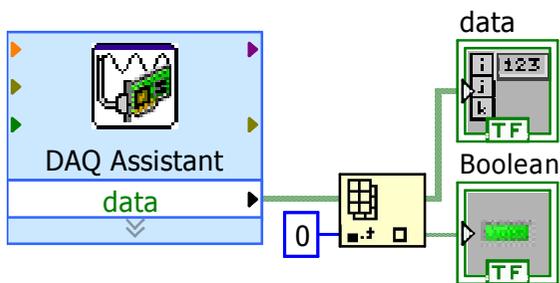
DAQIN.vi



Front Panel



Block Diagram



DAQOUT.vi
D:\DOCUMENTOS\Juan Pablo\PROYECTOS\Tesis\Programa\LabVIEW\DAQOUT.vi
Last modified on 14/05/2011 at 10:14
Printed on 22/06/2011 at 13:19

Connector Pane

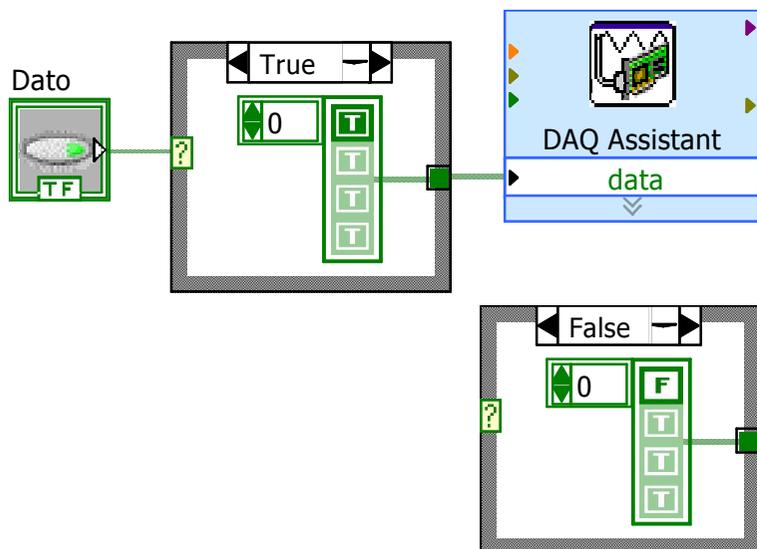
DAQOUT.vi



Front Panel



Block Diagram



DAQOUT2.vi
D:\DOCUMENTOS\Juan Pablo\PROYECTOS\Tesis\Programa\LabVIEW\DAQOUT2.vi
Last modified on 14/05/2011 at 10:16
Printed on 22/06/2011 at 13:20

Connector Pane

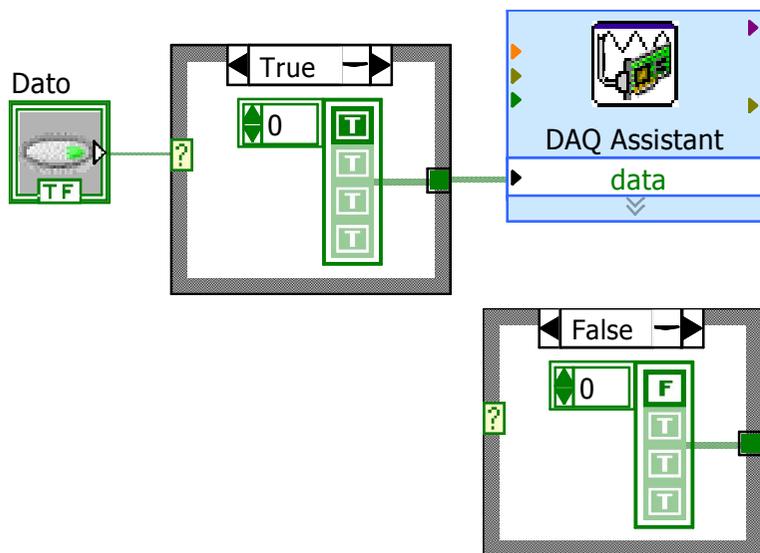
DAQOUT2.vi



Front Panel



Block Diagram



Global.vi
D:\DOCUMENTOS\Juan Pablo\PROYECTOS\Tesis\Programa\LabVIEW\Global.vi
Last modified on 02/05/2011 at 9:48
Printed on 22/06/2011 at 13:20

Connector Pane

Global.vi



Front Panel

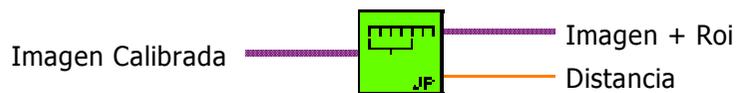
inicio	<input type="text" value="Disabled and Grayed"/>	inspeccionados	<input type="text" value="0"/>
stop	<input type="text" value="Disabled and Grayed"/>	aceptados	<input type="text" value="0"/>
		rechazados	<input type="text" value="0"/>
		distancia	<input type="text" value="0"/>
		directorio	<input type="text" value=""/>

Block Diagram

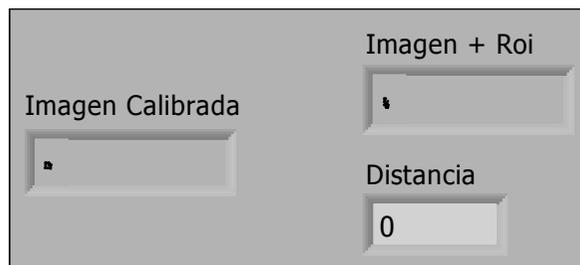
Medición.vi
D:\DOCUMENTOS\Juan Pablo\PROYECTOS\Tesis\Programa\LabVIEW\Medición.vi
Last modified on 22/06/2011 at 13:10
Printed on 22/06/2011 at 13:23

Connector Pane

Medición.vi

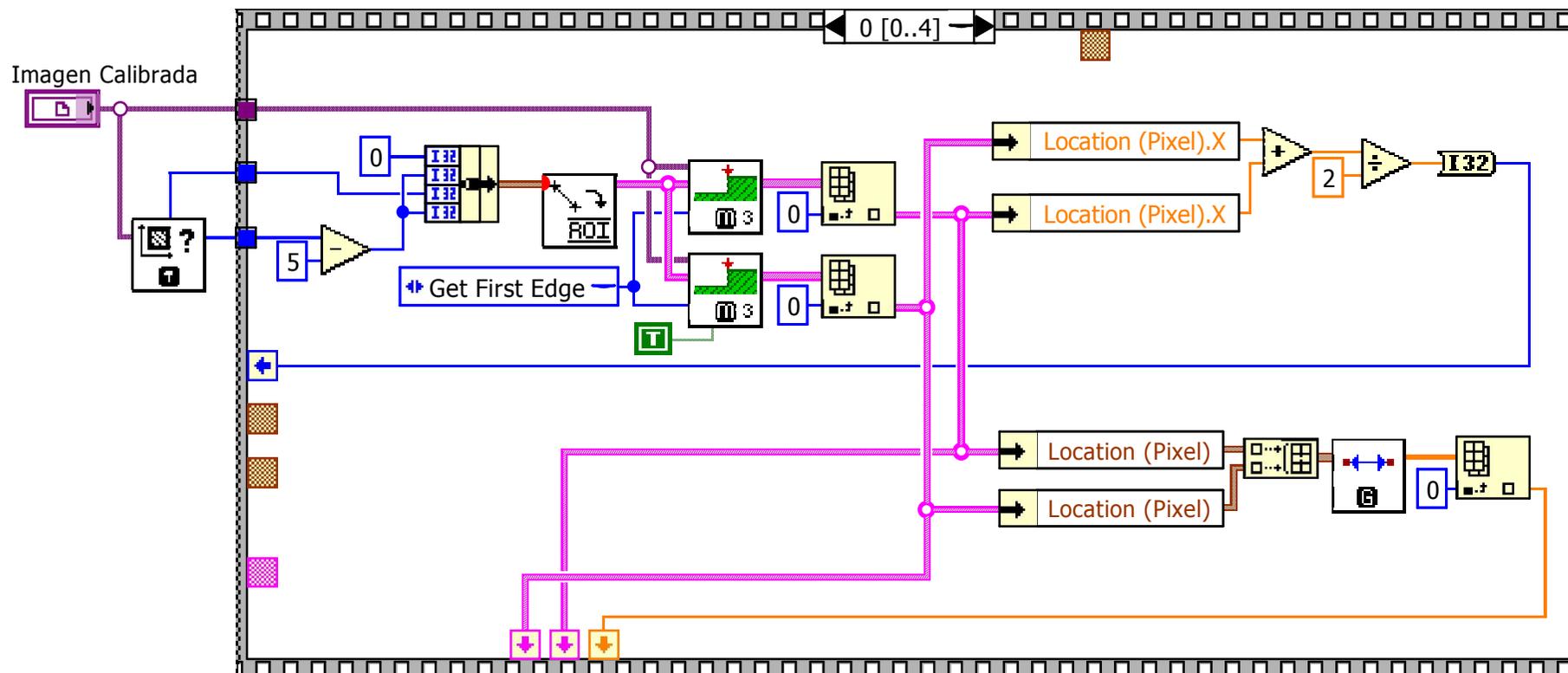


Front Panel



Medición.vi
D:\DOCUMENTOS\Juan Pablo\PROYECTOS\Tesis\Programa\LabVIEW\Medición.vi
Last modified on 22/06/2011 at 13:10
Printed on 22/06/2011 at 13:23

Block Diagram



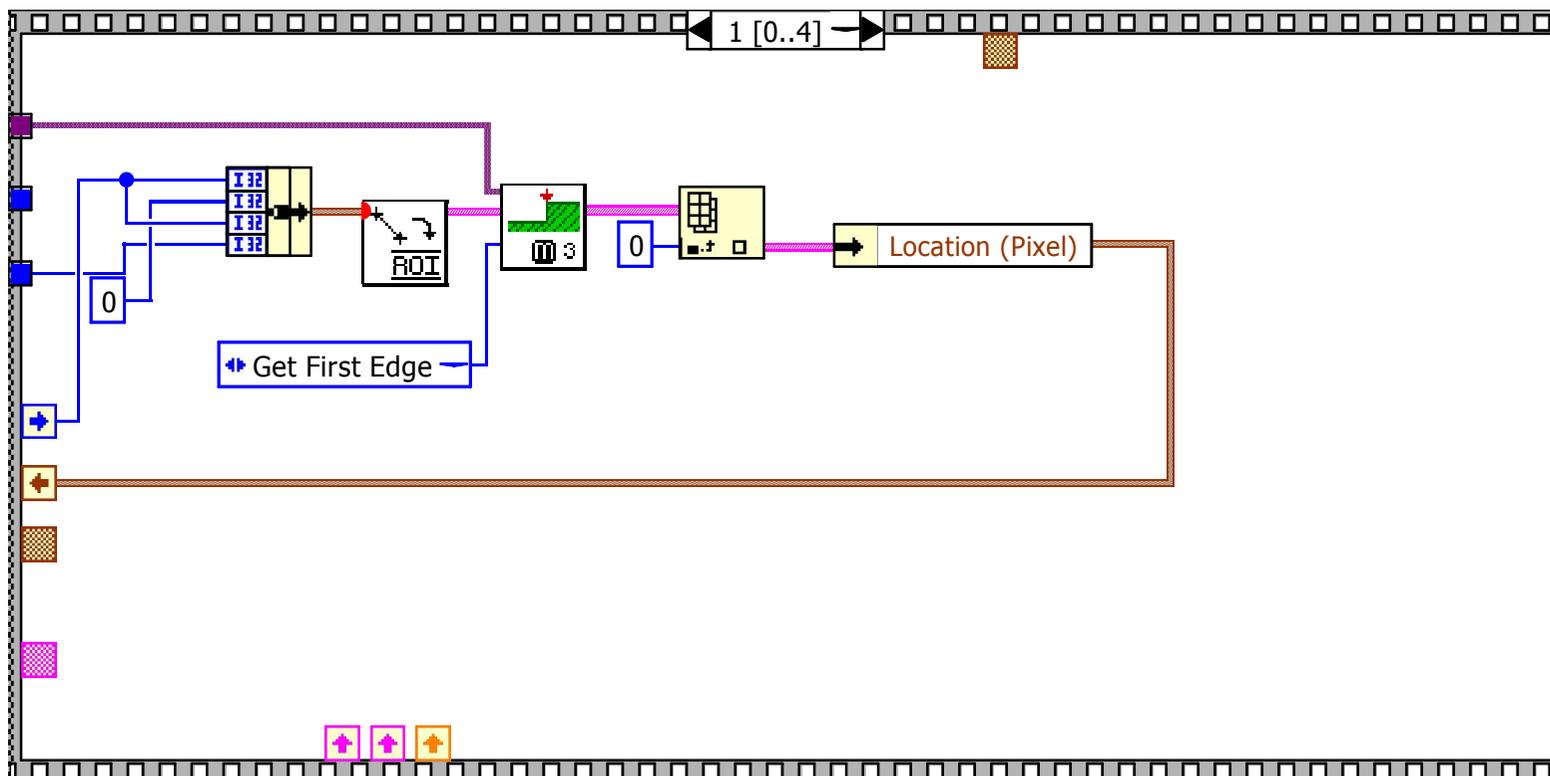


Medición.vi

D:\DOCUMENTOS\Juan Pablo\PROYECTOS\Tesis\Programa\LabVIEW\Medición.vi

Last modified on 22/06/2011 at 13:10

Printed on 22/06/2011 at 13:23



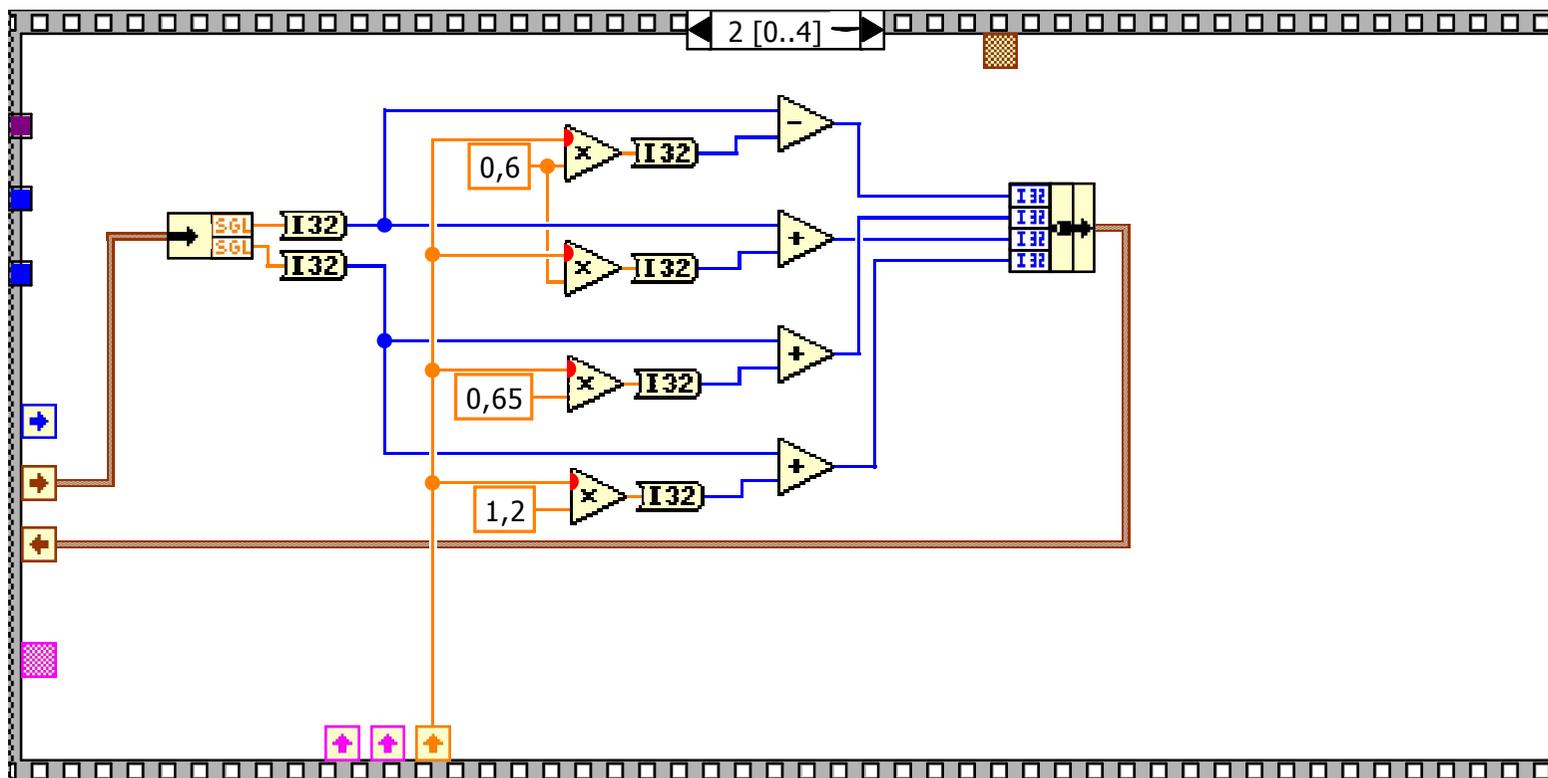


Medición.vi

D:\DOCUMENTOS\Juan Pablo\PROYECTOS\Tesis\Programa\LabVIEW\Medición.vi

Last modified on 22/06/2011 at 13:10

Printed on 22/06/2011 at 13:23



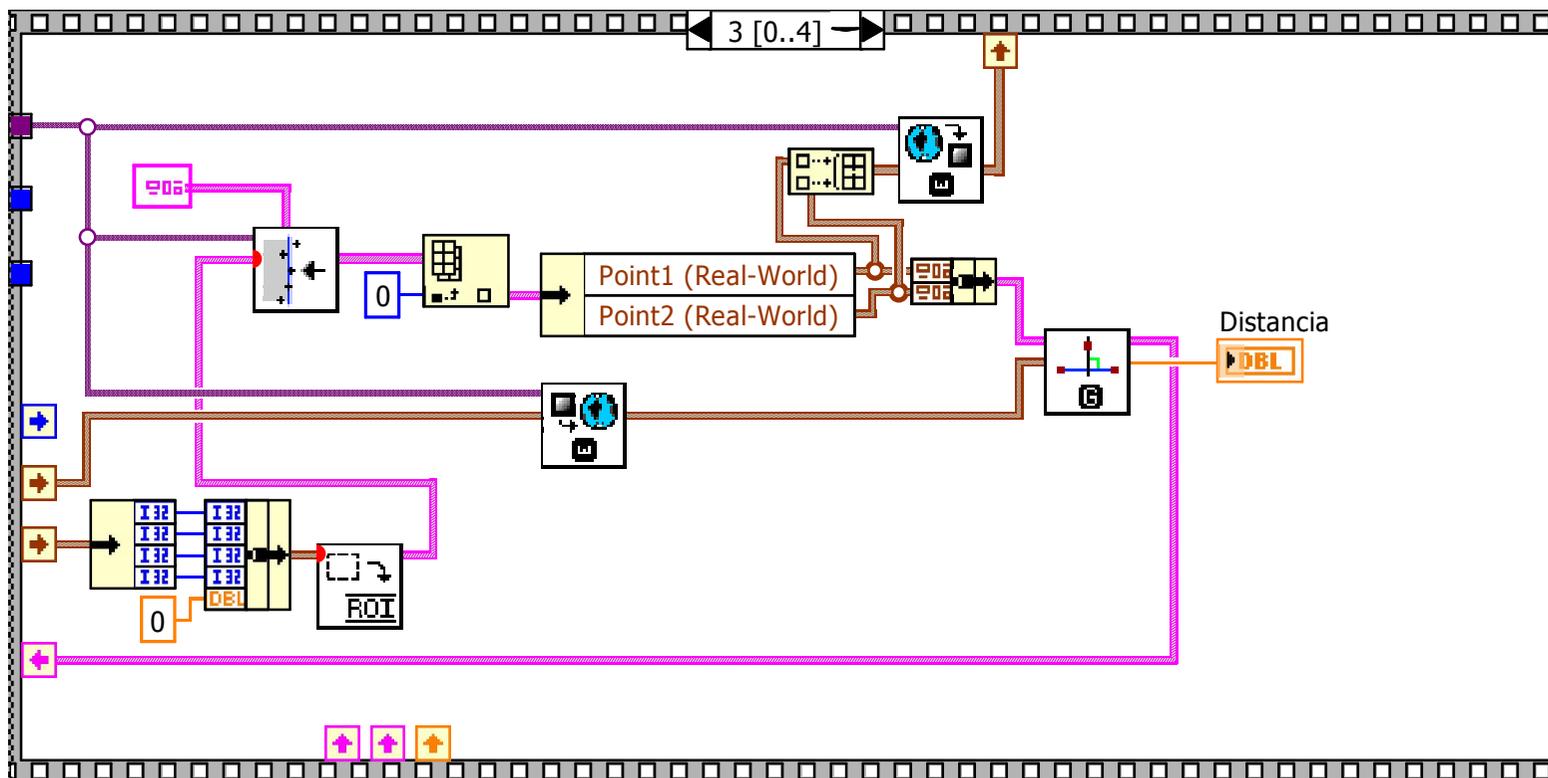


Medición.vi

D:\DOCUMENTOS\Juan Pablo\PROYECTOS\Tesis\Programa\LabVIEW\Medición.vi

Last modified on 22/06/2011 at 13:10

Printed on 22/06/2011 at 13:23



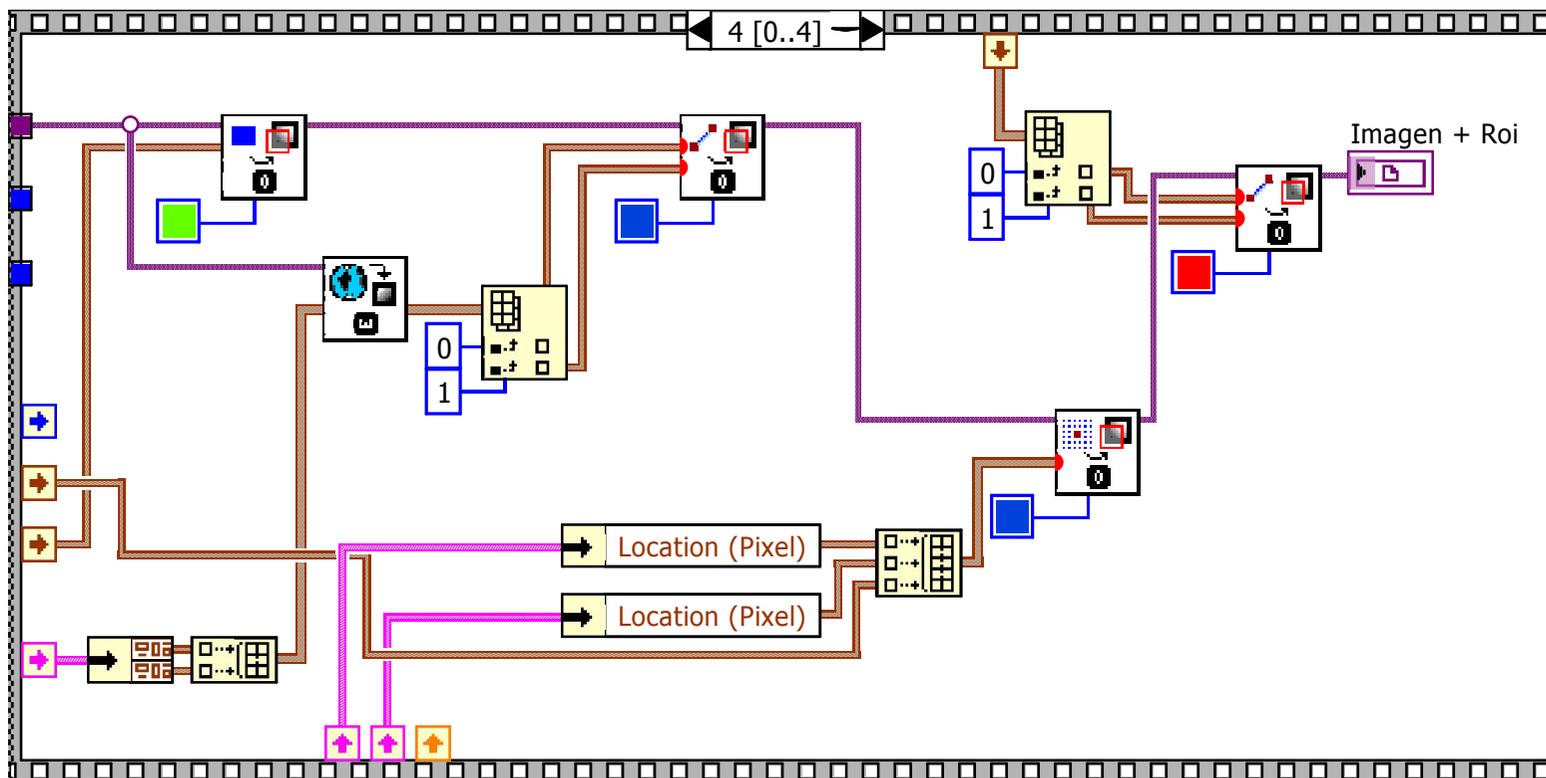


Medición.vi

D:\DOCUMENTOS\Juan Pablo\PROYECTOS\Tesis\Programa\LabVIEW\Medición.vi

Last modified on 22/06/2011 at 13:10

Printed on 22/06/2011 at 13:23



Anexo D.- Guía de instalación



**SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA INSPECCIONAR EL NIVEL DE
LLENADO DE BEBIDAS EMBOTELLADAS**

Guía De Instalación

1 Precauciones

El presente proyecto ha sido diseñado para fines didácticos y no se recomienda su utilización para propósitos industriales. La exposición de los equipos en ambientes hostiles podría ocasionar el mal funcionamiento del sistema.

Requerimientos del sistema

Para garantizar el correcto desempeño del sistema se recomienda utilizar un ordenador con los siguientes requisitos mínimos:

- Procesador Pentium III / Celeron 866 MHz o equivalente
- RAM 256 MB
- Resolución de pantalla 1024 x 768 píxeles
- Sistema operativo XP / Vista / 7 de 32-bits
- Espacio en disco de 1,6 GB

Requerimientos ambientales

- Coloque los equipos en un lugar con buena ventilación. No lo exponga a la luz directa del sol.
- Mantenga los equipos limpios, libre de polvo y manchas.
- No coloque el equipo cerca de fuentes de agua o en lugares húmedos.
- Coloque los equipos en una superficie estable.
- No coloque el equipo sobre materiales inflamables (por ejemplo, goma espuma) ni cerca de éstos.
- Mantenga el equipo lejos del fuego o de fuentes de calor (por ejemplo, radiadores o velas).

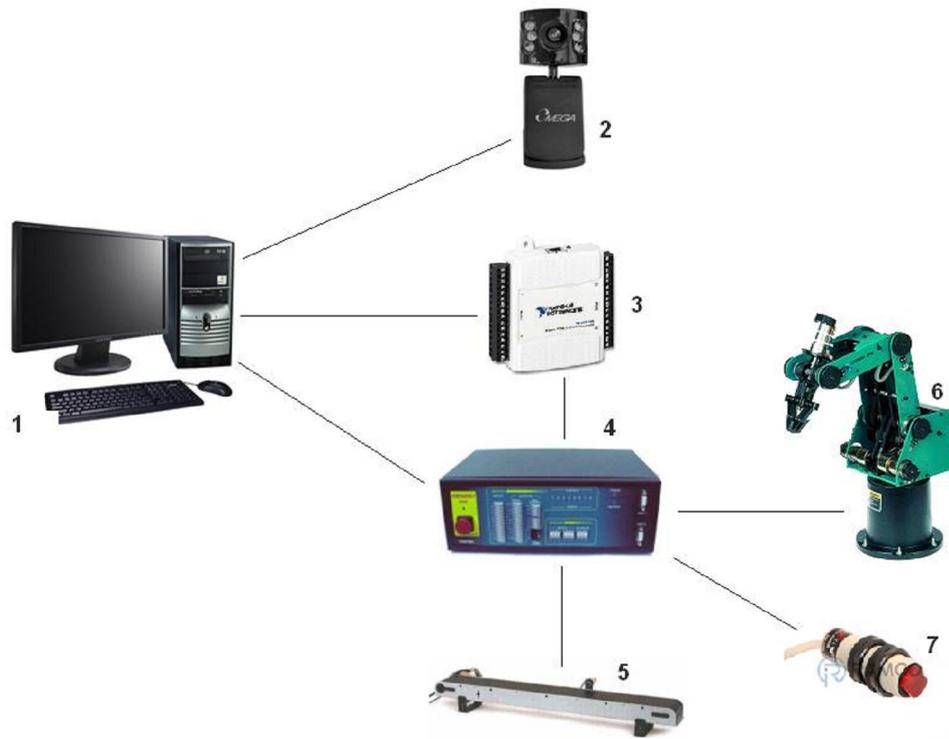
- Mantenga el equipo lejos de electrodomésticos con fuertes campos magnéticos o eléctricos (por ejemplo, hornos de microondas, refrigeradores o teléfonos móviles).

Requerimientos de operación

- Asegúrese de no mojar los equipos. Si se filtra agua dentro del equipo, desconecte inmediatamente la fuente de alimentación y desenchufe todos los cables conectados al equipo.
- La fuente de alimentación debe cumplir con los requisitos de voltaje de entrada correspondientes a cada equipo.
- Antes de enchufar o desenchufar un cable, apague el equipo y desconecte la fuente de alimentación.
- Al enchufar o desenchufar un cable, asegúrese de que sus manos estén secas.
- No pise los cables, no tire de ellos ni los estire. De lo contrario, el cable podría dañarse y el equipo podría funcionar mal.
- No utilice cables viejos ni dañados.

2 Conexión de los cables

Adopte la siguiente figura como referencia para conectar los cables.



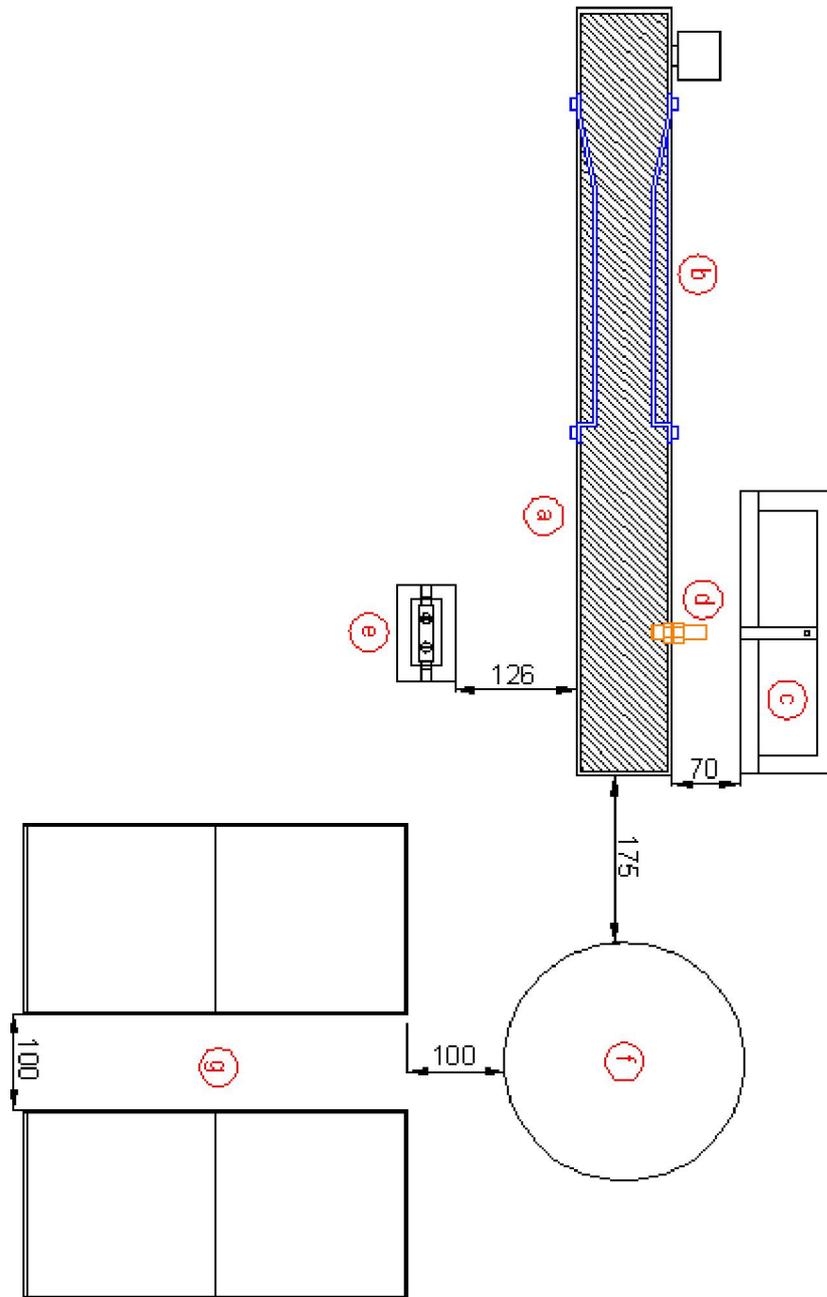
- 1 PC
- 2 Webcam Omega 362348
- 3 NI USB-6009
- 4 Módulo de control del Scorbot ER-4u
- 5 Cinta transportadora
- 6 Scorbot ER-4u
- 7 Sensor de proximidad SUNX CY-22

La DAQ, cinta transportadora y sensor de proximidad deben estar conectados al módulo de control del Scorbot ER-4u de la siguiente forma.

Equipos		Módulo de control
Sensor de Proximidad	Cable azul	+
	Cable rojo	-
	Cable blanco	1
DAQ	P1.1	2
	P1.2	3
	P1.3	5
	GND	Tierra
Cinta Transportadora	Cable serial	Axis 7

3 Disposición del área de trabajo

En la siguiente figura se muestra la disposición recomendada del área de trabajo. Si es necesario reubique los componentes del sistema.



- a Cinta transportadora
- b Guías
- c Lámpara
- d Sensor de proximidad
- e Soporte ajustable
- f Scrobot ER-4u
- g Cajas de clasificación

4 Instalación del software

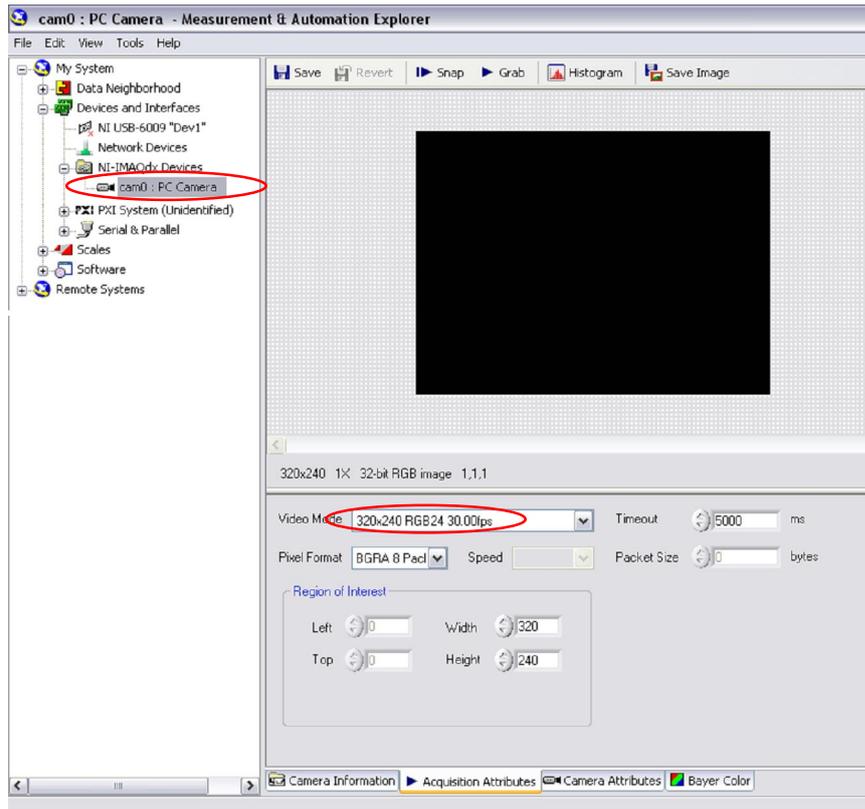
Para conseguir ejecutar el sistema con éxito es necesario tener instalado el siguiente software:

- LabVIEW
- NI Vision Acquisition Software
- NI-DAQmx (driver del dispositivo)
- Driver de la cámara
- Robocell

4.1 Configuración de la cámara

Paso 1 Inicie el MAX (Measurement & Automation Explorer)

Paso 2 Configure los parámetros señalados en la siguiente figura.



Paso 3 clic en el botón *Save*.

4.2 Configuración del software Robocell

Paso 1 Inicie la aplicación Robocell e inserte el disco.

Paso 2 Abra el archivo “Main.ws” ubicado en la carpeta “Robocell”.

Paso 3 En la pestaña *Opciones* seleccione la opción *On - Line*.

Paso 4 En la pestaña *Ejecutar* seleccione la opción *Ir a Home - Todos los ejes*.

Paso 5 Presione **F8** para correr el programa.

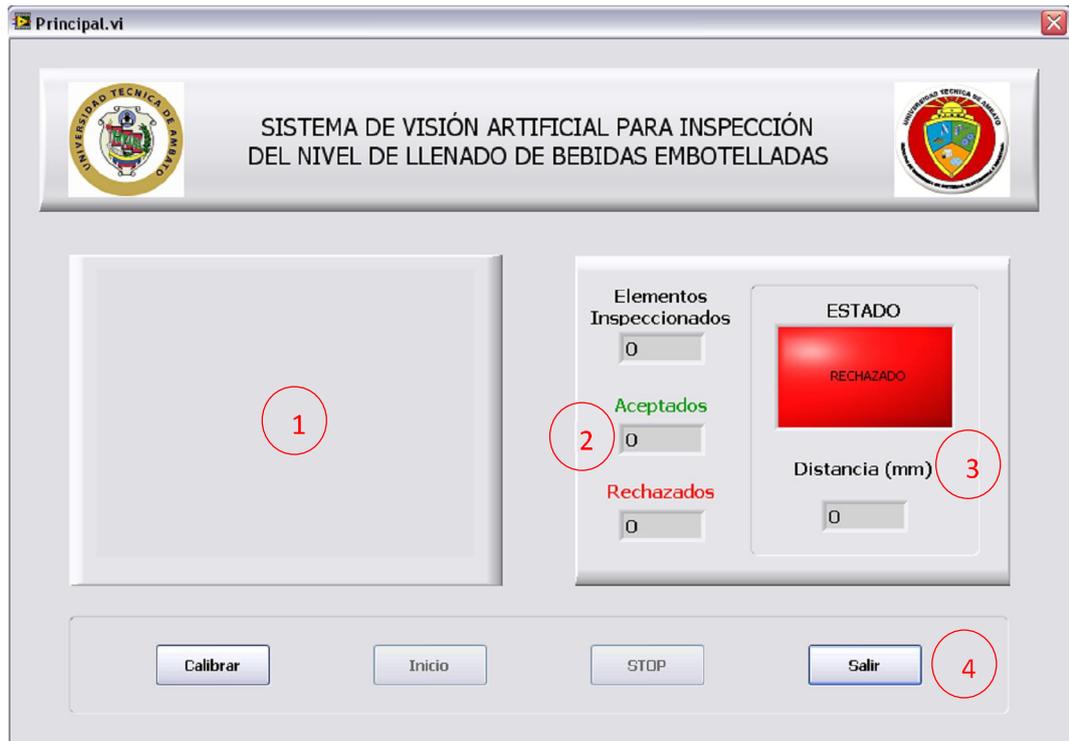
4.3 Configuración del software LabVIEW

Paso 1 Inicie la aplicación LabVIEW.

Paso 2 Abra el archivo “Principal.vi” ubicado en la carpeta “LabVIEW”.

Paso 3 En la pestaña *Operate* seleccione la opción *Run* para iniciar el programa.

Aparecerá la interfaz del usuario como se muestra en la siguiente figura.



- 1 Visualizador de imagen
- 2 Contadores
- 3 Indicadores de estado
- 4 Botones de control

4.4 Calibración de la cámara

Una vez que haya iniciado la aplicación se necesita calibrar la cámara.

Paso 1 Espere a que aparezca la secuencia de video en el visualizador de imagen.

Paso 2 Ubique la plantilla de calibración frente a la cámara.

Paso 3 Presione el botón *Calibrar*.

4.5 Inicio

Una vez que la cámara se haya calibrado la cámara, el sistema está listo para trabajar. Presione el botón *Inicio* para empezar y presione el botón *STOP* para realizar una pausa. Presione el botón *Salir* para cerrar la aplicación.