

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**“IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTACIÓN DE VISIÓN ARTIFICIAL  
Y CONTROL DE CALIDAD DEL LABORATORIO CIM 2000: VI  
2005”**

**Julio César Benítez R.**

**SANGOLQUÍ - ECUADOR**

**2005**

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente proyecto de grado titulado “Implementación de la Estación de Visión Artificial y Control de Calidad del Laboratorio CIM 200: VI 2005” ha sido desarrollado en su totalidad por el Sr. Julio César Benítez Rodríguez con C.I. 170725014-6, bajo nuestra dirección.

Ing. Alejandro Chacón  
DIRECTOR

Ing. Rodolfo Gordillo  
CODIRECTOR

## AGRADECIMIENTO

A mis padres por su esfuerzo y sobre todo por su acompañamiento en esta etapa de mi vida, porque todos sus esfuerzos han sido infinitos y han sido indispensables para formar la persona íntegra y feliz que soy ahora.

A todos los profesores, compañeros y demás personas que de varias maneras me acompañaron en esta experiencia por todos los conocimientos y experiencias no solo académicas sino humanas que me brindaron.

*«El que no piensa en grande, en función de todos los hombres, está perdido de antemano. Algunos te dirán: «¡Cuidado con el orgullo! ¿Por qué pensar tan grande?» Pero no hay peligro. Mientras mayor es la tarea, más chico se siente uno. Vale más tener la humildad de emprender grandes tareas con peligro de fracasar, que el orgullo de querer tener éxito achicándose»*

Beato Alberto Hurtado s.j.

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicarle este trabajo a mis padres como muestra de agradecimiento infinito, no solo por su apoyo y ánimo en esta etapa sino por lo que me han ayudado a ser, tener y soñar para mi vida.

Julio César Benítez R.

## **PRÓLOGO**

El presente documento recoge el proyecto del estudio e implementación de una estación de control de calidad por medio de inspección visual VI-2005 que trabaje acoplada e integrada al laboratorio CIM 2000 de la Facultad de Ingeniería Electrónico de la ESPE dentro de la especialidad de Automatización y Control.

Este documento no solo contiene el marco teórico y justificativo del proyecto, sino una documentación extensa tanto del desarrollo del proyecto como de sus posibles ampliaciones y aplicaciones.

La documentación aquí presentada además de ser un manual de trabajo para la operación de la estación de inspección Visual VI-2005 es la documentación para la obtención del título de grado de ingeniero electrónico.

## ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>3</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>4</b>
<b>PRÓLOGO</b> .....	<b>5</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>6</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES – VISIÓN POR COMPUTADORA</b> ....	<b>1</b>
1.1    Historia e Importancia actual.....	1
1.2    Principios de Funcionamiento .....	2
1.3    Herramientas y Utilidades .....	4
1.4    Operaciones Posibles.....	5
1.5    Aplicaciones Actuales .....	6
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>10</b>
<b>DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA</b> .....	<b>10</b>
2.1    Descripción del sistema actual VI 2000 y razones para darlo de baja .....	10
2.2    Opciones de diferentes sistemas de visión artificial y razones para escoger IMAQ (operativas y económicas) .....	13
2.3    Alternativas de Implementación de este Proyecto.....	16
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>18</b>
<b>IMPLEMENTACIÓN GENERAL DEL SISTEMA</b> .....	<b>18</b>
<b>3.1    DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA VISIÓN VI 2005</b> .....	<b>18</b>
3.1.1    Alcance del Proyecto .....	18
3.1.2    Parámetros y Necesidades .....	19
3.1.3    Diagrama de Procesos y de Bloques del Sistema .....	23
<b>3.2    HARDWARE UTILIZADO</b> .....	<b>25</b>
3.2.1    Robot CRS Robotic A255 .....	25
3.2.2    Cámara digital FIRE-i .....	29
3.2.3    Interfaz VI2010; RO2201; IVI2005 .....	34
3.2.4    Computadora .....	38
3.2.5    Iluminación Del Sistema de Visión.....	40

<b>3.3</b>	<b><i>SOFTWARE UTILIZADO</i></b> .....	<b>44</b>
3.3.1	LabVIEW 7.0.....	44
3.3.2	Robcomm .....	66
	<b><i>CAPÍTULO IV</i></b> .....	<b>71</b>
	<b><i>PRUEBA DE TRABAJO Y GUÍA DE USUARIO DEL SISTEMA “VI 2005”</i></b> .....	<b>71</b>
<b>4.2</b>	<b><i>Instalación y Comprobación de los Equipos Requeridos</i></b> .....	<b>72</b>
<b>4.3</b>	<b><i>Seteo de parámetros de trabajo</i></b> .....	<b>75</b>
<b>4.4</b>	<b><i>Preparación de los Sistemas que se ejecutarán</i></b> .....	<b>79</b>
<b>4.5</b>	<b><i>Señal de Inicio para la adquisición de la imagen</i></b> .....	<b>81</b>
<b>4.6</b>	<b><i>Adquisición de la Imagen</i></b> .....	<b>83</b>
<b>4.7</b>	<b><i>Análisis de la Imagen</i></b> .....	<b>86</b>
<b>4.8</b>	<b><i>Comunicación del resultado del análisis al Robot:</i></b> .....	<b>90</b>
<b>4.9</b>	<b><i>Seguimiento y análisis de los reportes:</i></b> .....	<b>90</b>
<b>4.10</b>	<b><i>Posibilidades de Adaptabilidad</i></b> .....	<b>91</b>
<b>4.11</b>	<b><i>Posibles Problemas</i></b> .....	<b>92</b>
<b>4.12</b>	<b><i>Mantenimiento del Sistema “VI 2005”</i></b> .....	<b>94</b>
	<b><i>CAPÍTULO V</i></b> .....	<b>95</b>
	<b><i>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i></b> .....	<b>95</b>
<b>5.1</b>	<b><i>CONCLUSIONES</i></b> .....	<b>95</b>
<b>5.2</b>	<b><i>RECOMENDACIONES</i></b> .....	<b>97</b>
	<b><i>BIBLIOGRAFÍA</i></b> .....	<b>98</b>
	<b><i>ANEXOS</i></b> .....	<b>99</b>
	<b><i>ÍNDICE DE TABLAS</i></b> .....	<b>102</b>
	<b><i>GLOSARIO</i></b> .....	<b>103</b>

## CAPÍTULO I

# PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES – VISIÓN POR COMPUTADORA

### 1.1 Historia e Importancia actual

La visión en el ser humano siempre ha sido de enorme importancia dentro del desarrollo de sus operaciones cotidianas que le ha permitido la vida. El 75% de la información sensorial que reciben los seres humanos es por medio del órgano de la vista.

Entre la visión humana y la por computadora existen analogías como que ambas tienen un elemento sensor (el ojo y la cámara) y un procesador de la información (cerebro y CPU) y elementos de reacción ante la información (brazos y elementos accionados).

Siendo la visión tan importante para el ser humano es lógico que al aparecer los computadores una de las aplicaciones que comenzó a implementarse fue la Visión Artificial, claro que al inicio fue un proceso lento y frustrante. En 1963 se tiene el primer experimento realizado por Roberts donde se pretendió examinar un ambiente y describirlo (posición y orientación) por medio de visión artificial. En 1967 en Stanford se presenta un proyecto en el cual por medio de una cámara de TV conectada a un computador se identificaban objetos y sus posiciones en una



habitación. El proceso de análisis de imágenes fue duro escabroso debido a varios factores uno de ellos que el intentar hacer la proyección bidimensional de un objeto tridimensional en medio de las limitaciones tecnológicas era muy complejo y traía muchos errores e ilusiones ópticas.

Desde 1980 se habla de identificación de texturas, obtención de figuras, visión estereo, detección de movimiento. Es desde esta década que el estudio e investigación del procesamiento digital de imágenes es uno de los temas principales en universidades, centros de investigación, etc., ampliando la construcción de hardware para su operación.

La visión por computadora se relaciona íntimamente con muchas tecnologías pero como principales podemos mencionar:

- El procesamiento de imágenes, que tiene como finalidad el transformar una figura en otra por medio de un operador.
- La generación de gráficos por computadora para poder transformar una descripción de los objetos a una imagen.
- Reconocimiento de patrones con el fin de clasificar objetos.

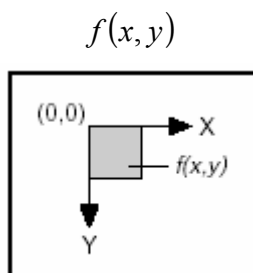
## 1.2 Principios de Funcionamiento<sup>1</sup>

### Imágenes Digitales

Hay que entender digitalmente a la imagen como una función de intensidad:

---

<sup>1</sup> IMAQ Vision User Manual



**Figura. 1.1. Diagrama básico de una imagen digital**

Una imagen digitalizada tiene principalmente tres propiedades: resolución de la imagen, definición de la imagen y número de planos.

### **Tipos y Formatos de Imágenes:**

Las librerías de IMAQ para la manipulación de imágenes pueden manejar tres tipos de formatos: niveles de grises (8-bit, BMP, TIFF, PNG, JPEG, AIPD), color (RGB, HSL) e imágenes complejas (Que tienen parte real y parte compleja normalmente parte real, parte imaginaria, magnitud y fase).

Los tamaños de cada píxel variarán según el formato en que estén operando desde 8 bits en niveles de grises hasta 8 bytes en complejos.

### **Archivos de Imágenes:**

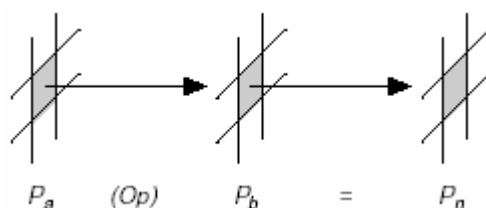
Un archivo de imagen resulta de un encabezado seguido por los valores de cada uno de los pixels. Este encabezado dependerá del formato en que esté definido el archivo y el valor dará la magnitud en cada píxel registrado.

### **Operaciones con Imágenes:**

Los procesos aritméticos con imágenes se realizan píxel a píxel, por ejemplo: Si A es una imagen con resolución XY, B es otra imagen con resolución XY y OP es el operador, entonces N es el resultado de la combinación de A y B a través del operador OP donde a cada píxel P de N le es asignado un valor:

$$p_n \equiv (p_a)(OP)(p_b)$$

Donde  $p_a$  es el valor de píxel P en la imagen A, y  $p_b$  es el valor del píxel P en la imagen B



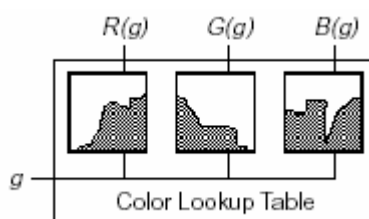
**Figura. 1.2. Proceso de la Transformación de una imagen**

Con las imágenes se puede realizar un sin número de operaciones aritméticas (suma, resta, multiplicación, división, resto), lógicas (AND, NAND, OR, NOR, XOR, Diferencia, Máscaras)

### 1.3 Herramientas y Utilidades

#### Paletas:

La imagen es transformada para ser presentada en la pantalla en valores de rojo, azul y verde en diferentes intensidades; para esta conversión se requiere de un Color-Look-up-Table (CLUT), esto se representa en una paleta de color. La diferente configuración de estas paletas puede enfatizar diferentes aspectos de la imagen por eso es recomendable el examinar cuál es la ideal a ser usada.



**Figura. 1.3. Ejemplo de paleta**

Existen varios tipos de paletas: Paleta de Grises, Paleta de temperatura, Paleta Arcoiris, Paleta de Gradiente, Paleta Binaria, etc.

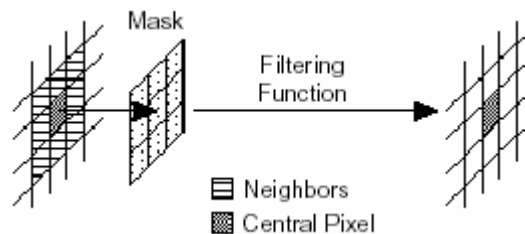
### FILTRADO DE IMÁGENES:

Los filtros espaciales afectan el valor de un píxel con respecto a la variación de intensidad de luz con referencia a sus vecinos. Se utilizan filtros para detectar bordes a través de una dirección específica, encontrar patrones, reducir ruidos y resaltar detalles.

Los filtros espaciales se clasifican en dos tipos:

*Filtro Pasa Altos:* Enfatiza una variación significativa de la intensidad de la luz (usualmente para detectar límites de objetos)

*Filtros Pasa Bajos:* Atenúa las variaciones de intensidad de luz eliminando detalles.



**Figura. 1.4. Esquema de filtrado de una imagen**

Existe una gran variedad de filtros lineales y no lineales en el dominio del tiempo como en el dominio de la frecuencia para diferentes aplicaciones según la necesidad.

## **1.4 Operaciones Posibles**

Siendo una imagen digital un arreglo de bits con características propias la posibilidad de manipulación y operación en estos archivos es innumerable, solo para mencionar algunas que nos den una idea general propondremos:

- Operaciones matemáticas: suma, resta, multiplicación, división, resto.
- Operaciones lógicas:
- Transformaciones geométricas

- Convoluciones, correlaciones
- Manipulación de Contrastes
- Eliminación de Ruido
- Realce de Bordes
- Extracción y Descripción de características
- Transformaciones Morfológicas
- Reconocimiento de Objetos
- Etc, Etc.

### 1.5 Aplicaciones Actuales

La Visión por computadora tiene un sin fin de aplicaciones sin embargo podemos mencionar las siguientes:

#### **Militares**

Detección y seguimiento de objetos.

Análisis de terreno

Armas inteligentes

#### **Robótica**

Guiado de Robots industriales

Navegación de robots móviles

#### **Agricultura**

Análisis de plantaciones: crecimiento, enfermedades

Análisis de imágenes tomadas por satélites.

#### **Identificación**

Identificación automática de huellas dactíles

Reconocimiento de caras

Reconocimiento de retinas

#### **Control de tráfico**

Identificación de matrículas de vehículos

Control del tráfico viario

#### **Control de calidad**

Verificación de etiquetas

Inspección de contenedores

Inspección de motores

Inspección de productos

Control de calidad de comida

Inspección de circuitos impresos

Inspección de madera, tela, fundiciones, papel, etc.

#### **Biomédica**

Análisis de imágenes tomadas por rayos X

Análisis de imágenes tomadas por ultrasonido

Análisis de sangre

Análisis de DNA

### **Seguridad**

Vigilancia de edificios

Detección de explosivos por rayos X

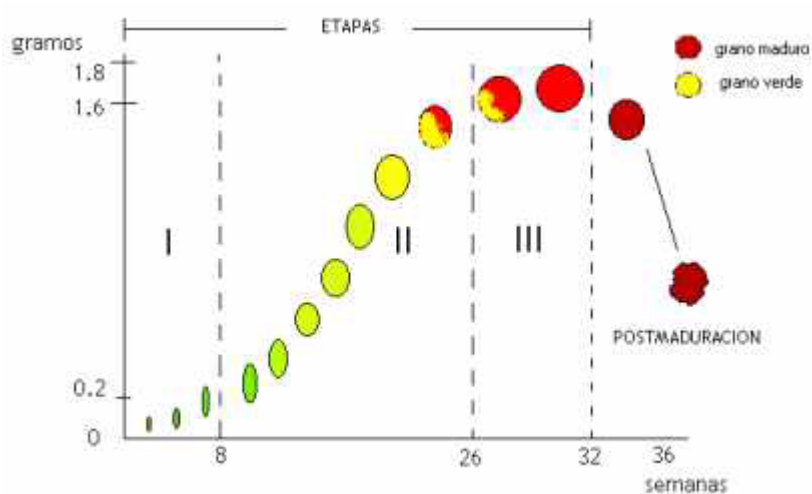
Etc., etc.

Existen nuevos proyectos que combinan el trabajo de redes neuronales con el procesamiento digital de imágenes para visión por computador.

Otros ejemplos de aplicaciones prácticas realizadas son:

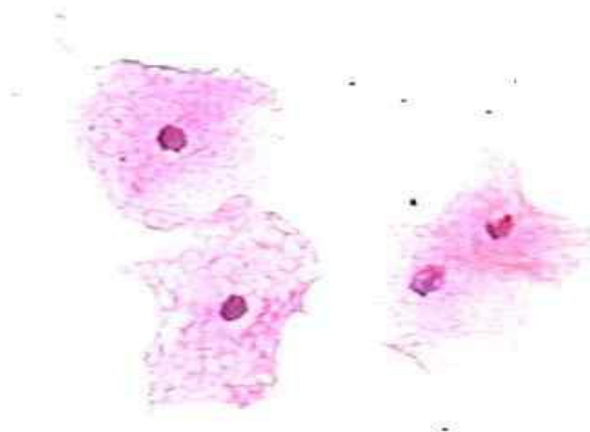
- Detección y Características de frutos de café empleando procesamiento digital de imágenes

- 



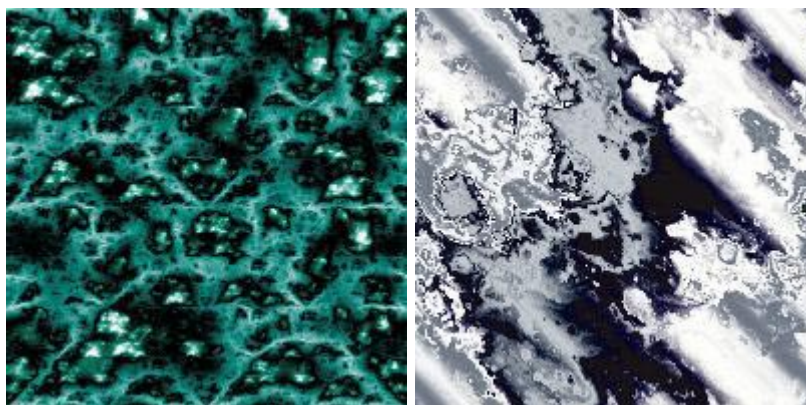
**Figura. 1.5. Esquema General del Proceso de Maduración de un grano de café y de su análisis por Visión Artificial.**

- Análisis y muestreo a nivel de Epitelio Vaginal mediante el procesamiento digital de imágenes



**Figura. 1.6. Esquema General a nivel de Epitelio Vaginal y de su análisis por Visión Artificial.**

- Sistema Experto de identificación de minerales en microscopio



**Figura. 1.7. Imagen de células con minerales y de su análisis por Visión Artificial.**

Aunque aún estamos lejos de contar con una visión artificial parecida a los animales inferiores, no se diga a la humana, pero la visión por computadora actual tiene ventajas grandes como que lo que hace lo puede hacer muy bien e independientemente de factores tales como cansancio, estado de ánimo, etc.



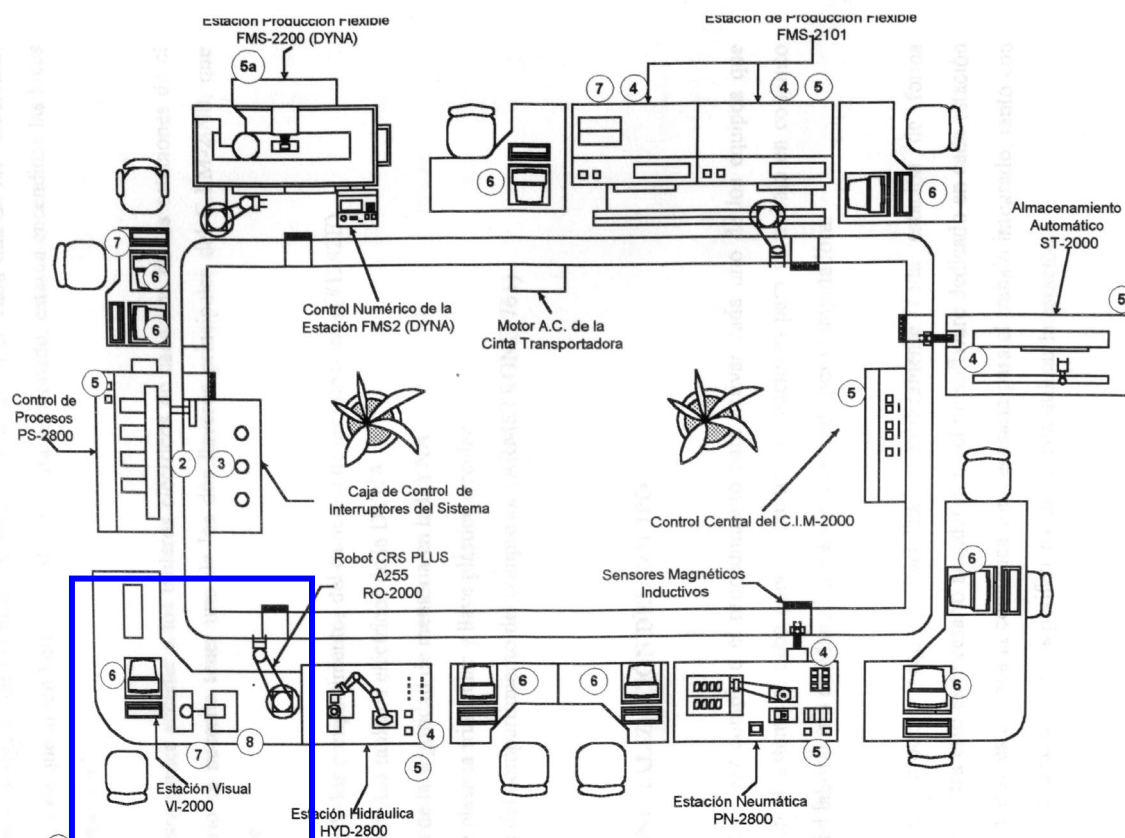
## **CAPÍTULO II**

### **DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA**

#### **2.1 Descripción del sistema actual VI 2000 y razones para darlo de baja**

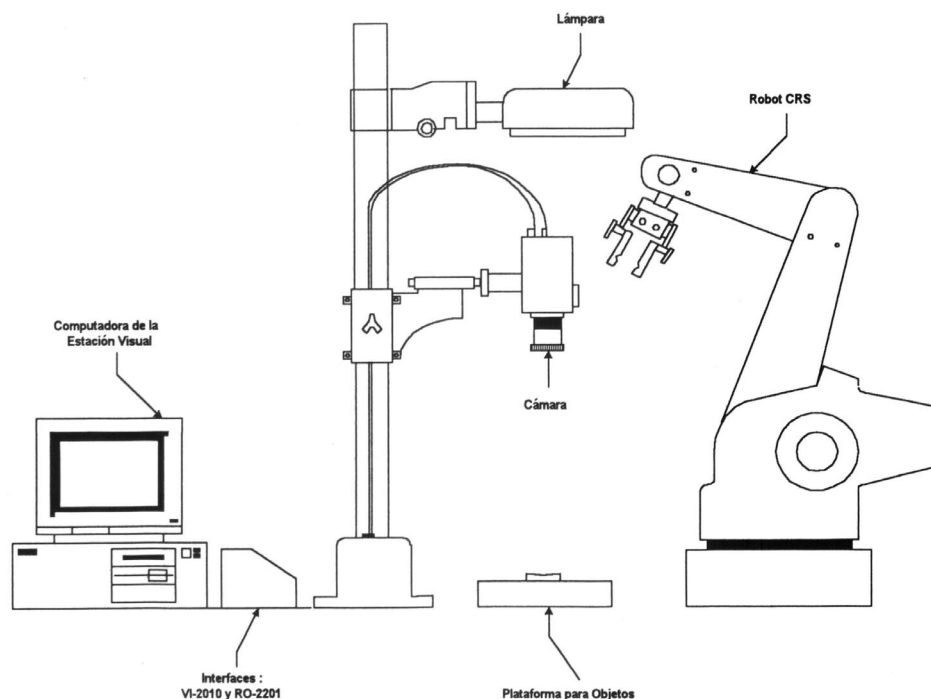
Actualmente el CIM 2000 cuenta con una estación de control de calidad por medio de inspección visual inoperante.

La estación de control de calidad VI 2000 se encuentra luego de la estación de Control de Procesos PS 2800 en orden de operación en el Laboratorio CIM 2000 (Figura 2.1). Esta ubicación lo dispone para realizar el proceso de control de calidad luego de todo el proceso productivo y antes del proceso de almacenamiento.



**Figura. 2.1. Diagrama General del CIM 2000 y ubicación de la estación VI 2000 y la nueva VI 2005**

La estación VI 2000 consta básicamente de tres componentes principales: la cámara junto con el pozo de luz encargada de la adquisición de la imagen en condiciones óptimas; el brazo robótico A255 encargado de trasladar la pieza desde la banda transportadora hasta el pozo de luz y viceversa; y el computador junto con el paquete LabVIEW encargado del análisis de la imagen y la toma de decisiones según las características de esta.



**Figura. 2.2. Diagrama General de los Elementos de la estación VI 2000 y VI 2005**

El sistema actual es de Degem-System y es un sistema totalmente cerrado que no permite actualización ni traspaso a otros equipos.

La cámara analógica de estado sólido OSCAR CCD modelo OS-25 con sensor de adquisición CCD (Charge Complete Device), que transmite la información a una tarjeta de adquisición de imágenes IP-8/AT MATROX<sup>2</sup> que luego envía la información para ser operada por la tarjeta VGAWONDER XL24. Las dos solamente puede ser operadas en la computadora en la que hace cinco años fue instalada y que permanece hasta ahora, una 386; esta computadora como es obvio cuenta con características de velocidad, almacenamiento y sistema operativo totalmente desactualizados.

Por otro lado el software por el cual se opera la cámara y el proceso de adquisición de la imagen es totalmente cerrado, trabaja únicamente bajo DOS y no cuenta con los drivers necesarios para su traslado a otros sistemas operativos, lo que lo convierte en un sistema inamovible.

<sup>2</sup> Para más detalles Ver: Rodolfo X. Gordillo, TESIS DE GRADO DOCUMENTACIÓN PARA LA INSTALACIÓN MANENTENIMIENTO Y OPERACIÓN DEL SISTEMA DE MANUFACTURA INTEGRADA POR COMPUTADOR, Sangolquí, 1996.

## 2.2 Opciones de diferentes sistemas de visión artificial y razones para escoger IMAQ (operativas y económicas)

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) es un ambiente de desarrollo basado en programación gráfica nacida del lenguaje G. LabVIEW puede comunicarse totalmente con hardware de varios tipos: GPIB, VXI, PXI, RS-232, RS-485, etc.

LabVIEW nace como un sistema de instrumentación virtual que se ha ido desarrollando y expandiendo en estos años.

El paquete de software LabVIEW 7.0 nace en 1996 desde la compañía Nacional Instruments que inicia su operación en 1976. Es un paquete que en estos casi 10 años de experiencia ha optimizado totalmente sus procesos a fin de ofrecer una mayor flexibilidad y operabilidad al programador junto con un proceso más sencillo e intuitivo. Inicia en 1976 trabajando con GPIB y en su desarrollo se convierte en un sistema de instrumentación virtual que integra las etapas de instrumentación y control de procesos.

Este paquete de software nos permite tres principales mega tareas:

ADQUISICIÓN



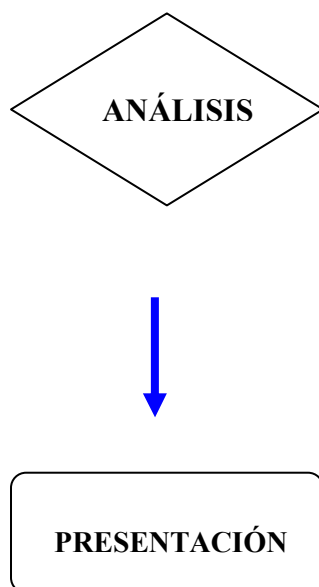


Figura. 2.3. Diagrama de Flujo general del sistema

**Adquisición:** Permite adquirir señales analógicas o digitales en varios rangos de tensión, frecuencia y espectro según el componente por el cual se adquiera la señal, estos componentes pueden ser: puertos paralelos, puertos seriales, puertos IEEE1394, tarjetas de uso especial, Redes, etc.

**Análisis:** Las señales adquiridas pueden ser analizadas de múltiples formas según el interés específico. Por medio de los Toolbox específicos es casi total la capacidad de análisis de las señales.

**Presentación:** Una vez terminado el proceso de análisis y ya contando con los datos definitivos LabVIEW permite presentar estos resultados de múltiples formas facilitando así la interpretación de estos datos y la interacción con el sistema analizado.

LabVIEW se presenta en varias versiones y modalidades. Desde la estudiantil con acceso restringido, pasando por la Express que como versión básica permite

diseño de todos los programas usando Toolbox (programas adicionales que complementan las capacidades específicas del software); hasta la versión profesional que entre otras potencialidades permite transformar los programas diseñado a ejecutables para ser corridos sin necesidad de LabVIEW.

La versión utilizada para la implementación de este proyecto es la más actual, es decir LabVIEW 7.0 en su versión Express. Se ha elegido esta versión del software principalmente porque esta es el resultado de una re ingeniería de este Paquete realizado desde Nacional Instruments tendiendo a integrar en este paquete todas las potencialidades del resto de ofertas de software con que contaba NI en el mercado.

Dentro de las potencialidades de esta versión de LabVIEW es el contar con VI's Express como última categoría de programación.

VI's Express
VI's
Flujo de Datos
Compiladora
Sistema Operativo

**Tabla. 2.1. Niveles de LabView**

Esta capacidad facilita sustancialmente la programación gráfica, reduciendo no solo el tiempo de programación sino incluso la complejidad topográfica y de comprensión del programa.

Otros programas que fueron estudiados pero que no ofrecían las características de operación y facilidad de programación como LabVIEW con el Toolbox IMAQ fueron: C++, Visual Basic, Java, Matlab

### 2.3 Alternativas de Implementación de este Proyecto

Una de las alternativas que fue estudiada para la implementación de este proyecto fue otra de las opciones que nos ofrece National Instrument esta vez desde el Compact Vision NI CVS-1454/5. Este es un equipo que permite hacer la adquisición de la imagen en tiempo real por Fire wire, el análisis y el almacenamiento de imágenes sin necesidad de un computador. En este equipo se podría correr el programa ejecutable de LabVIEW del proyecto VI 2005 para correr a nivel industrial.

Las especificaciones de este equipo son:

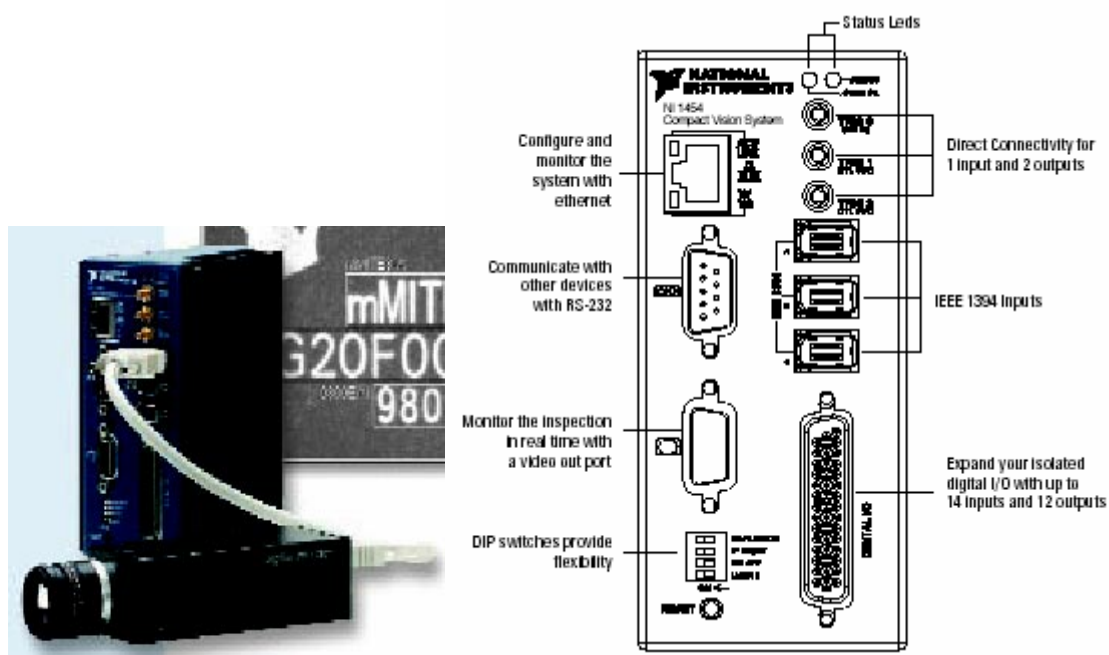


Figura. 2.4. Foto y Esquema del Sistema Compaq Vision de National Instruments

- 3 entradas de video Fire Wire
- Procesador de alto rendimiento y velocidad 1436 MIPS
- Operación entre temperaturas de 0° C a 55° C.
- Puertos Ethernet y Rs-232
- 15 entradas digitales y 14 salidas digitales para control de triggers, cámaras, etc.
- 128 Mb de DRAM
- 32 Mb de memoria no volátil

- Resolución de hasta 2000X2000
- Salida VGA para presentar resultados en real time
- Capacidad de extender las I/O por medio de fieldPoint.
- Capacidad para trabajar con LabVIEW, IMAQ, OSR, etc.

Esta podría ser una opción muy válida en caso de tratarse de un ambiente industrial en el cual las condiciones extremas sean imperantes y en el que se requieran del uso de varias cámaras; sin embargo teniendo en cuenta que el proyecto actual está diseñado para un ambiente exclusivamente de laboratorio con fines principalmente pedagógicos es mucho mejor el uso de un computador en el cuál se pueda acceder y manipular el programa que realiza todas estas tareas. Adicional a esta, un equipo de este tipo con una capacidad de 3 cámaras tiene un costo de entre **\$2.995** y **\$4.000** a comparación de un computador que no supera los **\$1.800** Sin embargo para usos industriales esta podría ser una gran opción a tener en cuenta.



## CAPÍTULO III

### IMPLEMENTACIÓN GENERAL DEL SISTEMA

#### 3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA VISIÓN VI 2005

##### 3.1.1 Alcance del Proyecto

El proyecto ha sido diseñado dentro de los siguientes alcances:

- Las mediciones de la pieza a inspeccionar solo podrán ser perimetrales, más no internas (orificios, altura, etc.).
- La pieza medida deberá ser totalmente sólida y no de materiales translúcidos.
- La pieza deberá ser de color oscuro.
- Resolución máxima de medición de cada pieza 1 píxel = 0,5 mm.
- Que la pieza cuando sea colocado por el robot para la inspección física no tenga una variación de más de  $\pm 65^\circ$  de rotación.
- El proceso de trabajo será en laboratorio y no a nivel industrial con fines principalmente pedagógicos; sin embargo con pocas adaptaciones puede ser implementado a nivel industrial.
- No se hará análisis de color , de superficies ni de texturas de las piezas.
- El actual proyecto solo puede analizar la pieza y compararla con un patrón básico. Con pequeñas modificaciones puede abrirse para manejar dos o más patrones de comparación.

### 3.1.2 Parámetros y Necesidades

#### Tipo de Cámara

Al momento de elegir una cámara es importante realizar un estudio del objeto tipo que se analizará en lo concerniente a movimiento, forma, superficie, tamaño, etc., esto nos llevará a una correcto escogitamiento de la cámara a adquirir.

Las principales partes y dimensiones de una cámara digital que tienen que ser tomadas en cuenta cuando uno escoge una cámara son:

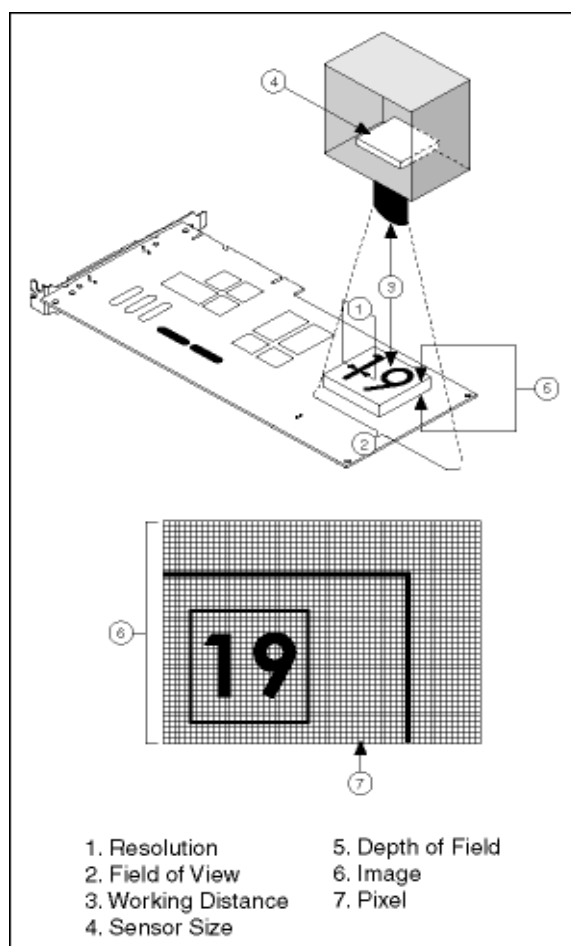


Figura. 3.1. Partes de una Cámara Digital y su Operación en Visión Artificial.

La cámara que necesitamos debe cumplir los siguientes requisitos para poder ser eficaz en el proyecto propuesto:

- Tener un Field of View (FOV) mínimo de 9X9 cm., por el tamaño de las piezas producidas en el CIM 2000.
- Tener una resolución mínima de 0.5mm
- No es indispensable que sea a color.
- Tiene que poder ser manejada por LabVIEW, es decir compatible con NI
- Cómo la pieza va a estar estática no se requiere que pueda procesar piezas en movimiento ni que tenga una un número excesivo de frames per second.
- Debe poder ser operada bajo el sistema operativo Windows XP.
- Debe operar con una tecnología que permita omitir el uso de una tarjeta de adquisición de imágenes
- Debe ser lo más económica posible.

Estos datos se desprenden de los siguientes cálculos:

### **Definición de la Resolución de la Cámara**

La pieza tiene una medida de 9x9 cm, nos interesa el diferenciar si una pieza es distinta a otra en una medida mínima de 0.5 mm, por lo tanto la resolución mínima del sistema tiene que ser 0.5 mm.

La Field of View (FOV), es decir el campo de visión de la cámara deberá ser mínimo de 95X95 mm

La Resolución del Sensor, "Sensor Resolution" está determinada por la siguiente ecuación:

$$SR = \left( \frac{FOV}{Resolución} \right) * 2 = \left( \frac{FOV}{SizeofSmallesFeature} \right) * 2 = \left( \frac{110mm}{0,5mm} \right) * 2 = 440mm$$

Number of CCD Pixels  $SR = 440mm * 440mm$

Un sistema estándar sería: Number of CCD Pixels  $SR = 480X480 mm$

El tamaño real del sensor deberá ser de 1/3 Inch o de 1/2 Inch

Luego de investigar, se encontró alrededor de veinte cámaras que cumplían los requisitos mínimos, de las cuales hemos elegido las siguientes para una última selección. Se muestran a continuación las especificaciones de las cámaras de la selección final:

FIRE I Unibrain	640X480	30	Fire wire	2000,XP, Mac	SI	\$100
Sony DFW V500/VL500	640 x 480	30	Fire Wire	2000,XP, Mac	SI	\$ 300
Ibot Orange Micro	640X460	30	Fire Wire	Windows, Mac	SI	\$120.14
SONY DFW X700/ SX900	1024X768	Progressive Scan	Fire Wire	Windows, Mac	SI	\$ 350

**Tabla. 3.1. Opciones de Cámaras**

Es importante anotar que un factor utilizado al escoger el equipo con el que implementar el equipo fue determinar la mayor o menor accesibilidad a estos equipos en Ecuador, Latinoamérica o América en general.

Luego de una seria investigación vía Internet y por asuntos económicos y por factibilidad de adquisición del equipo se optó por la cámara Fire I de Unibrain. Esta cámara cuenta con las siguientes características:



- Monitoreo para Casa u oficina compatible con Microsoft NetMeeting. Posible operación de cámaras simultaneas conectadas en serie y presentadas en la misma computadora.
- Bajo consume de poder(ideal para laptops)
- Incluye un lente de 4,65 mm con cubierta anti-reflectiva.
- Dos puertos de 400Mbps.
- Resolución de 640x480
- 30 frames per second
- Clip para fácil instalación y sistema portátil.
- Compatible con programas de National Instruments.

### 3.1.3 Diagrama de Procesos y de Bloques del Sistema

#### Diagrama de Flujo del Sistema

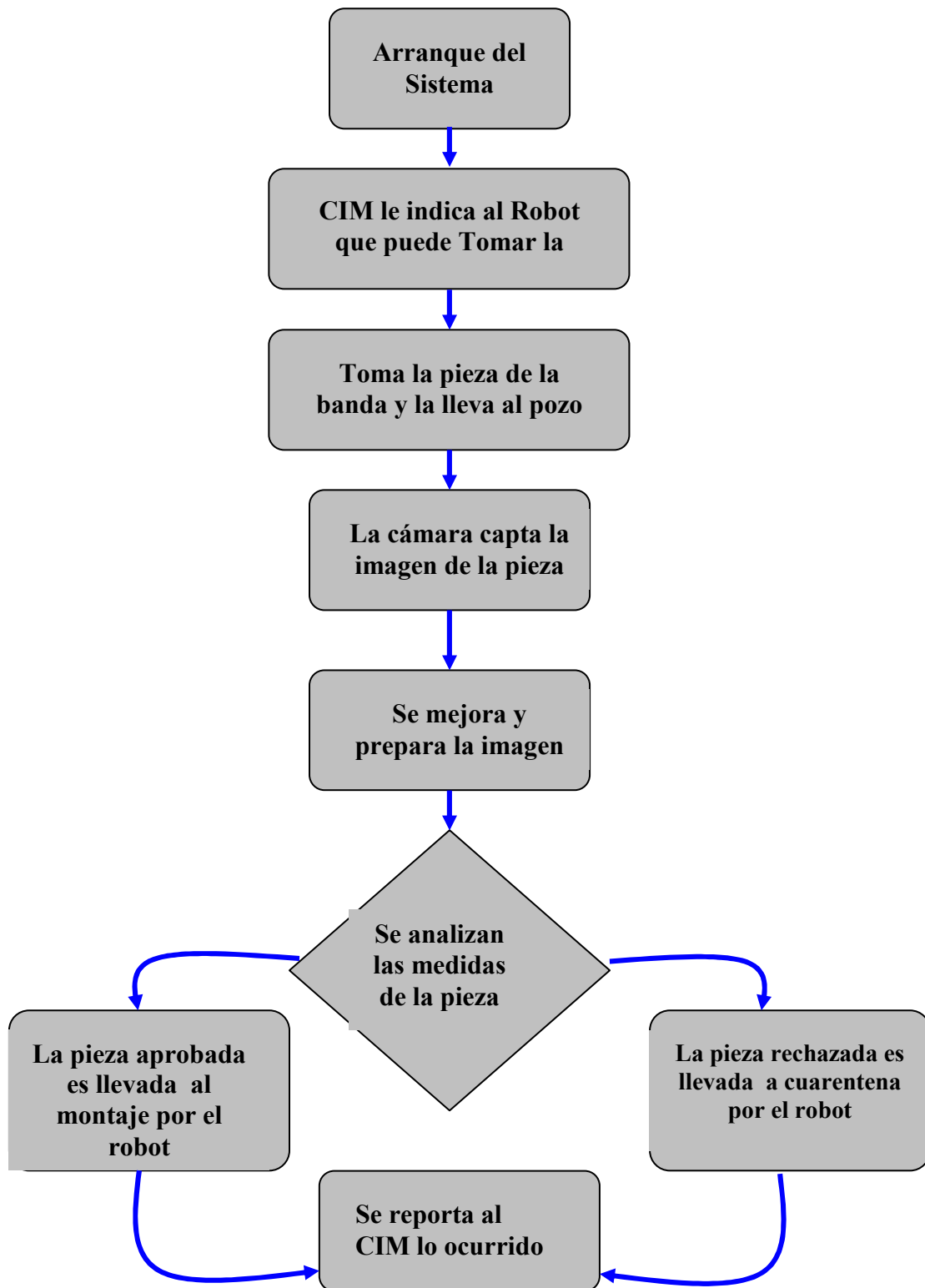


Figura. 3.2. Diagrama de Proceso del Sistema

La estación VI 2005 ha mantenido la relación de operación en arquitectura y operatibilidad con el control central del CIM y con la estación hidráulica HYD-2000; la descripción de compatibilidad con esta estación no se desarrolla en este documento por ser idéntica a la estación VI 2000.

### Proceso de Sincronización Computadora Robot



A255 robot

#	LABVIEW	ROBOT
1	Activación Computadora	Activación Robot
2		Correr programa Robot VI2005
3		Outp 0
4	Fijar datos iniciales en el programa	
5	Correr programa LabVIEW VI2005	
6	Outp 7pin (LabVIEW listo) <sup>3</sup>	
7	Lee puerto Si entrada =0, espera	
8		Se recibe Señal del LabVIEW listo :si pin 9==1
9		Coge Pieza de la banda transportadora
10		Coloca pieza en el pozo de luz
11		Se retira a home
12		Outp (1 pin)1024
13	Si entrada =(1pin)10240, sigo	Delay 100
14	Capturo foto de la pieza	Outp 0
15	Mejoro imagen y tomo medidas	Leo puerto si entrada =0, espero

<sup>3</sup> Este paso será necesario en el caso que se opte por correr con el programa original del Robot en la estación VI2000 ya que antes de operar analizar el estado del resto de estaciones y etapas.

16	Si pasa outp 5pin, si falla outp 6pin	
17	Delay 100	Si entrada =5pin, regreso la pieza a la banda transportadora. Si entrada =6pin pongo la pieza aparte
18	Outp 0	Regreso a Home
19	Goto 7	Reporto al CIM lo ocurrido
20		Goto 8

**Tabla. 3.2. Diagrama de Relaciones entre el robot y el computador**

## 3.2 HARDWARE UTILIZADO

### 3.2.1 Robot CRS Robotic A255

La mayoría de las estaciones del CIM 2000 se interlazan por medio de la operación de PLC's, pero en el caso de la estación VI 2000 y la VI 2005 la comunicación con el CIM es por medio del controlador del Robot desde el puerto GPIO (Puerto de Propósito General de Entradas y Salidas).



A255 robot

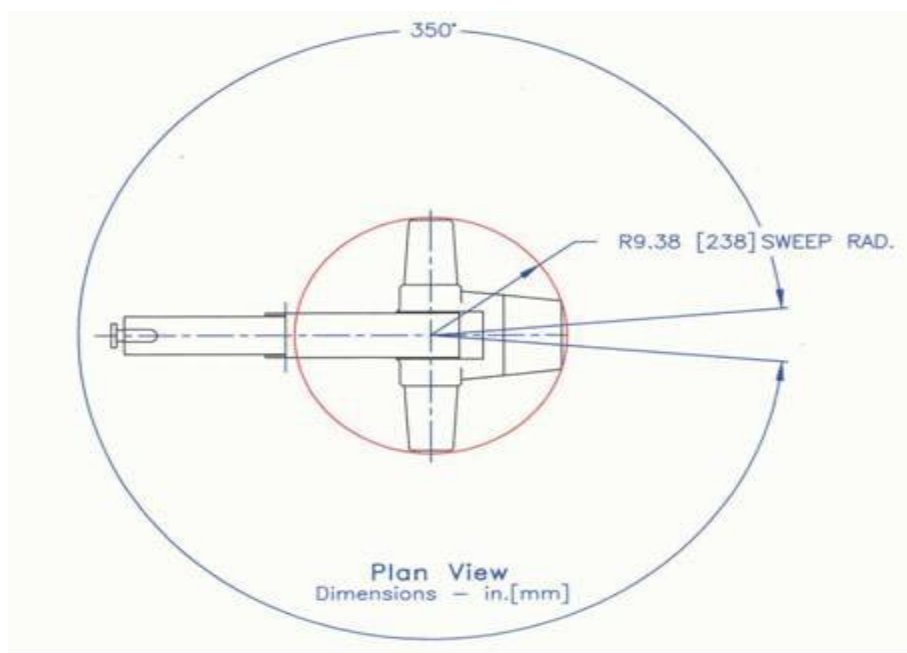
El Robot CRS Robotics A255 es uno de los brazos mecánico con seis grados de libertad como se muestra en la Figura 3.3. Las dimensiones del robot se asemejan a las del brazo humano en lo referente a proporción. El robot A255 se puede manejar utilizando el lenguaje RAPL-II<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> Robot Automation Programming Language - II, por sus siglas en inglés.



Cada grado de libertad se encuentra basado en Servomotores con sensores ópticos que pueden llevar al órgano terminal a las coordenadas u orientaciones definidas por el usuario. El controlador permite la manipulación del robot ya sea en coordenadas absolutas con respecto a su espacio de trabajo o en coordenadas relativas con respecto a su posición, así como la manipulación de cada grado de libertad. Para que el robot pueda cumplir su tarea se le debe instalar un órgano terminal adecuado a labor que vaya a realizar.

El robot A255 puede ser operado por una consola de operación vía comunicación serial o por medio de un sistema de cómputo (PC) a través de alguna de las dos configuraciones de transmisión serial que el controlador tiene ya definidas.



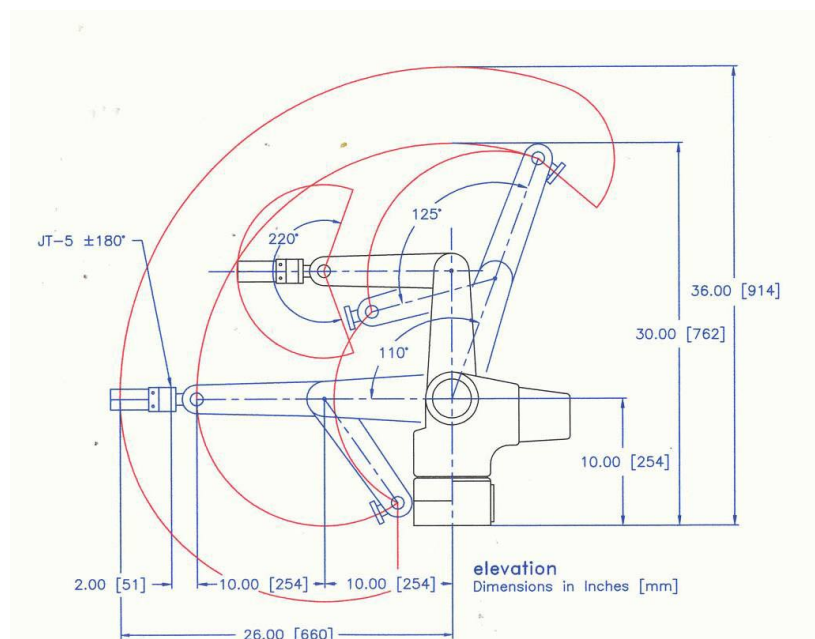


Figura. 3.3. Vista superior y Lateral del rango de operación del brazo robótico

### Controlador CRS C500C

Es el sistema que se encarga de la coordinación de los movimientos de las articulaciones del robot. Manipula y calcula su cinemática y su dinámica por medio de un controlador C500C con algoritmos de control tipo PID, en conjunto con un procesador INTEL 80286 con



coprocesador matemático 80287 que soporta el lenguaje de programación RAPL-II. Contiene 256 KB de memoria RAM que le permiten almacenar variables y programas; tiene la capacidad de ejecutar programas y realizar el cálculo de trayectorias a través de diversos algoritmos. Este controlador es capaz de comunicarse con un sistema de cómputo personal por medio de una interfaz de

comunicación serial Dual RS232 a una velocidad configurable estándar de 38400 BPS para ampliar la manipulación del robot.

Este controlador posee dieciséis entradas y doce salidas de datos optoaisladas, las cuales pueden expandirse por medio del uso de un PLC y es capaz de manejar hasta ocho ejes simultáneamente.

En el controlador se maneja la comunicación con el CIM, con la estación VI, con la estación Hidráulica, etc. La descripción de señales en el controlador es:

No	ENTRADA	SALIDA
01	CIM PIDE TRABAJO	<b>SE PIDE INSPECCIÓN A VISIÓN<sup>5</sup></b>
02	TOMAR DESDE CONV	LIBRE PARA VISIÓN
03	PONER EN CONV (CIM)	LIBRE PARA VISIÓN
04	1=CIL 0=CUB	INICIAR CICLO PARA HYD 2800
05	HYD 2800 LISTO	---
06	----	SALIDA EXTERNA
07	----	SALIDA EXTERNA
08	----	SALIDA EXTERNA
09	<b>VISION LISTO</b>	SALIDA EXTERNA
10	<b>PARTE CORRECTA</b>	SALIDA EXTERNA
11	<b>PARTE DAÑADA</b>	SALIDA EXTERNA
12	----	SALIDA EXTERNA
13	----	LISTO PARA TOMAR
14	----	PEDIDO DE RETORNO DE PARTE (CIM)
15	----	PARAR VAGÓN EN EL PUERTO
16	----	SIN USAR

**Tabla. 3.3. Registro de Entradas y Salidas del GPIO de Robot**

### Consola de operación

Es un dispositivo que se conecta al controlador por medio de un cable serial de

tres metros de longitud, posee una pantalla tipo LCD de despliegue de cuatro filas por veinte caracteres



<sup>5</sup> En rojo y negrita los datos que interactúan directamente con el programa VI 2005.

diseñada para mostrar los mensajes del controlador al usuario del robot.

Cuenta con un interruptor de activación y un botón de paro de emergencia. Desde aquí es posible la manipulación del robot, la fijación de puntos para generación de trayectorias y la configuración del controlador.

### Lenguaje RAPL-II

El robot A255 utiliza el lenguaje de programación RAPL-II. Este lenguaje permite por medio de instrucciones simples, la manipulación del robot, ya sea de cada grado de libertad o movimientos más elaborados para traslación del órgano terminal en coordenadas absolutas o relativas a su posición. También es usado en los programas de control y manipulación del robot desarrollados para esta investigación.

La compañía CRS Robotics es propietaria del lenguaje, usa el sistema llamado English- Like para generar comandos de movimiento del robot, así como la capacidad para incluir expresiones matemáticas en la sintaxis de los comandos, su manipulación y programación es muy similar a la del lenguaje C.

### 3.2.2 Cámara digital FIRE-i

Se requirió para el proyecto una cámara que sea capaz de interactuar y ser manipulada por el paquete LabVIEW con IMAQ; que a la vez sea económica, con la velocidad necesaria para captar



las imágenes y que no requiere de una tarjeta de adquisición de imágenes. El equipo más indicado para este propósito fue la FIRE-i de Unibrain.

Las características básicas de la cámara son:

- Monitoreo para Casa u oficina compatible con Microsoft NetMeeting. Posible operación de cámaras simultaneas conectadas en serie y presentadas en la misma computadora.
- Bajo consume de poder (ideal para laptops)

- Incluye un lente de 4,65 mm con cubierta anti-reflectiva.
- Dos puertos de **400Mbps**.
- Resolución de 640x480
- 30 frames per second
- Clip para fácil instalación y sistema portátil.

<b>Interface</b>	<b>IEEE-1394a</b> (FireWire) 400 Mbps, 2 ports (6 pins)
<b>tipo de Camera</b>	IIDC-1394 Digital Camera, V1.04 Specification
<b>tipo de Sensor</b>	compliant
<b>Resolución</b>	Sony™ Wfine* 1/4" CCD Color, progressive, square
<b>Optics</b>	pixels
<b>Modos de video</b>	VGA 640 x 480
<b>Frame Rates</b>	Built-in f 4.65 mm lens, anti-reflective coating
<b>Gain</b>	YUV (4:1:1, 4:2:2, 4:4:4), RGB-24bit, Monochrome-
<b>Disparador</b>	8bit
<b>Gamma</b>	30, 15, 7.5 and 3.75 frames per second
<b>Balance de blancos</b>	Automatic or Manual Control 0-30 dB
<b>Saturación de Color</b>	Automatic or Manual Control 1/3400s-1/31s
<b>Compensación de</b>	ON / OFF (visual use / image processing use)
<b>Backlight Compensation</b>	Automatic or Manual Control
<b>Sharpness</b>	Adjustable
<b>Características</b>	6 modes + OFF
<b>especiales</b>	Adjustable
<b>Alimentación de Energía</b>	Software sleep mode, Color bar generator 8 to 30 VDC, by 1394 bus or external jack input
<b>Dimensiones (WxHxD)</b>	Consumption 1W max, 0.9 W typical, 0.4 W sleep
<b>Material y Peso</b>	mode
<b>accesorios Incluidos</b>	62 x 62 x 35 mm
<b>Software Incluido</b>	Plastic, 60 gr Spring clip, 2m FireWire cable Fire-i™ Software

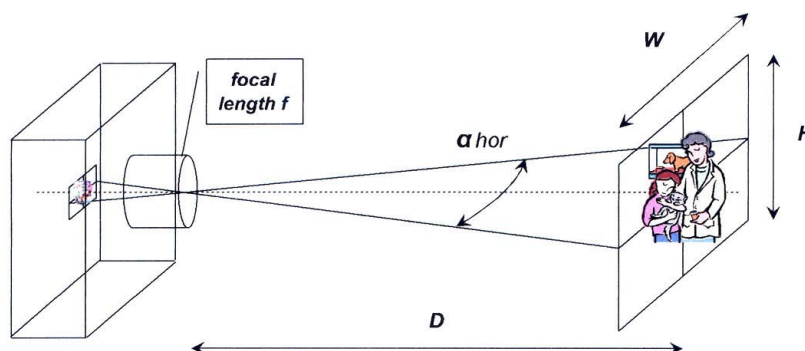
Tabla. 3.4. Características de la Cámara Fire i

- Temperatura/Humedad de operacion** -10 to 50C / 20 to 80 % rel., non cond.
- Temperatura/Humedad de almacenamiento** -20 to 60C / 20 to 95 % rel., non cond.
- Dimensions (W x H x D)** 62 x 62 x 35 mm without clip
- Consumo de Energía de** 8 a 30 VDC
- Fuente de** 1394 link/external jack input
- Standby power** 400 mW typ., 450 mW max.
- Potencia de Operación** 900 mW typ., 1 W max.

Esta cámara tiene un lente incorporado lo que evita tener que adquirirlo aparte. Con el lente es capaz de tener la siguiente relación de enfoque:

Viewing angles for **unibrain** Fire-i Digital camera

Lens is built-in



Lens focal length	Horizontal viewing angle	Vertical viewing angle	Diagonal viewing angle	Size of the reality for D = 0,5 m (see note)		Size of the reality for D = 5 m	
				W	H	W	H
<b>f</b>	<b><math>\alpha_{hor}</math></b>	<b><math>\alpha_{vert}</math></b>	<b><math>\alpha_{diag}</math></b>				
(mm)	(°)	(°)	(°)	(m)	(m)	(m)	(m)
2.10	80.95	65.24	93.70	0.853	0.640	8.53	6.40
4.50	43.43	33.26	52.93	0.398	0.299	3.98	2.99
4.65	42.15	32.24	51.44	0.385	0.289	3.85	2.89
12.00	16.99	12.78	21.15	0.149	0.112	1.49	1.12

Note : each lens has a minimum object distance, that may be longer than 0,5 m



**Figura. 3.4. Esquema del alcance del lente de la cámara Fire-i**

Con el software que trae incorporado es capaz de:

- Adquirir la imagen desde el puerto 1394

- Adquirir imágenes en formato de grabación continua
- Tomar fotos
- Fijar los parámetros de adquisición de la imagen
- Análisis básico de la imagen: histograma.

Comparando con otra cámara con similares características, que también fue una opción para el proyecto tenemos:

	Fire-i 	iBot 
<b>Puertos duales FireWire</b>	•	-
<b>Cable Fire Wire</b>	•	-
<b>Fácil montaje y operación</b>	•	-
<b>Operación con poca luz</b>	•	-
<b>Daisy-chaining ability</b>	•	-
<b>Consumo de Baja Potencia</b>	•	-
<b>Software incluido</b>	•	-
<b>Adaptador externo de poder para tarjetas PCMCIA</b>	•	-
<b>Modo de barras de colores</b>	•	-
<b>Formato Compatible YUV 4:1:1, 4:2:2, 4:4:4, and RGB 24-bit</b>	•	•
<b>Sensor de Image 1/4" Color CCD</b>	•	•

Milliones de colors, 24-bit	•	•
PCI 2.1 Compliant	•	•
lente focalizabre desde 1cm hasta el infinito	•	•
Plug 'n' Play	•	•
Video no comprimido de 30fps, 640 x 480	•	•
Condiciones de Garantía	2 Y Worldwide	1 Y US – 2 Y Europe

**Tabla. 3.5. Comparación entre las cámaras Fire i y la Ibot**

Un dato vital para poder utilizar una cámara para este proyecto es conocer si es compatible y manejable desde LabVIEW. No cualquier cámara puede ser controlada por IMAQ, y menos si no son cámaras industriales. La lista de cámaras factibles es:

Fábrica	Modelo
Sony	CCM-DS250
Sony	DFW-V300
Sony	DFW-V500
Sony	DFW-VL500
Sony	DFW-X700
Sony	DFW-SX900
Sony	XCD-X700
Sony	XCD-SX900
Basler	A101f
Basler	A301f
Basler	A302f



ADS Technologies	Pyro Webcam**
OrangeMicro	ibot**
Supercam Inc	SD Firecam
Procomp	S-Cam 400
IOI 1394	Firecam
Hamamatsu	ORCA-1394
PointGreyResearch	Dragonfly
Unibrain	Fire-i

**Tabla. 3.6. Lista de Cámaras compatibles con National Instruments**

Una de las principales ventajas de esta cámara además de ser compatible con todo programa de National Instruments es que se conecta a la computadora por medio del puerto IEEE-1394 lo que evita el tener que gastar en tarjetas adicionales para la adquisición de la imagen; además este puerto permite una velocidad de comunicación de hasta 400 Mbps. Esto nos permite realizar todas y más operaciones dentro del proyecto planteado por un costo no mayor a \$120. Otra potencialidad es que permite la conexión serial de otra cámara abriendo la posibilidad de proyectos de visión estereoscópica.

La cámara adquirida para el desarrollo de este proceso de tesis queda como donación al laboratorio CIM2000 para su utilización en la estación VI2005.

### **3.2.3 Interfaz VI2010; RO2201; IVI2005**

Para la comunicación entre la computadora y el Robot A255 se requirió del uso de una interfase VI2010 y RO2201 que eran parte del equipo del laboratorio CIM 2000. Esta interfaz consta de dos etapas:

- 1) El equipo VI2010 entre la tarjeta Degem System del computador y el equipo RO2201. Este bloque recibe 25 líneas de la tarjeta Degem System de 12V que activan los relés con su correspondiente indicador.  
Esta interfaz contiene una fuente regulada de 220V de red en 12 Vdc y 24 Vdc que antes eran necesarios para la polarización de las entradas y salidas del programa de control y la cámara OSCAR CCD, pero ahora son nuevamente transformadas por la tarjeta IVI 2005.  
Además esta interfaz recibe las 16 señales del bloque RO2201 de 22V con las cuales se activan los relés que proporcionan 12V a las entradas de la tarjeta Degem System para comunicarse con el computador. Este equipo tiene como conducto de entrada salida un conector DB 25 macho. La configuración de los pines en este conector es la siguiente: pin 13 tierra, pin 14 al 21 entradas al equipo (12V) y pin 15 y 16 salidas de la tarjeta Degem System.
  
- 2) El equipo RO2201 entre el equipo VI2010 y el Controlador del Robot C500C. Este bloque recibe las señales de 22V generadas por la interna VI2010 y por indicación de la computadora y las transmite hasta el controlador C500C por medio del puerto GPIO (Puerto de Entradas y Salidas de Propósito General) luego de una etapa de protección. De igual manera realiza la tarea inversa. Además el RO2201 permite la comunicación entre el Robot A255 por medio del controlador C500C y las líneas discretas del control central del sistema CIM 2000. Por medio de este canal de comunicación el robot conoce si la pieza ha llegado al lugar donde debe ser recogida por el brazo robótico y además de qué pieza se trata.
  
- 3) El equipo IVI2005 entre el computador y el bloque VI2010. Este equipo fue necesario diseñarlo para reemplazar la tarjeta Degem System que en el sistema anterior se encargaba de enviar y recibir la información de la computadora. Esta tarjeta recibe las señales que produce la computadora desde el puerto paralelo (5V TTL) y las transforma en señales de 12V y 1 A capaces de activar los relés del bloque VI2010. Además recibe las señales

---

de 12 V del equipo VI2010 y las transforma a señales que puedan ser recibidas por el puerto paralelo de cualquier computadora. Fue imposible utilizar la tarjeta Degem System ya que no conocíamos su operación, no existía documentación alguna y además se requería un equipo que pueda adaptarse a cualquier computadora incluyendo una laptop, y esta tarjeta utiliza el puerto ISA para operar. La tarjeta IVI2005 cuenta con 7 salidas de potencia de 12V y 1A (pin 2 a 8 del Conector DB25 Macho al Interfaz) y 2 entradas capaces de recibir hasta 25V (pin 15 y 16 del Conector DB25 Macho al Interfaz); el pin 13 es la señal de tierra. En el Conector DB 25 Macho al computador los pines 2 a 8 son las salidas de puerto paralelo estándar, el pin 10 y 12 las entradas y el pin 24 y 25 la tierra. Esta tarjeta se alimenta por medio de una única señal de 12V. Figura 3.5.

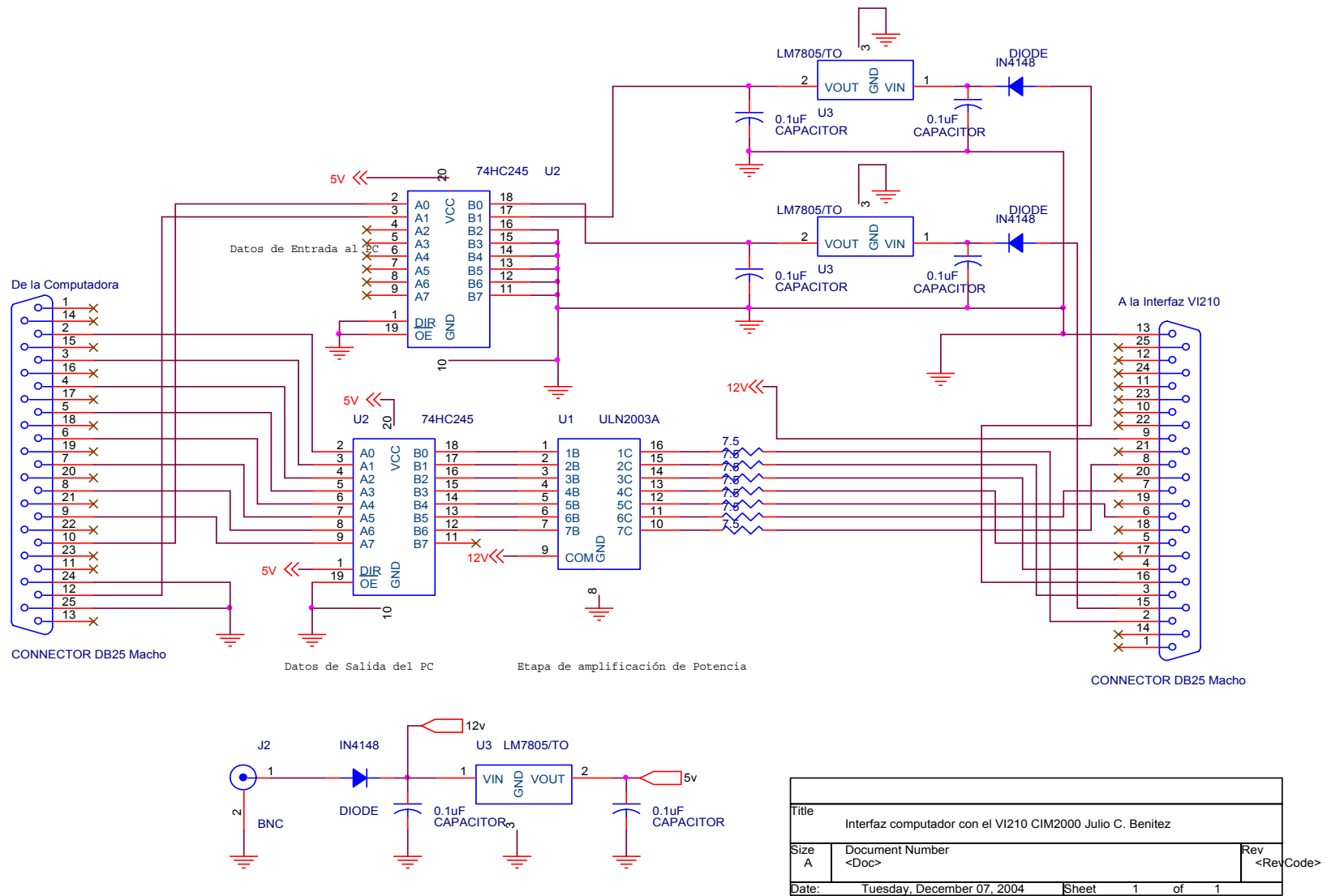


Figura. 3.5. Esquema ORCAD de la tarjeta IVI 2005

Esta etapa intermedia entre el Robot A255 y la computadora que realiza la comprobación de la pieza, es muy importante y cumple como misiones proteger tanto la computadora como el controlador C500C del Robot y acoplar las diferentes señales ya que la computadora solo maneja señales TTL de poco amperaje y el puerto GPIO de controlador C500C que maneja señales de amperajes y voltajes superiores.

Es importante anotar que en el sistema CIM 2000 todos estos bloques son totalmente cerrados y sin documentación ninguna por lo que para poder utilizar estos equipos de manera parcial, fue necesario todo un estudio y análisis prueba error con cada uno de estos equipos.

#### **3.2.4 Computadora**

La computadora cumple como tarea ser el centro de análisis de la imagen capturada por la cámara, luego tomar la decisión según las características de la pieza examinada comparada con los parámetros especificados. Era muy importante que el software esté en capacidad de realizar esta tarea de una manera segura y rápida para ser práctica a nivel industrial. Para esto se usó una computadora con las características necesarias para ofrecer esta velocidad:

- Procesador Intel Pentium 4 de 2,40 GHz.
- 512 RAM
- Disco Duro de 30 Gb
- Windows XP
- Puerto IEEE-1394 incluido
- Puerto Paralelo Estándar.

## Características del Puerto IEEE-1394 Fire Wire



Este estándar está basado en el estándar ISO/IEC 13213:1994 (ANSI/IEEE 1212) y nos ofrece una velocidad de transmisión 16 veces superior al USB, por ese motivo fue escogido como el sistema de comunicación de video hacia el computador.

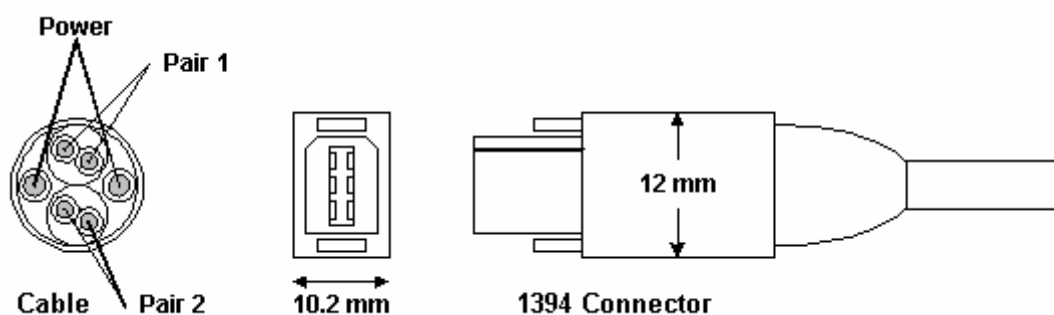


Figura. 3.6. Esquema de conformación de un cable IEEE-1394

Para tener una idea de las capacidades y potencialidades del Fire Wire 1394 y comparándolo con el USB tenemos:

	IEEE 1394 Firewire	USB
<b>Número máximo de dispositivos</b>	62	127
<b>Cambio en caliente (agregar o quitar dispositivos sin tener que reiniciar el ordenador)</b>	Sí	Sí
<b>Longitud máxima del cable entre dispositivos</b>	4,5 metros	5 metros
<b>Velocidad de transferencia</b>	200 Mbps (25 Mb/s)	12 Mbps (1,5 Mb/s)

<b>de datos</b>		
<b>Tipos de ancho de banda</b>	400 Mbps (50MB/s) 800 Mbps (100MB/s) 1 Gbps+ (125MB/s+)	Ninguno
<b>Implementación en Macintosh</b>	Sí	No
<b>Conexión de periféricos interna</b>	Sí	No
<b>Tipos de dispositivos conectables</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Videocámaras DV</li> <li>- Cámaras digitales de alta resolución</li> <li>- HDTV (TV de alta definición)</li> <li>- Cajas de conexiones</li> <li>- Discos duros</li> <li>- Unidades DVD-ROM</li> <li>- Impresoras</li> <li>- Escáneres</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Teclados</li> <li>- Ratones</li> <li>- Monitores</li> <li>- Joysticks</li> <li>- Cámaras digitales de baja resolución</li> <li>- Unidades CD-ROM de baja velocidad</li> <li>- Módems</li> </ul>

**Tabla. 3.7. Comparación entre USB y IEEE 1394**

En el proyecto no se requirió una tarjeta ya que el computador utilizado contaba con un puerto 1394 incluido, sin embargo para el resto de equipos se puede adquirir una tarjeta 1394 sumamente barata y adaptable a cualquier PC.



### 3.2.5 Iluminación Del Sistema de Visión

La iluminación juega un papel vital en la visión artificial, ya que de esta depende el correcto o incorrecto funcionamiento de todo el sistema. Tanto así

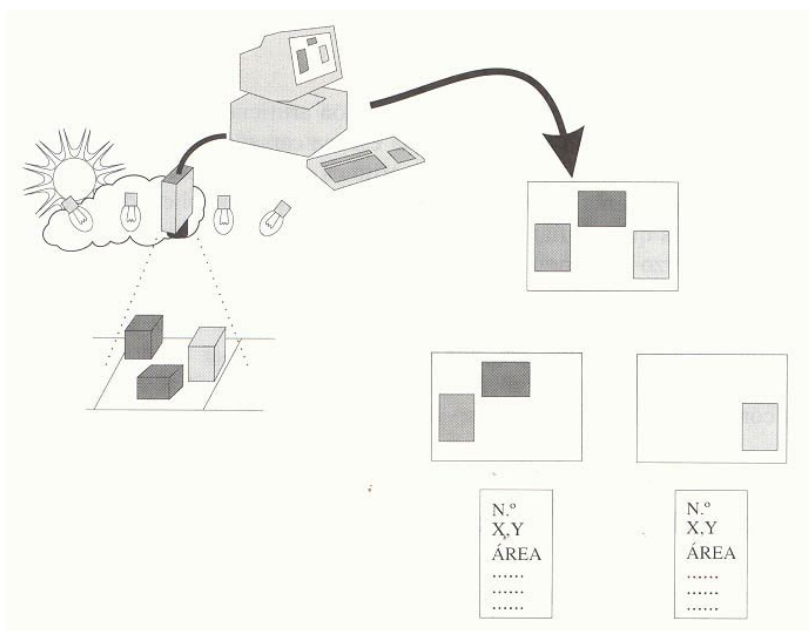
que a veces más que preocuparse de los algoritmos de análisis de la imagen, hay que concentrarse en la iluminación que facilitará este análisis.

La iluminación normal de un entorno, por lo general no es suficiente para el desarrollo correcto de la visión por computadora, por eso se requiere de iluminación adicional y específica.

Para determinar la iluminación necesaria en el proceso de adquirir la imagen a ser analizada, es preciso definir tanto las condiciones de la pieza como del ambiente que se será adquirida la imagen. En los materiales es posible que la luz de refleje totalmente en él, se absorba o se transmita y esto determinará el tipo de iluminación que se requiere.

Es indispensable para adquirir una imagen que se cumpla con:

- La iluminación debe ser homogenizada en todo el objeto.
- Es preciso eliminar cualquier tipo de reflejo.
- Ofrecer la claridad necesaria al área a ser estudiada.



**Figura. 3.7. Proyección bidimensional de un escenario tridimensional en Visión Artificial**



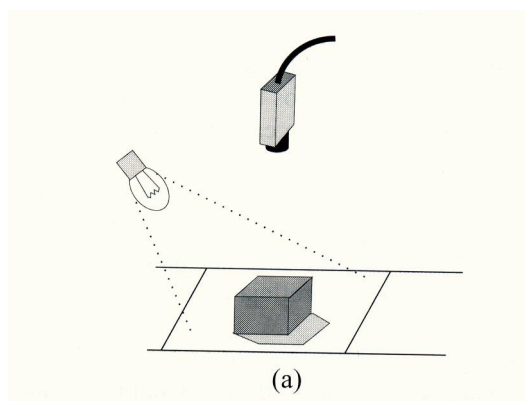
Existen varias metodologías de iluminación según el caso:

**Iluminación Tipo Strobe:** Se utiliza principalmente cuando el objeto que va a ser analizado se encuentra en movimiento. Por medio del uso del flash sincronizado con el uso de la cámara se obtiene una imagen estática de un objeto en movimiento.

**Iluminación Tipo Contraluz:** Se utiliza principalmente cuando solo se requiere el perfil del objeto analizado y se desprecian todas las características que no sean parte del perfil; con esta metodología se obtiene un perfil mucho más exacto del objeto.

**Iluminación Direccional:** Consiste en aplicar una iluminación orientada al objeto usando un haz altamente direccional. Se utiliza cuando se requiere obtener información de toda la pieza y no solo del perfil o cuando se requiere la información solo del perfil de la pieza sin un mayor grado de precisión.

**Iluminación Difusa:** Se intenta que los haces luminosos incidan sobre el objeto analizado desde todas las direcciones. Se utiliza cuando se van a tomar imágenes a través de microscópios.



**Figura. 3.8. Esquema iluminación directa**

Existen también otras metodologías de iluminación específicas según el análisis que se requiera del objeto.

Es importante anotar la importancia que las partes de interés sean blancas en el caso de usar una cámara analógica.

Existen varias fuentes de iluminación que pueden ser utilizadas para un proceso de este tipo:

**Incandescentes:** Son de bajo costo, fáciles de operar y pueden operar períodos largos. La variación de voltaje determinará la variación de intensidad de la iluminación.

**Fluorescentes:** Son eficientes, no generan calor y tiene formas y tamaños variables.

**Diodos LED:** Ofrecen una luz monocroma disponible en una gran variedad de colores, duran mucho tiempo y su costo es el más bajo.

**Luz Estroboscópica:** Son ideales para analizar objetos que están en movimiento.

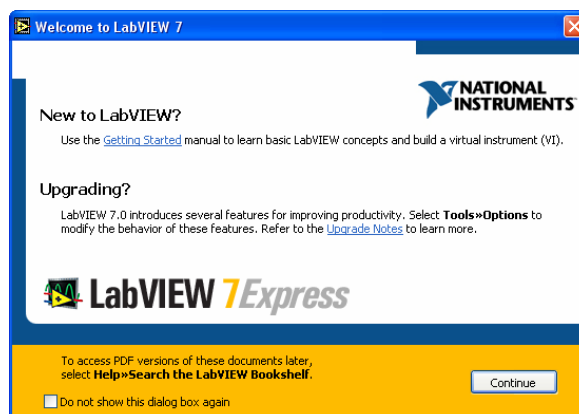
**Láser:** Se utiliza en iluminación estructurada, que permite tomar medidas tridimensionales.

**Fibra Óptica:** Su uso es enfocado a la no transmisión de calor en procesos de iluminación.

En la Estación VI 2005 se mantiene el sistema de iluminación de la VI 2000, es decir una combinación de lámparas que permite 3 tipos de iluminación: posterior (usando la lámpara interna de Light box), frontal (mediante la lámpara circular), o combinada.

### 3.3 SOFTWARE UTILIZADO

#### 3.3.1 LabVIEW 7.0



Ya se ha realizado la justificación de por qué LabVIEW 7.0 junto al toolbox IMAQ son la plataforma más adecuada para la implementación de este proyecto. A continuación se detalla el diagrama de operación del software en la etapa de adquisición, análisis de la imagen y toma de decisiones según los resultados obtenidos; en estas 3 etapas interviene directamente el paquete LabVIEW.

El nuevo sistema actual es capaz de realizar un control de calidad utilizando el método de mediciones de áreas específicas.

#### **Escanear señal para iniciar la Adquisición y Análisis de la pieza:**

El Robot A255 luego de haber tomado la pieza de la banda transportadora la deposita en el pozo de luz donde será grabada para su análisis, luego de esta tarea el controlador del robot emite una señal "REQUEST FOR INSPECTION", por medio del pin 01 del puerto GPIO el cuál por medio de las diferentes interfaces llega al puerto paralelo del computador en el pin 10. Para determinar exactamente si el robot ha generado la señal de "REQUEST FOR INSPECTION" es necesario filtrar la señal leída en el puerto paralelo. Cuando el programa reconoce esta señal habilita el proceso de adquisición de la imagen.

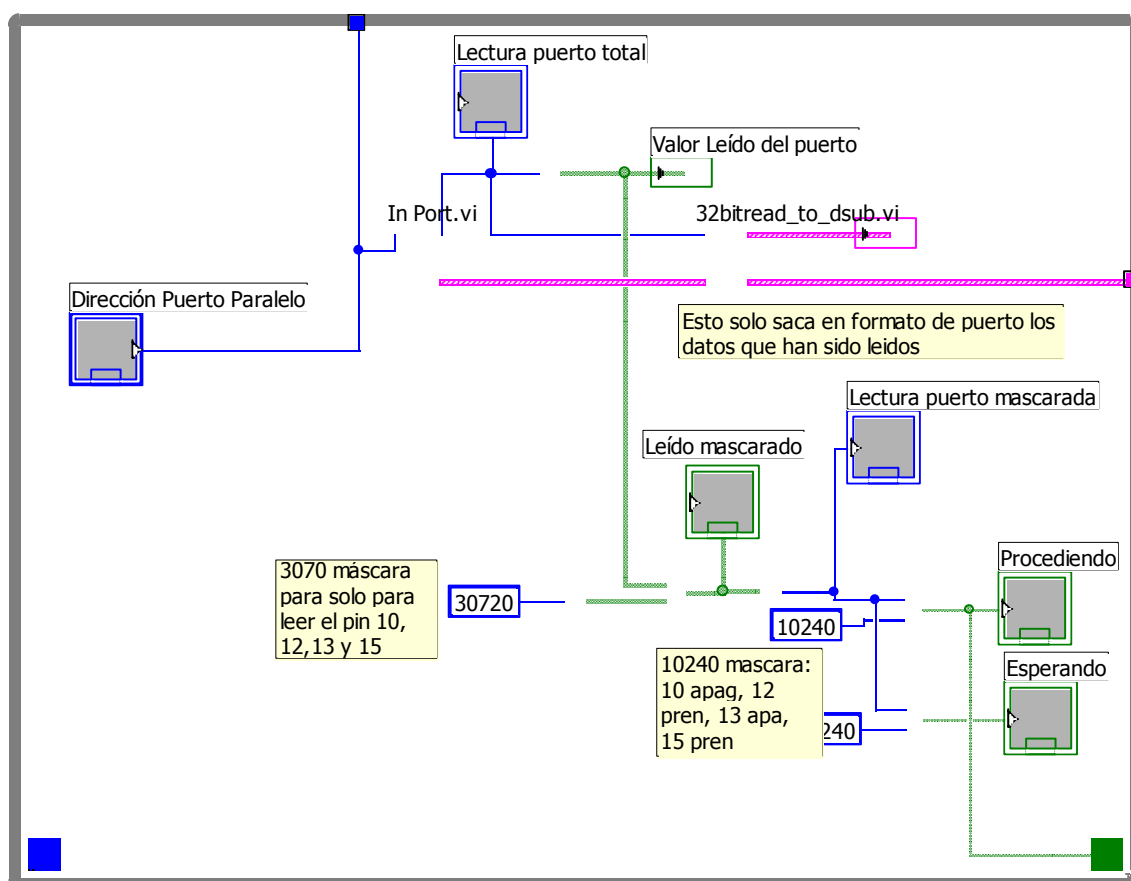


Figura. 3.9. Programa sección escaneo y filtrado del puerto paralelo

### Adquisición de la Imagen:

El proceso de adquisición de la imagen requiere además de la base de LabVIEW y del Toolbox de IMAQ, un conjunto de drivers específicos para el manejo del puerto IEEE-1394. Por eso es tan importante al seleccionar la cámara que se escoja una que tenga drivers compatibles con National Instruments.

Adicional a estos drivers es muy importante además establecer el tipo de cámara y registrarla dentro del hardware compatible con National Instruments instalado, esto se hace con la siguiente secuencia:

1. instalación del software propio de la cámara.
2. instalación de LabVIEW 7.0: dos discos uno de instalación y otro de drivers.
3. Instalación de IMAQ 7.0: con la misma clave que LabVIEW.
4. Instalación de IEEE 1394 cameras: con la misma clave que LabVIEW

5. Ingreso en “Measurement y Automaticion”, en la carpeta “Devices and Interfaces” encuentro la carpeta “NI IMAQ IEEE 1394 Devices” y ahí encuentro la cámara que ya la tengo conectada.
6. Hago clic derecho selecciono drivers y le pongo el “**NI-IMAQ IEEE 1394 Digital Camera**”. Ahí le reconoce como CAM 0 : “Unibrain Fire-i 1.2”, y recién ahí puedo adquirir imágenes y desde aquí fijar las características de la cámara. Cambio todos los parámetros que crea necesario y grabo estos.

El realizar este proceso en el orden indicado es sustancial para la correcta instalación de los equipos.

Una vez instalados correctamente todos los paquetes y drivers indicados es posible programar la primera etapa del programa que se refiere a la adquisición.

En un primer momento se requiere definir la cámara por la cuál se va capturar las imágenes “cam0” (definida en Measurement y Automaticion), esto se realiza por medio del bloque “IMAQ1394 init.vi”. Luego se utilizan los bloques “IMAQ1394 attribute.vi”, “IMAQ1394 Grabsetup.vi” y “IMAQ1394 grabAcquire.vi” para adquirir la imagen según los formatos definidos. (Imagen X )

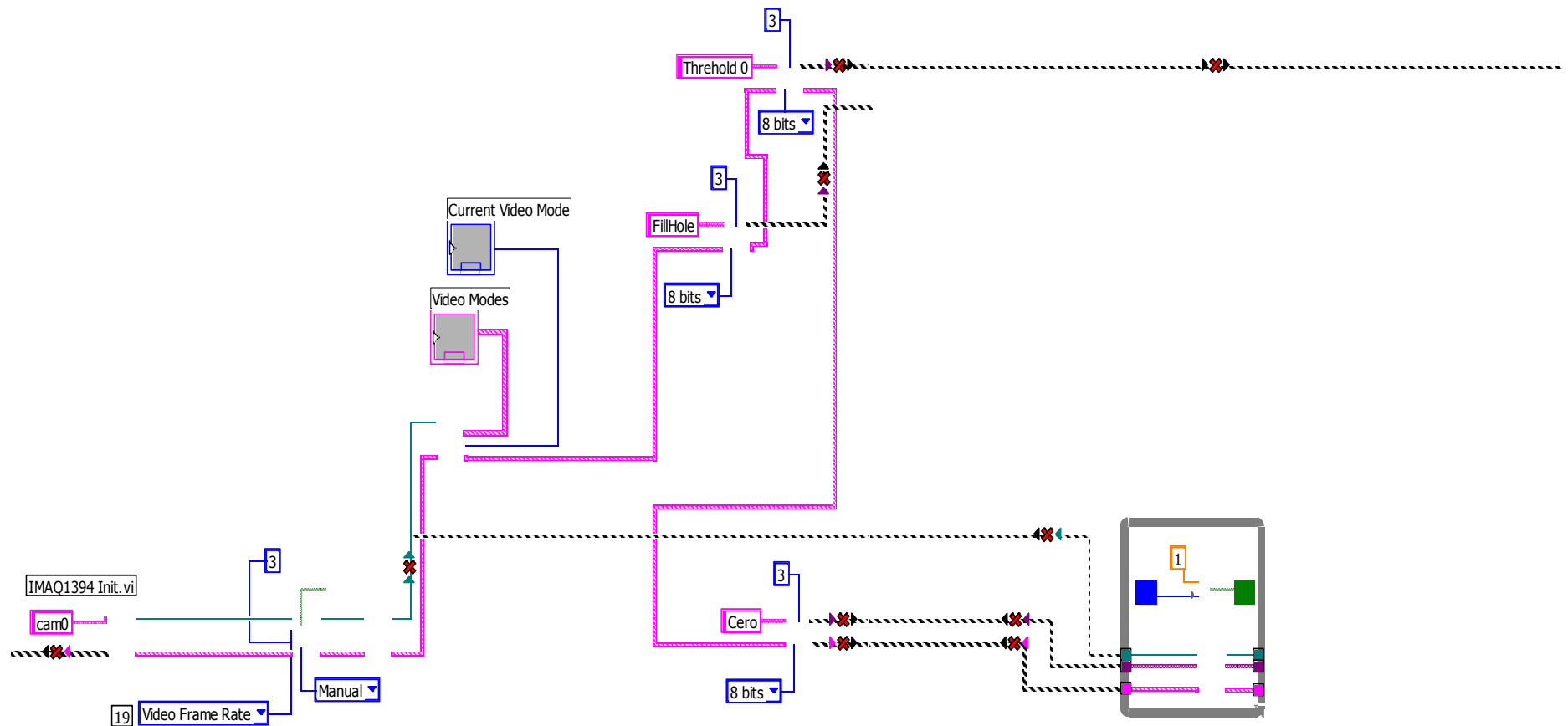


Figura. 3.10. Programa sección adquisición de la imagen

### Análisis de la Imagen Adquirida:

Una vez adquirida la imagen se presenta el resultado y se pasa inmediatamente al análisis de la imagen en las diferentes etapas:

Características de la Imagen adquirida:

#### 1. Histograma de la Imagen “IMAQ Histogram.vi”:

El Histograma de una imagen indica la distribución cuantitativa de pixels en cada valor de escala de grises.

Matemáticamente el Histograma es la función  $H$  definida en el rango de escala de grises  $[0, \dots, k, \dots, 255]$  donde el número de pixels igual al valor de escala de grises está dado por:

$$H(k) \equiv n_k$$

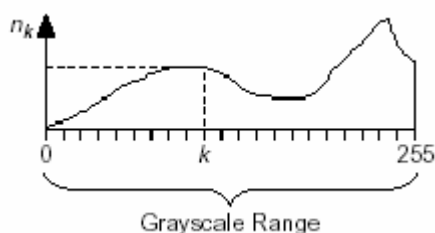


Figura. 3.11. Figura de un Histograma

Es posible calcular dos tipos de histogramas acumulativos y lineales; en este caso usaremos el tipo lineal.

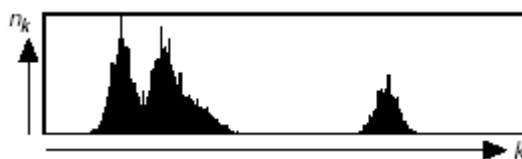
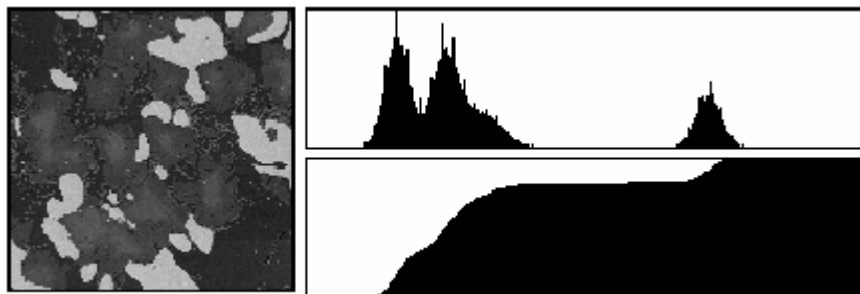


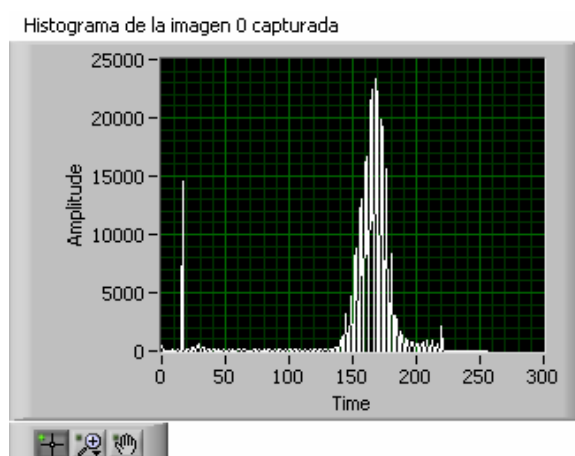
Figura. 3.12. Figura de un Histograma

Por ejemplo:



**Figura. 3.13. Figura de un Histograma lineal y acumulativo**

Por medio de este bloque es posible determinar el espectro de color de la imagen adquirida; esto nos permite determinar en qué rangos se encuentra el fondo y en qué rangos la pieza. Estos rangos, principalmente el de la pieza depende del color y material de la misma y además de la iluminación en el pozo de luz suministrada.



**Figura. 3.14. Histograma de la pieza captada**



## 2. Threshold de la Imagen “IMAQ Threshold.vi”:

Consiste en segmentar la imagen en dos regiones que responden al objeto “1” y al fondo “0”.

Por ejemplo si aplicamos a la siguiente imagen original un threshold en el rango (166, 255) obtenemos la siguiente imagen:

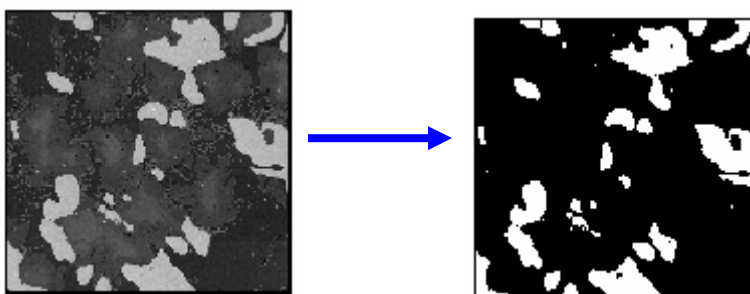


Figura. 3.15. Threshold de una imagen

Una vez determinado el espectro en el que será analizada la pieza se fija este dato en el Threshold y esto nos permite hacer una separación total de la pieza del fondo. Este es un paso básico para el análisis de la pieza ya que no es posible su estudio si no existe separación del fondo en el que es filmada la pieza. Para facilitar este proceso se utiliza un fondo diferente del color de la pieza y se ajusta la iluminación. Dentro de este proceso se le asigna un valor “1” a todo lo que no sea fondo, es decir la pieza y “0” a la pieza, como consecuencia de este traspaso se pierde cualquier detalle interno de la pieza como pueden ser variaciones en relieve superior de la pieza, etc.

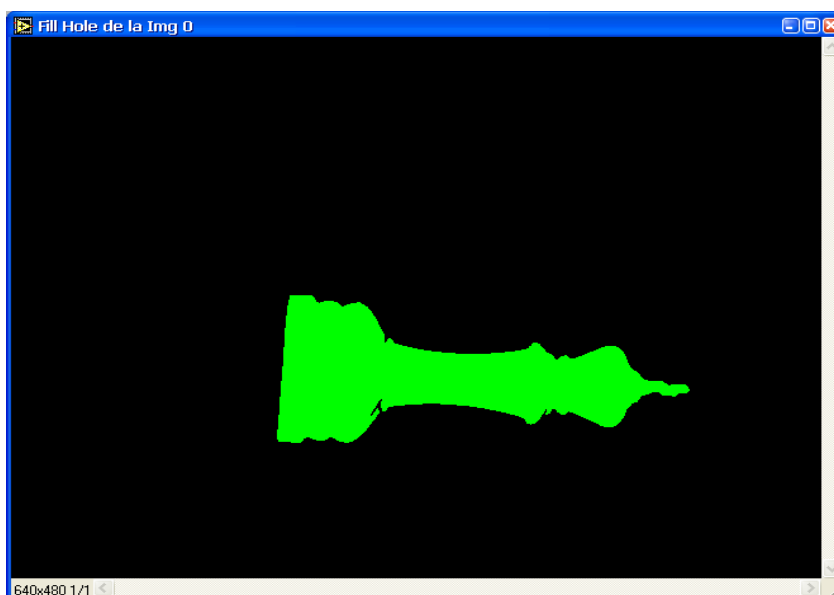


Figura. 3.16. Threshold de la pieza tomada

### 3. Fill Hole de la Imagen “IMAQ FillHole.vi”:

Una vez definido el perímetro de la pieza y su contenido, procedemos a eliminar cualquier posible error que se haya suscitado en la determinación del contenido de la pieza dejando pequeños huecos en la misma; para esto usamos el Fill Hole que nos permite únicamente el eliminar pequeños orificios que puedan considerarse como errores en el proceso. Este paso es importante ya que nos permitirá tener exactitud el momento de determinar el área, centro de masa, etc.

### 4. Establecimiento de Sistema de Coordenadas relativo “IMAQ FindCordSys(rect).vi”:

La imagen adquirida por medio de la cámara apenas ingresa al sistema se la enmarca dentro de un sistema de coordenadas por defecto, que tienen referencia a los filos de la imagen tomada, es así que la esquina inferior izquierda representará el punto origen 0,0 y todos los cálculos que se hagan de la pieza (Centro de Masa, Orientación, etc.) tomarán en cuenta esta referencia. Si se quiere trabajar con medidas reales de la pieza es muy importante primero definir

un sistema de coordenadas real que tenga como punto de origen el inicio de la pieza (es posible escoger en cuál extremo de la pieza se define el origen del sistema de coordenadas).

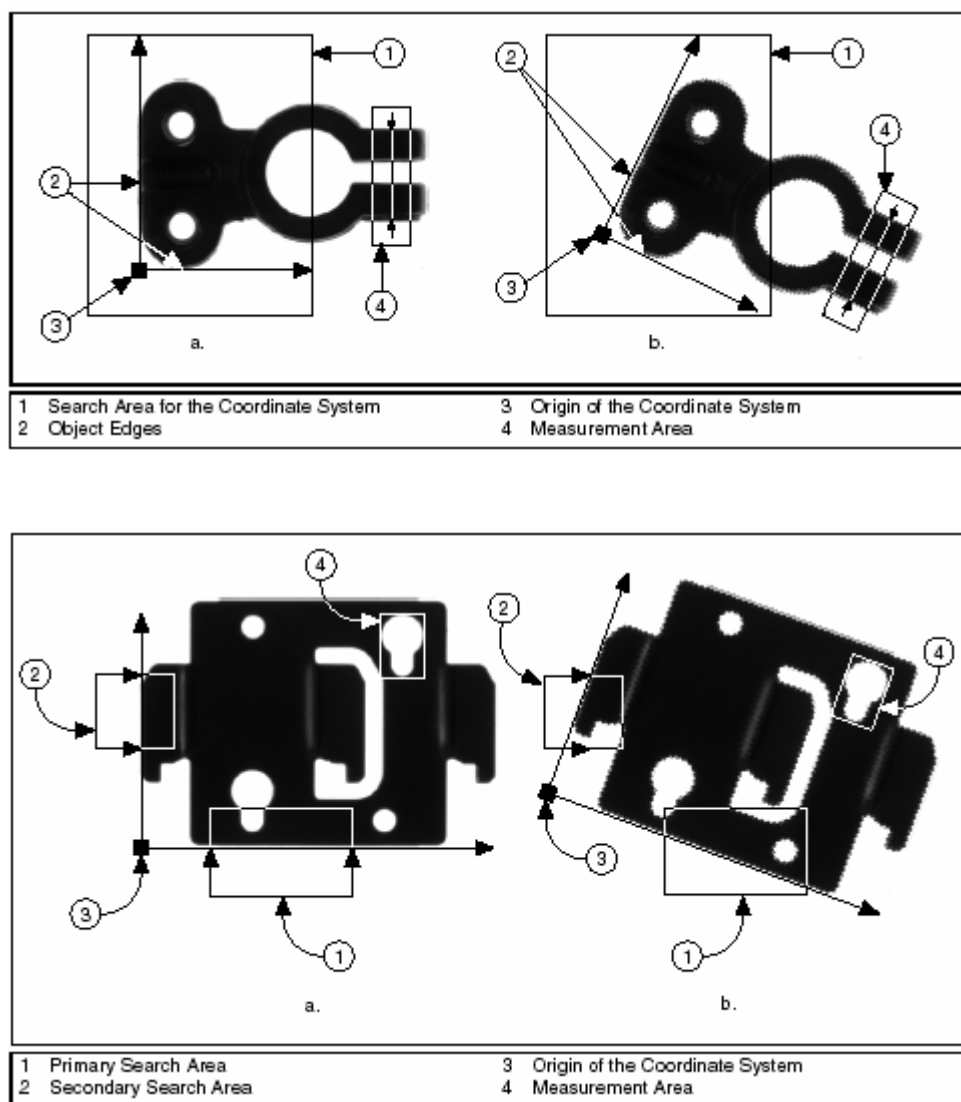


Figura. 3.17. Ejemplo de una pieza donde se adopta un eje de coordenadas

##### 5. Dimensionamiento real “IMAQ SetSimpleCalibration.vi”:

Cuando la imagen ha sido adquirida, LabVIEW está en capacidad de medir las características de la pieza, pero estas mediciones las realiza en la única medida que le es certera, es decir en pixels. Si se requiere hacer todas estas mediciones pero en medidas físicas reales es necesario realizar una transposición a un

sistema real, es decir calibrar el sistema; para esto usamos este bloque como paso previo a realizar las mediciones específicas. Para este proceso es necesario hacer una calibración inicial en base a una pieza de dimensiones conocidas; la calibración además variará según la distancia de la cámara a la pieza inspeccionada, según la iluminación, según las características de la cámara, etc.

## 6. Análisis de partículas “IMAQ ParticleAnalysisReport.vi”:

Definido el sistema de coordenadas y además el dimensionamiento real de cada píxel es posible el generar un reporte de partículas de la pieza analizada. Este reporte nos arrojará la siguiente información: Número de piezas encontradas, área de la pieza, número de agujeros encontrados, centro de masa, orientación, ancho, largo y los límites en cada lado. Este bloque nos permite conocer información sumamente valiosa respecto a la pieza analizada.

Por ejemplo el siguiente cuadro nos explica la forma de definir áreas en el proceso:

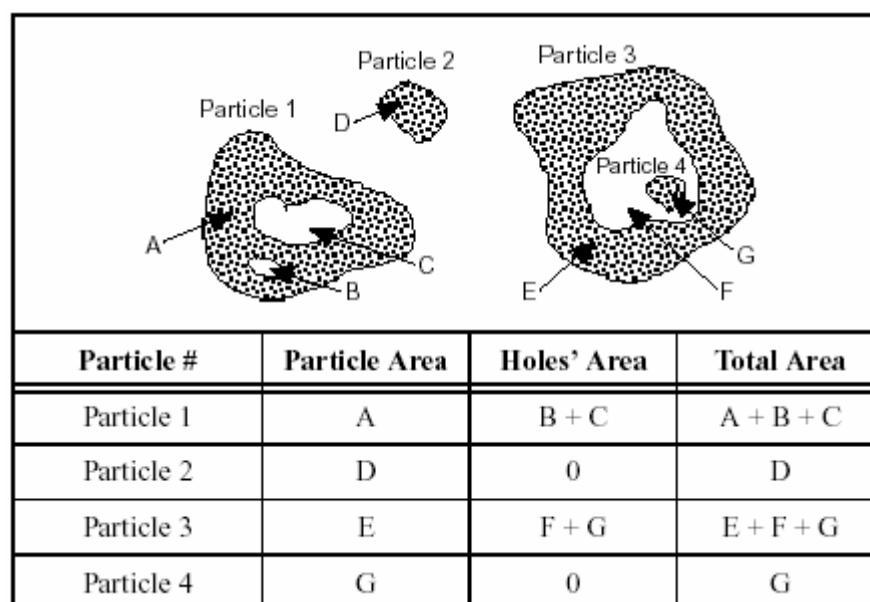


Figura. 3.18. Demostración de un análisis de partículas

El centro de gravedad de una partícula compuesta por  $N$  pixels  $P_i$  es definida en el punto  $G$  como:

$$\overline{OG} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} \overline{OP_i} \quad \text{y además}$$

$$\text{El centro de masa } Y_G = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} Y_i \quad \text{y además } X_G = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} X_i$$

En Cambio la máxima coordenada  $X$  y la máxima coordenada  $Y$  están dados como nos muestra el gráfico:

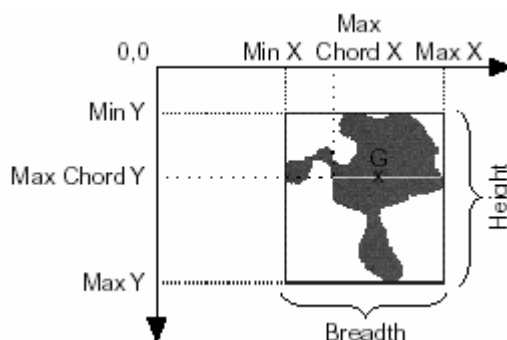


Figura. 3.19. Esquema coordenadas de una pieza

Y los ejes:

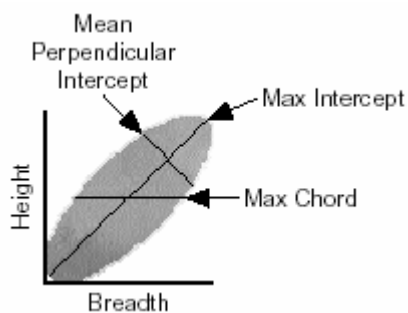
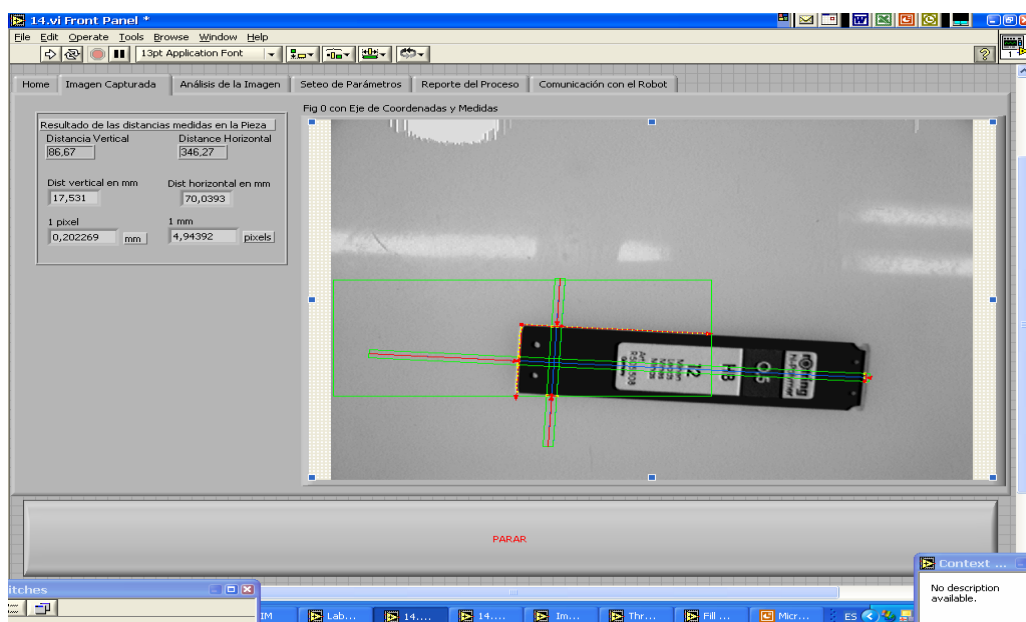


Figura. 3.20. Figura del Seteo de ejes en un pieza

## 7. Dimensionamiento de la pieza “**IMAQ ClampVerticalMax.vi**”, “**IMAQ ClampHorizontalMax.vi**”:

Por medio de estos bloques estamos en capacidad de tomar mediciones de un sin número de límites verticales u horizontales en un áreas definidas por el usuario. Esto nos permite conocer la medida de partes específicas de la pieza inspeccionada.



**Figura. 3.21. Pantalla de Imagen Capturada**

En este caso específico no fue necesario el mejorar la calidad de la imagen obtenida ya que la capacidad de la cámara y el ambiente en que es adquirida la imagen ofrecen las condiciones necesarias para un correcto análisis, solamente se requirió un trabajo de preparación dado por el Threshold. Sin embargo es factible en caso de no contar con una imagen adecuada procesarla por medio de filtros y artificios hasta conseguir las características necesarias para el análisis.

Una vez terminado este proceso ya es posible comparar con las especificaciones de la pieza ideal y definir si es una pieza adecuada o no.

De las múltiples pruebas realizadas en varios escenarios, la resolución mínima que pueda ofrecer el sistema es de 0,012 mm. El alcance de este proyecto era solo de una resolución de 0,5 mm por lo que sobrepasa con casi el 400% las expectativas del sistema.

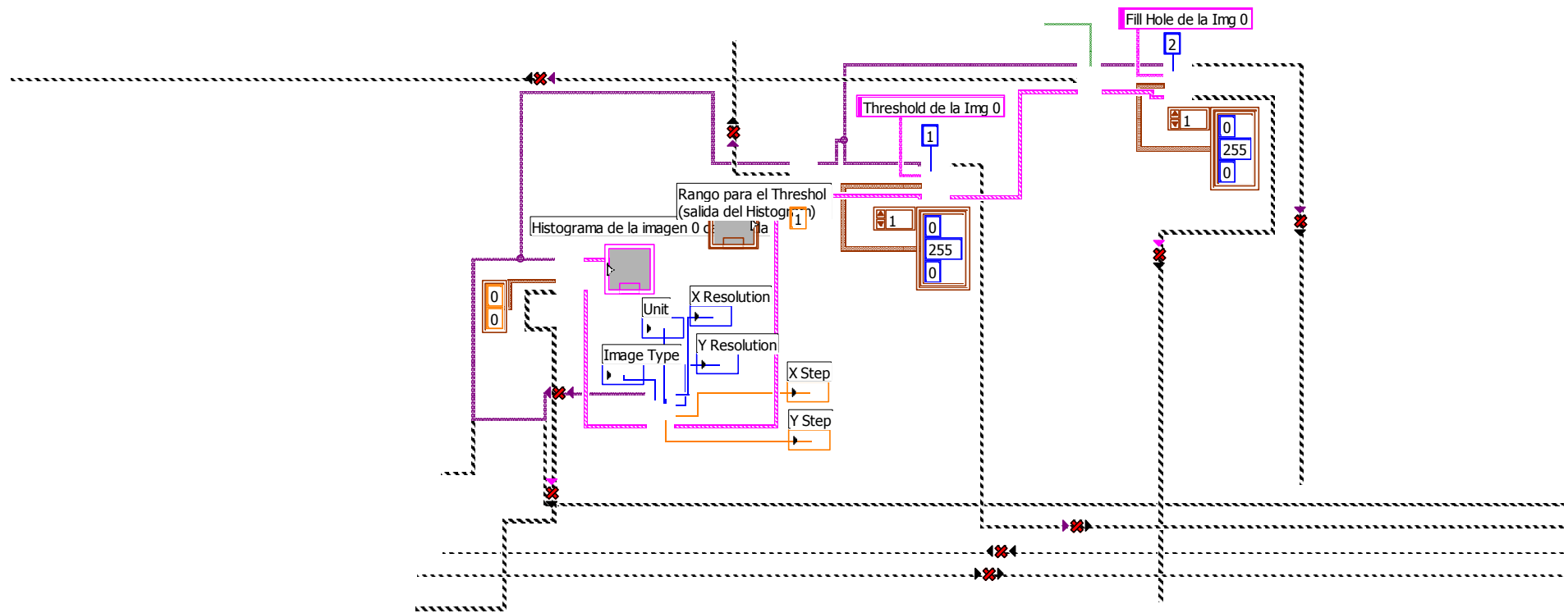


Figura.- 3.22. Parte del Programa de IMAQ correspondiente a la presentación de la imagen adquirida



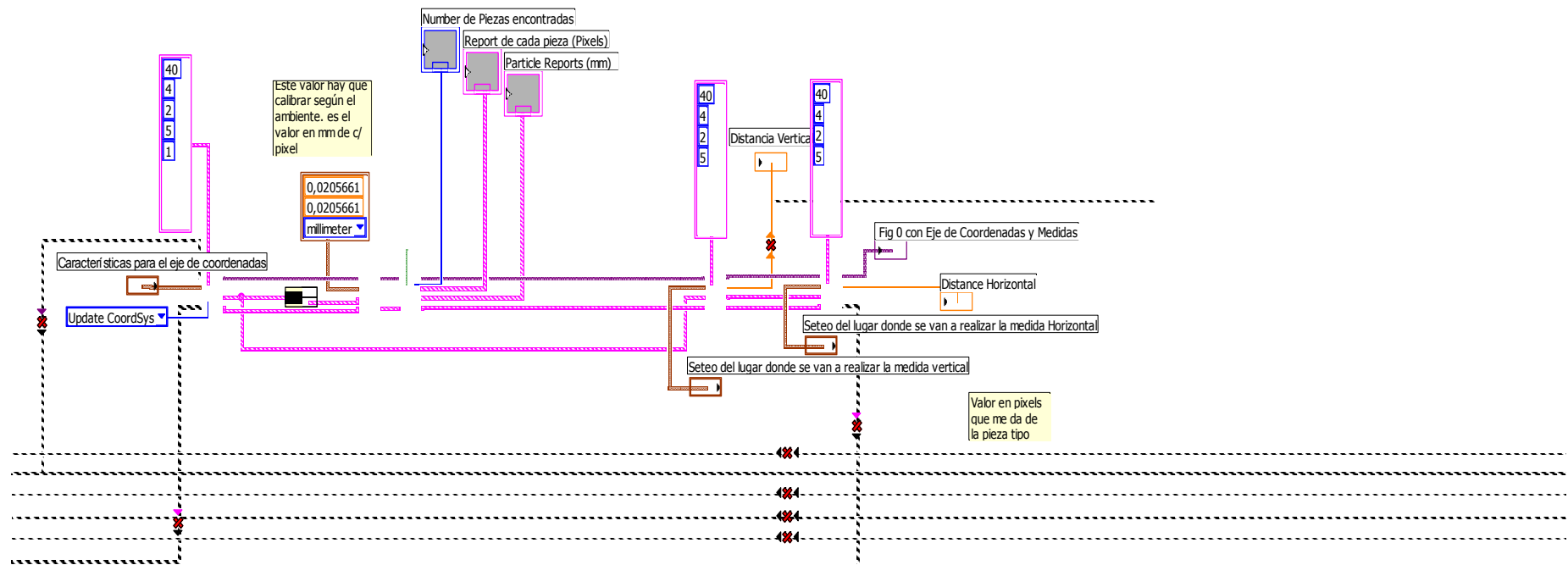


Figura. 3.23. Parte del Programa de IMAQ correspondiente a la medición de la pieza

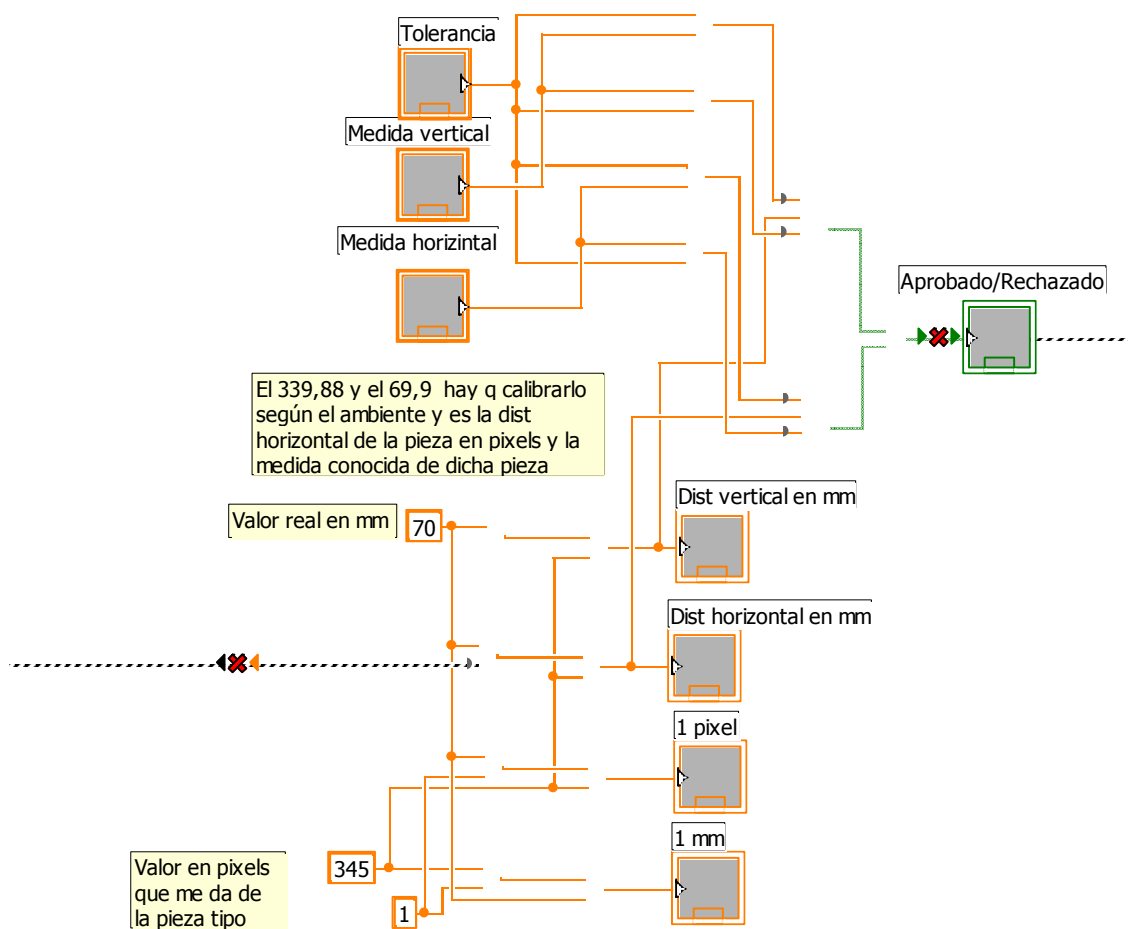
## **Comparación de la pieza analizada con una pieza ideal y Toma de Decisiones:**

Existen varias formas en el procesamiento digital de imágenes de realizar la comparación entre una matriz y varias muestras.

En el sistema VI-2000 se utilizaba el sistema de Pattern Machine, este proceso implica el comparar dos mapas de bits píxel a píxel buscando similitudes y patrones; como consecuencia se tiene un resultado exacto de comparación pero a un costo de tiempo y de recursos de sistema muy alto. Este sistema de comparación es muy utilizado principalmente cuando se requiere conocer si existe la presencia de un objeto de determinadas características dentro de un gráfico analizado más grande. Por ejemplo si la cámara capta toda una tarjeta de circuitos integrados y queremos conocer si dentro de esa tarjeta está una circuitos específico (color, tamaño, nombre, etc.), será necesario inspeccionar toda la tarjeta en búsqueda de ese circuito, y eso requerirá de más tiempo y recursos de la computadora, sin embargo podrá darnos un resultado exacto de la presencia o no de ese circuito.

El otro sistema de comparación, que es el usado en el VI-2005 es únicamente el tomar medidas relacionadas a áreas específicas de la pieza, estas sean comparadas con las medidas ideales y según la diferencia puedan ser aprobadas o rechazadas. Este sistema de comparación es más utilizado cuando solo se inspecciona una sola pieza y solamente se requiere comprobar medidas específicas dentro de esa pieza, como es el caso del laboratorio CIM 2000. Este metodología nos permite conocer con igual o mayor exactitud y precisión si la pieza cumple o no con los parámetros establecidos y requiere de sustancialmente menor cantidad de recursos que el sistema anterior.

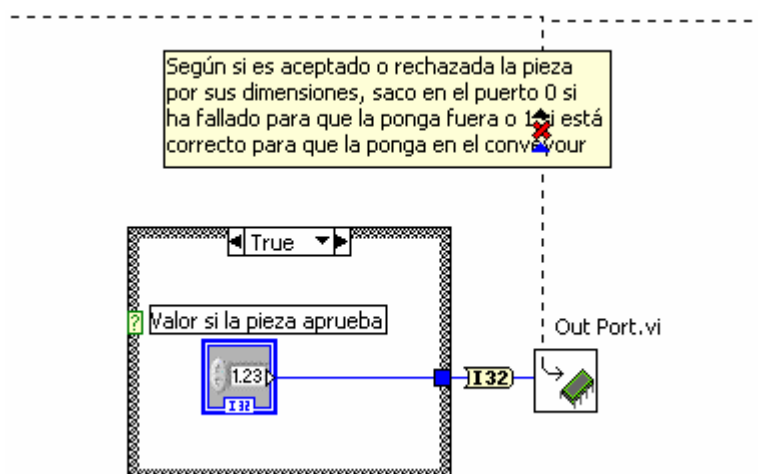
En el programa en LabVIEW usamos un sistema de comparación de medidas entre las ideales definidas por el usuario y las medidas obtenidas del análisis de la pieza; con esto conseguimos con una precisión de 0,12 mm el dato final de si la pieza aprueba o no el control de calidad.



**Figura. 3.24. Parte del Programa de IMAQ correspondiente a la comprobación de las mediciones de la pieza con las ideales**

**Comunicación de la Decisión tomada al Robot para su ejecución:**

Una vez tomada la decisión de si la pieza aprueba o no las especificaciones previamente definidas por el usuario, esta decisión es comunicada al controlador del Robot C500C por medio de las interfases respectivas; esto se hace desde LabVIEW operando el puerto paralelo. Una de los grandes beneficios de LabVIEW es su versatilidad para macerar puertos.



**Figura. 3.25. Parte del Programa de IMAQ correspondiente a la escritura en puerto paralelo**

Con esta etapa termina la operación de LabVIEW en el proceso de control de calidad de las piezas.

### **Interfase Humana para la interacción con el programa:**

Es de vital importancia la interacción de las personas, ya sean estudiantes en el laboratorio o de un ingeniero de control en una empresa, con todo el proceso en medio de este control de calidad por medio de inspección visual; para eso es de gran importancia una interfaz entre el programa y el operador amigable, intuitiva gráfica y sobre todo sencilla. LabVIEW permite el desarrollo de estas interfaces. Para este proyecto VI-2005 se ha construido una interfaz con las siguientes capacidades:

- Presentación general del proceso.
- Imagen capturada y sus características básicas.
- Análisis de la Imagen.
- Seteo de parámetros para la operación.
- Reporte del proceso.
- Comunicación con el robot.

Para que todas estas funciones sean accesibles, sin perder la familiaridad y facilidad de manejo en la pantalla, se han dividido todas estas funciones por

viñetas, presentando esta modalidad una especial sencillez y accesibilidad a todas las operaciones requeridas.

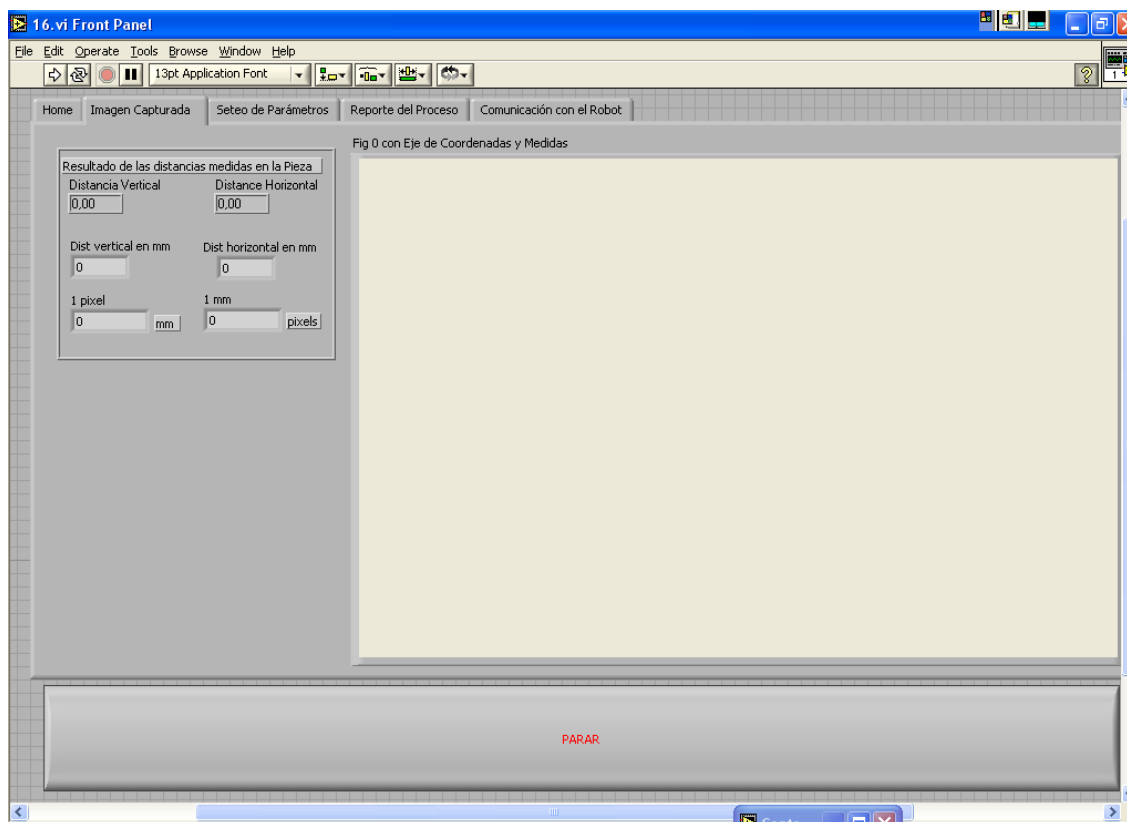
## Pantalla de Inicio



Figura. 3.26. Pantalla de Inicio del Programa

En esta pantalla es posible enterarse de los datos generales del proyecto y además verificar si la pieza ha sido aprobada o rechazada y además fijar si el proceso es automático en control del CIM o manual.

## Datos de la imagen Capturada:



**Figura. 3.27. Pantalla del Programa de Imagen Capturada**

En esta viñeta tenemos la posibilidad de ver la imagen que ha sido inicialmente capturada por la cámara y ver también las medidas realizadas en las áreas seleccionadas tanto en pixels como en mm. También podemos visualizar la relación de un píxel en mm.

## Seteo de Parámetros de Operación:

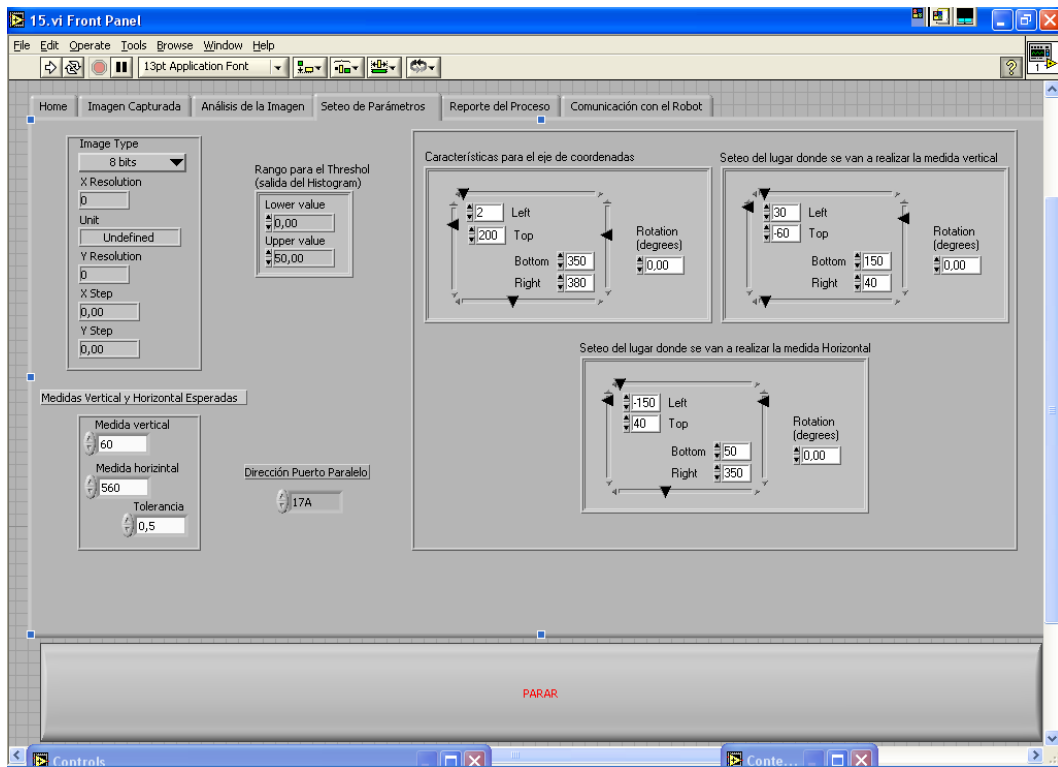


Figura. 3.28. Pantalla del Fijación de Parámetros

En esta viñeta debemos definir cuales son los parámetros tanto de adquisición de la imagen; del rango para el threshold; de las áreas donde se definirá el eje de coordenadas del objeto; de las áreas donde se realizan las mediciones específicas; de la dirección del puerto con el cual se comunicará y de las medidas ideales de la pieza así como la tolerancia.

## Reporte del Proceso:

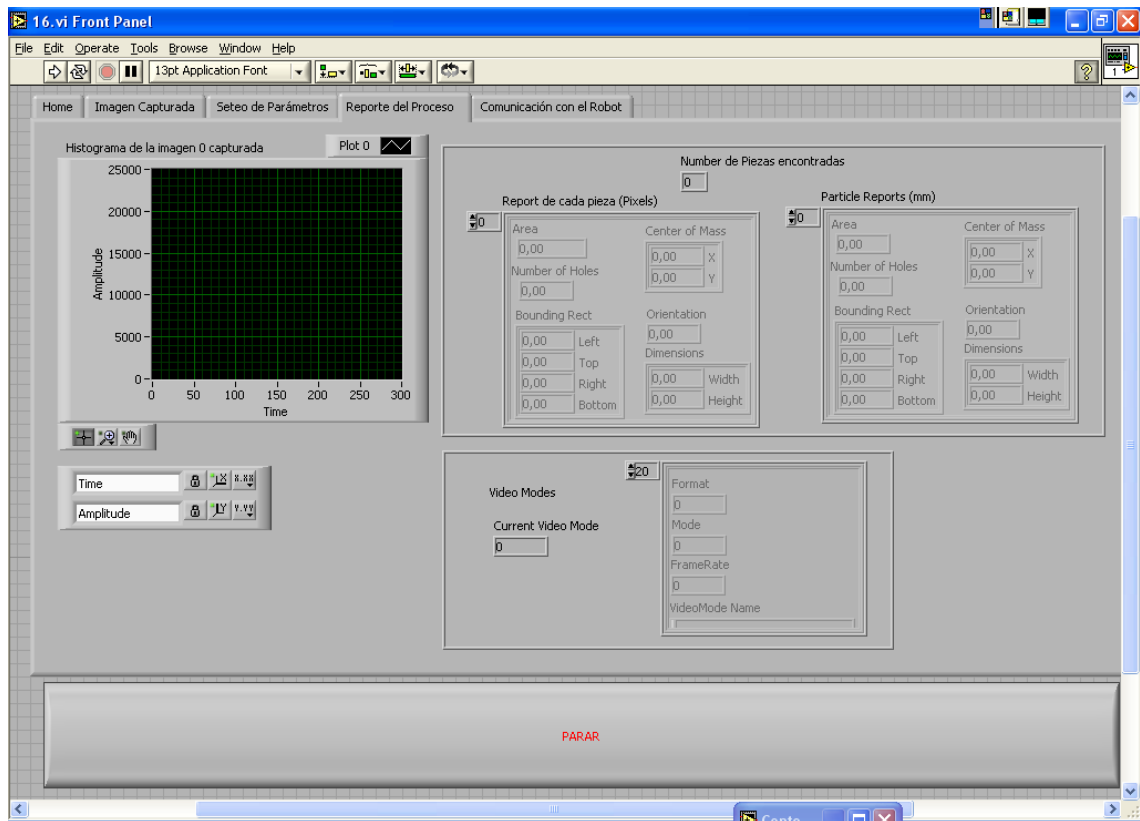


Figura. 3.29. Pantalla de Reporte del Proceso

En esta viñeta podemos visualizar datos de la imagen adquirida siendo analizada como el histograma del objeto que determinará los valores que tenemos que setear en el Threshold.

En esta viñeta se puede encontrar el reporte del proceso en general.



## Comunicación con el Robot:

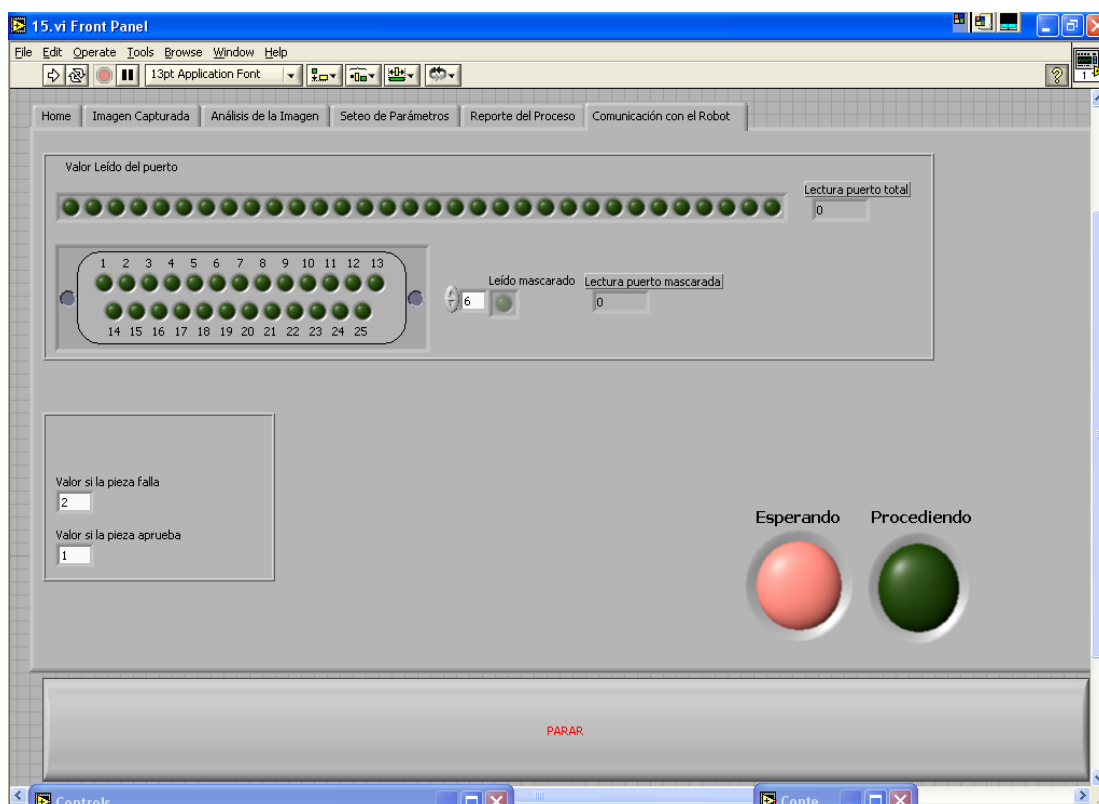


Figura. 3.30. Pantalla de comunicación con el Robot por el puerto paralelo

En esta viñeta podemos visualizar los datos que están siendo leídos y escritos en el puerto paralelo que es el canal de comunicación con el robot y por ende con el CIM; además podemos visualizar el estado del proceso en relación a las señales de aprobación del robot.

### 3.3.2 Robcomm

Para el manejo del brazo robótico A255 se ha optado por no variar el programa con el cual funcionaba en el proyecto anterior VI 2000 ya que por un lado este permite totalmente la comunicación con el computador por medio de los

interfaces, dentro del proceso planificado y además porque facilita la interacción necesaria con el control central del CIM 2000.

Aunque no fue modificado sustancialmente si fue necesario adaptar algunos datos para hacer más práctico el proceso; para esto fue necesario es estudio y documentación de este programa que detallamos a continuación:

```
; ROBOT PROGRAM "RO-2200" FOR VISION, HYD-2800 & CIM (CRS A255)
; 22/01/95
; *****
; -----INPUT-----OUTPUT-----
; 1  WORK REQUEST(CIM)           REQUEST FOR INSPECTION (VISION)
; 2  CAN TAKE FROM CONV(CIM)     SPARE TO VISION
; 3  CAN PUT ON CONV (CIM)       SPARE TO VISION
; 4  1=CYL 0=CUB                 CYCLE START FOR HYD-2800
; 5  HYD-2800 IS READY          -
; 6  -                           EXTERNAL OUTPUT
; 7  -                           EXTERNAL OUTPUT
; 8  -                           EXTERNAL OUTPUT
; 9  VISION READY (VISION 7)     EXTERNAL OUTPUT
; 10 PART IS GOOD (VISION 5)     EXTERNAL OUTPUT
; 11 PART IS BAD (VISION 6)      EXTERNAL OUTPUT
; 12 -                           EXTERNAL OUTPUT
; 13 -                           READY TO TAKE
; 14 -                           REQUEST FOR PART RETURNING (CIM)
; 15 -                           STOP WAGON ON BUFFER
; 16 -                           NO USE
; =====
; ***** ROBOT POINTS *****
; -----CYLINDER-----CUB-----
; VI11 - ABOVE BUFFER(CUB,CYL)   VI10 - ABOVE BUFFER (CUB)
; VI30 - ABOVE BUFFER(CYL)       VI1  - IN BUFFER
; VI3  - IN BUFFER                PRESS
; VISION                          VI41 - ABOVE PRESS
; VI51 - ABOVE VISION             VI40 - IN PRESS H (NO1)
; VI50 - NEAR PRESMA VISION      VI4  - IN PRESS L (NO2)
; VI5  - ON PRESMA VISION
; VI60 - NEAR PRESMA INSPECTION
; GOOD PART
; VI22 - ABOVE PRESS
```

```
; VI21 - NEAR PRESS
; VI20 - IN PRESS H (NO1)
; VI2 - IN PRESS L (NO2)
```

```
100 OUTPUT -1,-2,-3,-4,-5,-6,-7,-8,-9,-10,-
11,-12,-13,-14,-15,-16
110 DELAY 2
120 MOVE VI11
125 FINISH
130 CLOSE 100
135 DELAY 2
140 GOSUB READY
150 IFSIG 2 THEN 170
155 DELAY 1
160 GOTO 150
170 OUTPUT 15
230 GOSUB CUB
235 DELAY 2
240 OUTPUT 13
242 DELAY 2
243 IFSIG 2 THEN 250
245 GOTO 243
250 IFSIG 4 THEN 280
255 GOTO 250
260 DELAY 2
280 GOSUB CYL
290 GOTO 100
300 STOP
$
```

### READY

```
10 ; NAME: READY
20 IFSIG 9 THEN 45
30 GOTO 20
45 DELAY 2
50 IFSIG 5 THEN 65
60 GOTO 50
65 DELAY 2
70 IFSIG 1 THEN 85
```

```
80 GOTO 70
85 DELAY 2
90 OUTPUT 13
95 DELAY 2
100 RETURN
$
```

### CYL

```
10 ; Name: CYL
12 OUTPUT 15
14 OUTPUT -13
20 OPEN 100
25 MOVE VI30
27 FINISH
30 MOVE VI3
35 FINISH
40 CLOSE 100
45 DELAY 2
50 MOVE VI30
55 OUTPUT -15
60 MOVE VI51
65 MOVE VI50
70 MOVE VI5
75 FINISH
80 OPEN 100
85 DELAY 2
90 MOVE VI50
100 MOVE VI60
120 OUTPUT 1
; GOOD CYL
125 DELAY 1
130 IFSIG 10 THEN 150
135 DELAY 1
; BAD CYL
```

```

140 IFSIG 11 THEN 160
145 GOTO 125
150 GOSUB G_CYL
155 GOTO 170
160 GOSUB B_CYL
170 RETURN
$

```

### **G-CYL**

```

10 ; Name: G_CYL
15 OUTPUT -1
20 MOVE VI5
22 FINISH
25 DELAY 2
30 CLOSE 100
40 DELAY 2
50 MOVE VI50
60 MOVE VI51
70 MOVE VI11
80 MOVE VI22
90 MOVE VI21
100 MOVE VI20
110 MOVE VI2
115 FINISH
117 DELAY 1
120 OPEN 50
125 DELAY 2
130 MOVE VI20
140 MOVE VI21
150 OUTPUT 4
160 DELAY 2
170 OUTPUT -4
180 RETURN
$

```

### **B\_CYL**

```

10 ; Neme: B_CYL

```

```

15 OUTPUT -1
20 MOVE VI5
25 FINISH
27 DELAY 1
30 CLOSE 100
35 DELAY 2
40 MOVE VI50
50 MOVE VI51
60 MOVE VI11
70 OUTPUT 14
75 IFSIG 3 THEN 80
77 GOTO 75
80 DELAY 2
85 OUTPUT 15
90 MOVE VI30
100 MOVE VI3
105 FINISH
107 DELAY 1
110 OPEN 100
120 DELAY 2
130 MOVE VI30
140 MOVE VI11
150 OUTPUT -15
160 DELAY 2
165 OUTPUT -14
170 OUTPUT 13
180 DELAY 2
190 IFSIG 2 THEN 210
200 GOTO 190
210 IFSIG 4 THEN 240
220 GOTO 210
230 DELAY 2
240 GOSUB CYL
250 RETURN
$

```

### **CUB**

```

10 ; Name: CUB
25 DELAY 2
30 OUTPUT -13

```

40 OPEN 100	80 MOVE VI41
50 MOVE VI10	90 MOVE VI40
53 FINISH	100 MOVE VI4
55 MOVE VI1	112 FINISH
56 FINISH	110 DELAY 2
57 DELAY 2	120 OPEN 100
58 CLOSE 100	125 DELAY 2
59 DELAY 2	130 MOVE VI40
60 MOVE VI10	140 MOVE VI41
70 OUTPUT -15	150 MOVE VI11
80 MOVE VI11	160 RETURN

## CAPÍTULO IV

### PRUEBA DE TRABAJO Y GUÍA DE USUARIO DEL SISTEMA “VI 2005”

En el presente capítulo se registran las pruebas realizadas al equipo a fin de garantizar cumplan los requisitos planificados inicialmente. Las variables que han sido analizadas son: resolución de la medición en la pieza, relación costo beneficio del sistema, cumplimiento de las características iniciales planteadas y velocidad general de operación

Además de la pruebas realizadas en este capítulo se encuentran todas las operaciones necesarias para la operación del sistema implementado.

El siguiente esquema (Figura 4.1) describe los bloques principales del sistema: por un lado el computador central que se encarga del procesamiento digital de la imagen desde el programa VI 2005 de LabVIEW. La cámara Fire-i que se conecta por medio del puerto 1394 a la computadora y que capta la imagen de la pieza que es transferida desde la banda transportadora al pozo de luz. El siguiente bloque de conexión es por medio de las interfaces hacia el controlador del Robot A 255.

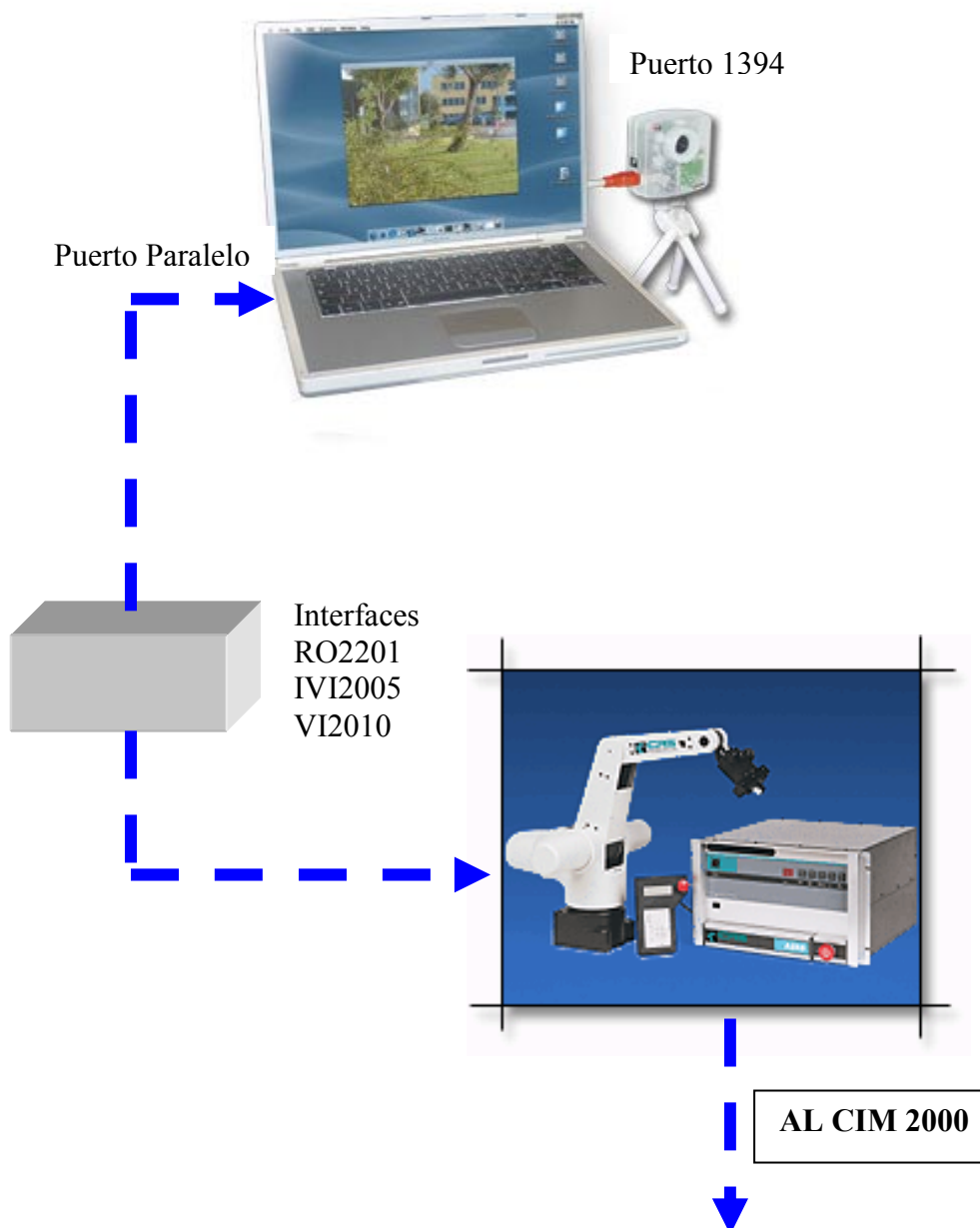


Figura. 4.1. Esquema de Conexión entre equipos

#### 4.2 Instalación y Comprobación de los Equipos Requeridos

Los equipos que se requieren para implementar la estación VI 2005 son:

- Brazo Robótico A255 con el controlador C500C.
- Computador con puerto Fire Wire IEEE 1394.
- Pozo de luz con lámpara superior y soporte para cámara.
- Cámara digital Fire i Unibrain.
- Bloque de interfaz IVI 2005

- Bloque de interfaz RO2201.
- Bloque de interfaz VI2010.
- 2 Cables paralelo macho macho
- Cable de alimentación para la tarjeta IVI 2005

Las conexiones necesarias para la operación del sistema son:

- Computador con el interfaz IVI 2005 por medio del puerto paralelo.
- Computador cámara de video por medio del puerto IEEE 1394
- Interfaz IVI 2005 con la interfaz VI2010 por medio de cable paralelo.
- Interfaz VI2010 con la interfaz RO2201 por medio de cable paralelo.
- Interfaz RO2201 con el controlador C500C por el puerto GPIO.
- Controlador C500C con el CIM 2000 por medio del puerto serial del controlador.

Es recomendable realizar la comprobación de operación del Robot, de la cámara y de la comunicación con el CIM por separado y al final realizar una comprobación de la conexión entre etapas. Esto se realiza de la siguiente manera:

#### **Comprobación de la operación del Robot A255 y del Controlador C500C:**

Para esto se cuenta con un programa de prueba el cual puede ser traspasado al controlador C500C desde el computador por medio del puerto paralelo del computador usando directamente el programa RobCom. Aplicando instrucciones básicas se puede reconocer la correcta o incorrecta operación del robot A255. Habrá que confirmar que en el controlador C500C se encuentre los programas: VI.ROB, CUB.ROB, CYL.ROB, G\_CYL.ROB, B\_CYL.ROB, READY.ROB,

**Comprobación de la operación de la cámara Fire i Unibrain:** El primer paso es cerciorarse que la cámara está correctamente conectada al puerto 1394 y energizada. Luego se procede a comprobar la operación de la cámara



independientemente del programa LabVIEW; esto se realiza operando la cámara desde el programa “Fire-i Aplicación” (Figura 4.1) programa que viene incluido con la cámara. Por medio de este programa se pueden utilizar las diferentes capacidades de la cámara y comprobar su funcionamiento.

Una vez comprobada la operación de la cámara se utilizará el programa Measurement&Automation para desde LabVIEW con la ayuda de IMAQ comprobar el funcionamiento de la cámara.

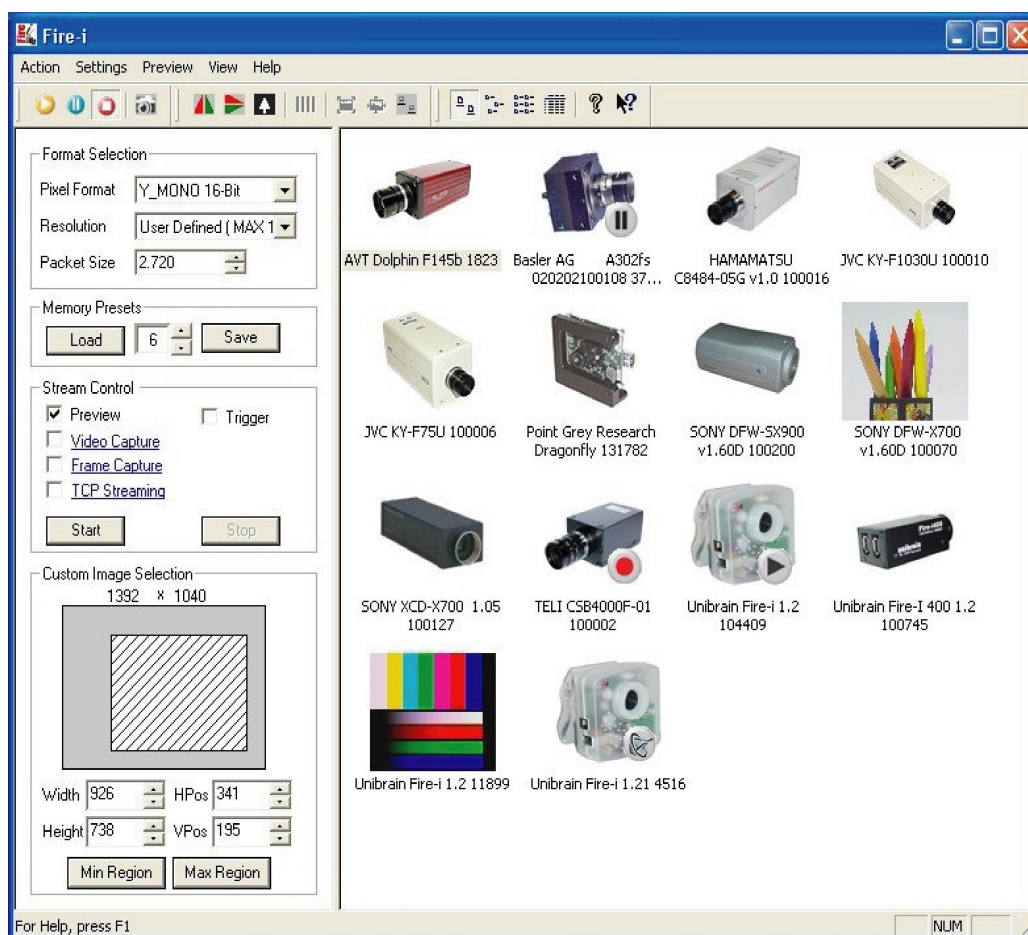


Figura. 4.2. Programa propio de la cámara Fire-i para la operación de la misma

**Comprobación de la Conexión con el CIM 2000:** Para que sea posible la operación de la estación VI 2005 se requieren que haya un Work Request del CIM que apruebe que se inicie el proceso y otro que indique que la pieza está en la

posición para ser recogida. Por esto es importante que la operación del CIM sea correcta para que la estación VI 2005 opere normalmente.

**Comprobación de la computadora:** La comunicación entre la computadora y el robot A255 se da por medio de las diferentes interfases IVI 2005, RO2201 y VI 2010, esta comunicación solo podrá darse si la computadora tiene configurado el puerto paralelo como estándar. Para probar la comunicación entre el computador y el Robot, e incluso para probar la correcta operación del programa VI 2005 del robot, se puede utilizar el programa 13.VI el cual únicamente manipula el puerto paralelo. Con esto podemos simular una respuesta de la computadora ante la pregunta del robot de si la pieza es adecuada o no.



13.vi

**Figura. 4.3. Archivo para Trabajo con el Puerto Paralelo 6**

**Comprobación general del equipo:** Una vez comprobadas estas etapas es posible verificar la operación de todo el equipo desde el programa VI 2005 de LabVIEW.

#### **4.3 Seteo de parámetros de trabajo**

Para la operación de la estación VI 2005 es importante fijar los siguientes parámetros y características:

**Iluminación en el Pozo de Luz:** Para la correcta adquisición de la imagen es muy importante que exista una correcta iluminación, principalmente para evitar las variaciones por la incidencia de la luz solar en el transcurso del día. En el Pozo de Luz es necesario que estén activadas y funcionando correctamente la lámpara circular de neón, que se ubica en la parte posterior de la cámara de video. En

---

<sup>6</sup> Parte de los programas Ejemplos de LabVIEW utilizados en este proyecto

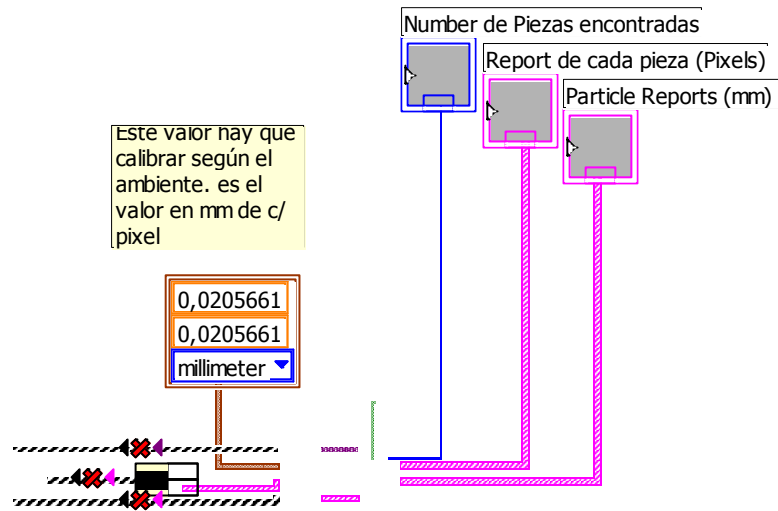
caso de trabajarse con otras condiciones y otro tipo de piezas, podría ser necesario activar el “piso de Luz”.

**Focalización de la Cámara:** La cámara tiene un lente incorporado f 4.65 mm anti-reflejo, que tiene que ser ajustado según la distancia a la que vaya a estar la pieza, por eso es importante primero realizar pruebas del enfoque e iluminación de la pieza desde el “Fire-i Application”. El proceso de ajuste del enfoque es sumamente sencillo y corresponde a girar el anillo exterior al lente hasta que se encuentre con una imagen óptima; es recomendable para este ejercicio utilizar el modo de grabación continua para notar claramente los cambios.

**Parámetros de la Pieza Ideal a ser Comparada:** Luego de la adquisición de la imagen esta es optimizada y luego ciertas medidas de esta pieza son comparadas con las medidas de una pieza ideal que es previamente definida. Es importante definir cuáles son las áreas que deben ser analizadas en la pieza de estudio, cuál es la medida ideal y cuál es el margen de error máximo permisible para esa medición. Las áreas que serán medidas en la pieza inspeccionada se definen en el programa VI 2005 de LabVIEW en la viñeta “Seteo de Parámetros”. Se ha definido por asuntos pedagógicos el análisis de una medida vertical y una horizontal en la pieza inspeccionada, sin embargo es posible realizar un número ilimitado (mientras los recursos del sistema lo permitan) de medidas en una sola pieza, son una simple copia del bloque de toma de medidas.

**Calibración de las unidades reales y proporciones:** Las mediciones que realiza LabVIEW son en pixels y en función a un eje de coordenadas de referencia automático; para tener las medidas de la pieza en unidades reales, es decir en mm, se requiere una calibración de la proporción en función de una pieza de medidas conocidas. El proceso para esto es utiliza una pieza de medidas conocidas como pieza inspeccionada y obtener las medidas en pixels. Como ya se tiene esas mismas medidas conocidas en mm, se procede a registrar ese valor en el bloque “IMAQ SetsimpleCalibratio.VI” antes del bloque de toma de medidas

(Figura 4.3) y en el bloque de comparaciones previo a la decisión de si la pieza es apta o no (Figura 4.4).



**Figura. 4.4. Parte del Programa de IMAQ correspondiente a la calibración a unidades real world**

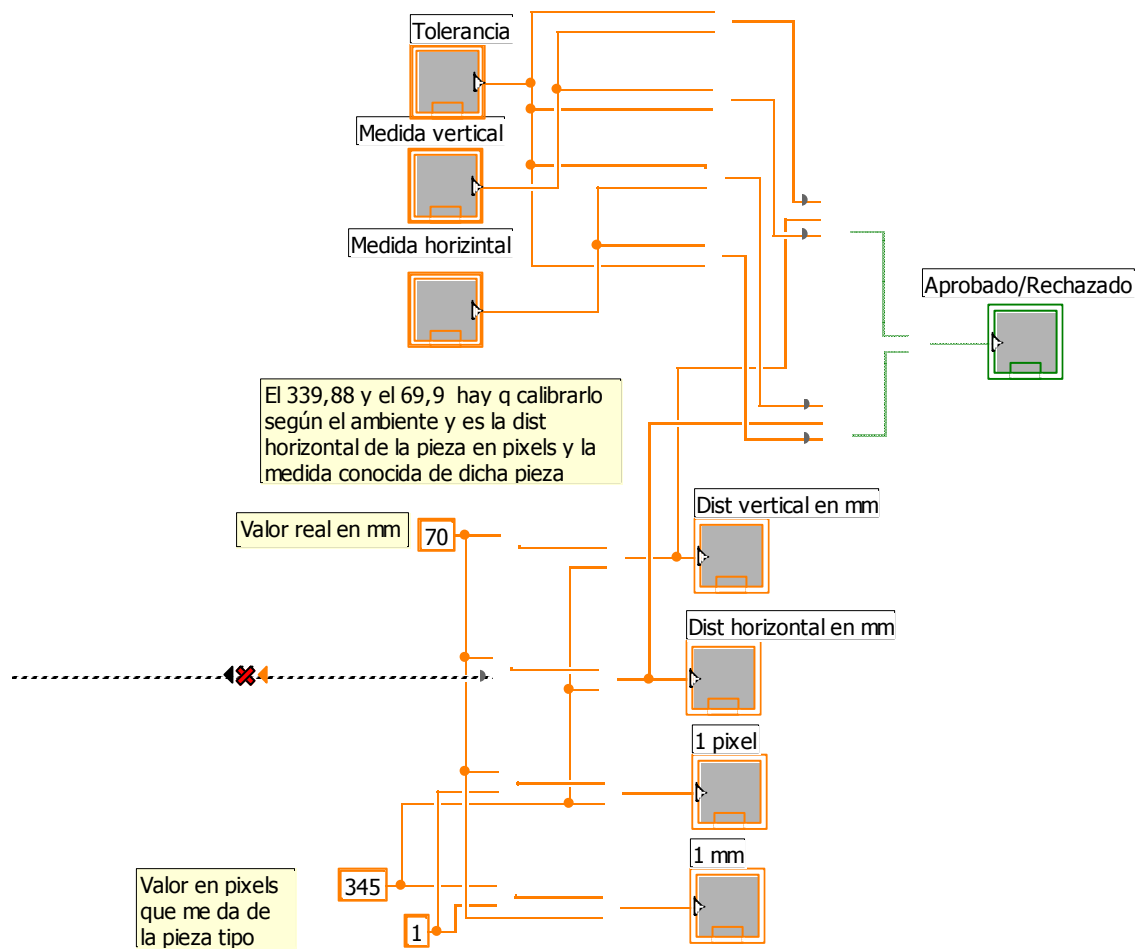


Figura. 4.5. Parte del Programa de IMAQ correspondiente a la correlación de pixels y mm

**Otros Valores a Calibrar:** Además deberá fijarse:

La dirección del puerto paralelo que utilice esa computadora

- Según el dato que envíe el robot para notificar que la pieza está lista, la máscara y el dato para la comparación.
- El rango para el trabajo del Threshold que son los datos que arroja el Histogram.
- El formato en que se capturará el video.
- El valor que arrojará el puerto paralelo al robot en caso de ser una pieza correcta o en caso de ser una pieza incorrecta.

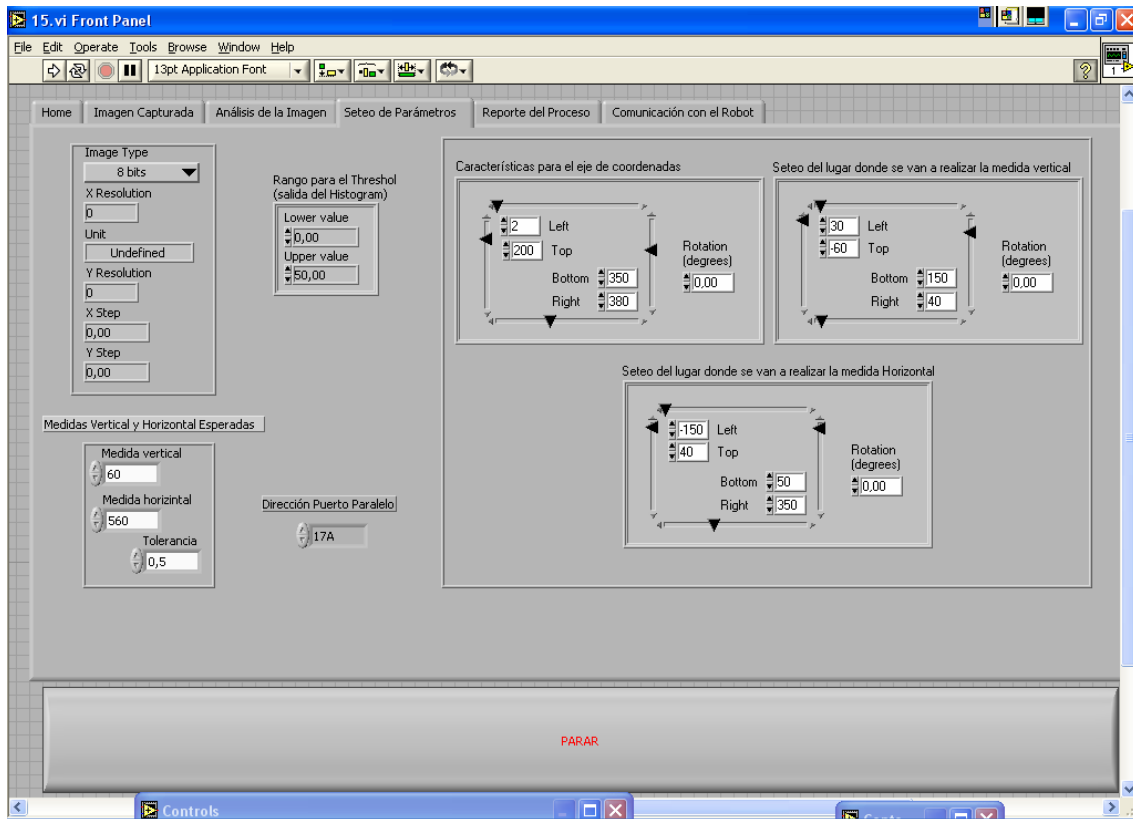


Figura. 4.6. Pantalla donde se calibran los datos iniciales

#### 4.4 Preparación de los Sistemas que se ejecutarán

##### Puesta a punto del Programa VI 2005:

- Arranque el computador normalmente.
- Busque en el escritorio el acceso directo al archivo VI2005.



Vi2005.vi

Figura. 4.7. Imagen del archivo VI2005.VI

- Ejecute este programa esperando que todos los sub VI's se abran automáticamente.
- Defina y setee las características de operación del sistema.

- Una vez que se haya abierto y esté listo para operar el sistema pulse el botón de corrida continua del programa.

Este programa podrá ser utilizado cuando se vaya a trabajar en total integración con el CIM 2000 y todo el resto de estaciones estén operando normalmente, de lo contrario podrá utilizarse el programa VI20005 manual.vi para poder correr solamente la estación VI2005; en este caso también se deberá usar el programa en el robot VI2005 manual.rob.



VI20005 manual.vi

**Figura. 4.8. Imagen del archivo VI2005 manual.VI**

#### **Puesta a punto del Programa del Robot:**

- Arranque el computador normalmente.
- Arranque el controlador del Robot C500C.
- Busque con el pad si se encuentra en la memoria del controlador del robot el programa VI2005.rob y además verifique que se encuentren en la memoria del controlador las variables y localidades usadas en este programa (Ver 8.2 Robcomm).
- En caso de estar el programa y todos las variables y localidades en el controlador, desde el mismo pad corra el programa cuando ya esté dispuesto a iniciar el proceso.
- En caso de no estar el programa o alguna de las variables o localidades, busque en el escritorio el acceso al programa ROBCOMM.
- Ejecute este programa y vaya a la viñeta FILE, luego diríjase a SEND . luego a PROGRAM, luego seleccione el programa VI2005 de la lista y presione F10 para enviar el programa al controlador. Repita el proceso pero en vez hacerlo desde PROGRAM, desde LOCATIONS o VARIABLES, para los respectivos datos.
- Una vez todos los programas en el controlador proceda a correrlos desde el control pad del robot.

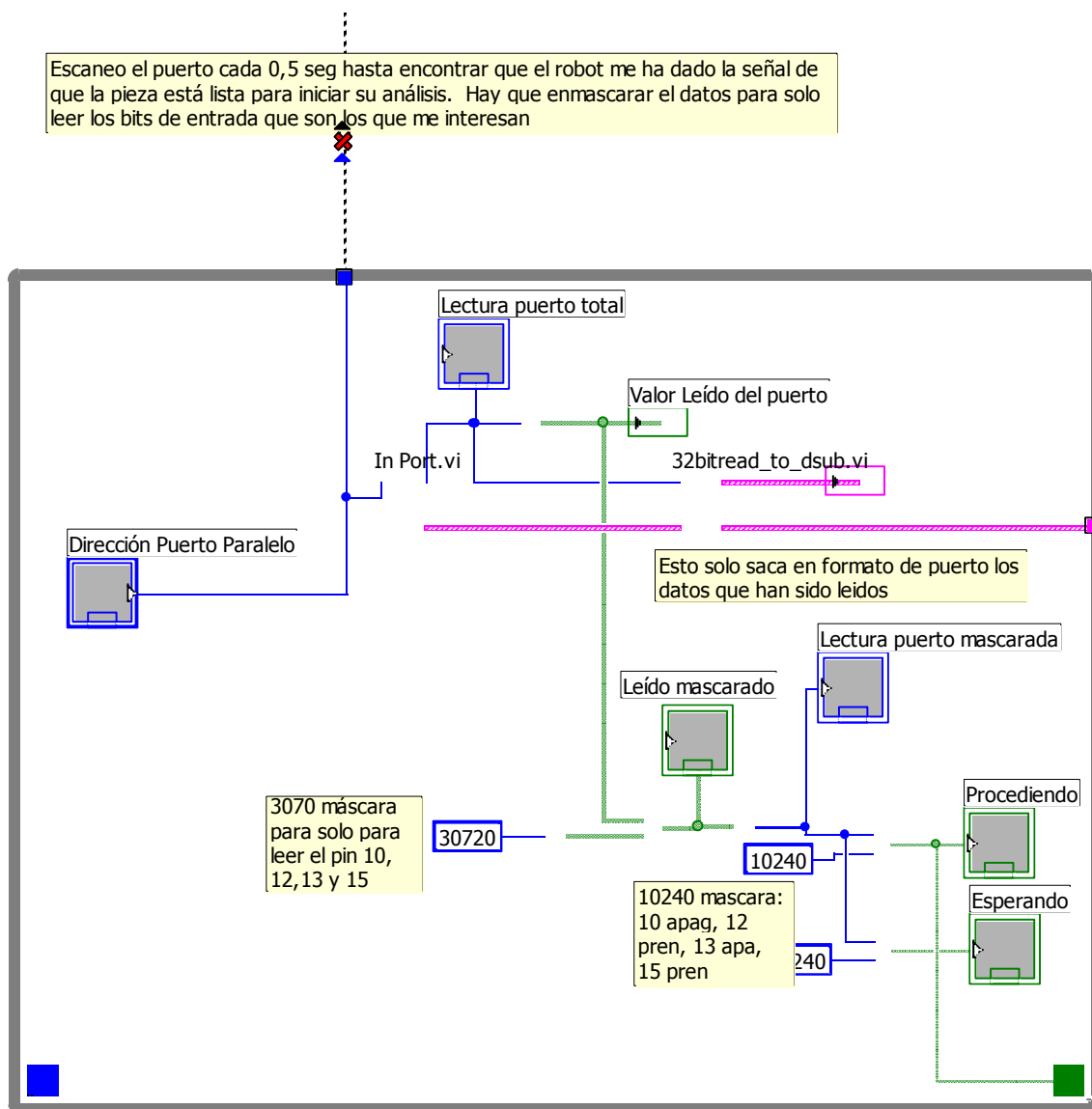
#### **4.5 Señal de Inicio para la adquisición de la imagen**

Como primer paso y una vez calibrados los parámetros del programa VI2005 de IMAQ, el computador iniciará escaneando el puerto paralelo por el cual recibe la señal de Inicio de Inspección por parte del robot. Esta señal es producida en el puerto GPIO y luego de transducida llega al puerto paralelo en uno de los dos pines habilitados para recibir señales externas (Pin 10 y Pin 12). Esta señal será activada por parte del robot una vez que haya colocado exitosamente la pieza en el pozo de luz.

Para evitar interferencia con otras señales dentro del programa VI2005 y luego de escanear el puerto se procede a filtrar el puerto para permitir el análisis únicamente del pin que se haya destinado para esa función. En el ejemplo se puso una máscara 30720 que permitirá leer únicamente los pines 10, 12 y 13. Luego se procede a hacer una comparación del valor leído en el puerto con el valor previamente establecido (dependiendo del pin que se esté leyendo.), en el ejemplo se ha definido el número 1024 que significa el pin 10 apagado, 12 prendido, 13 apagado y 15 prendido. Siempre que se de esta lectura en el puerto entonces se permitirá avanzar a la siguiente fase que es la adquisición de la imagen, de lo contrario leerá nuevamente el puerto hasta que este dato se cumpla.

Es muy importante el colocar adecuadamente dentro de los parámetros seteados la dirección correcta que el computador tenga registrado para el trabajo con el puerto paralelo y que su configuración sea bidireccional-estándar.





**Figura. 4.9. Parte del Programa de IMAQ correspondiente a la lectura y filtrado del puerto paralelo**

Para facilitar el análisis de la información se ha adicionado una hoja en la interfaz de usuario que permite ver gráficamente la lectura que realiza la computadora del puerto paralelo y la etapa del proceso

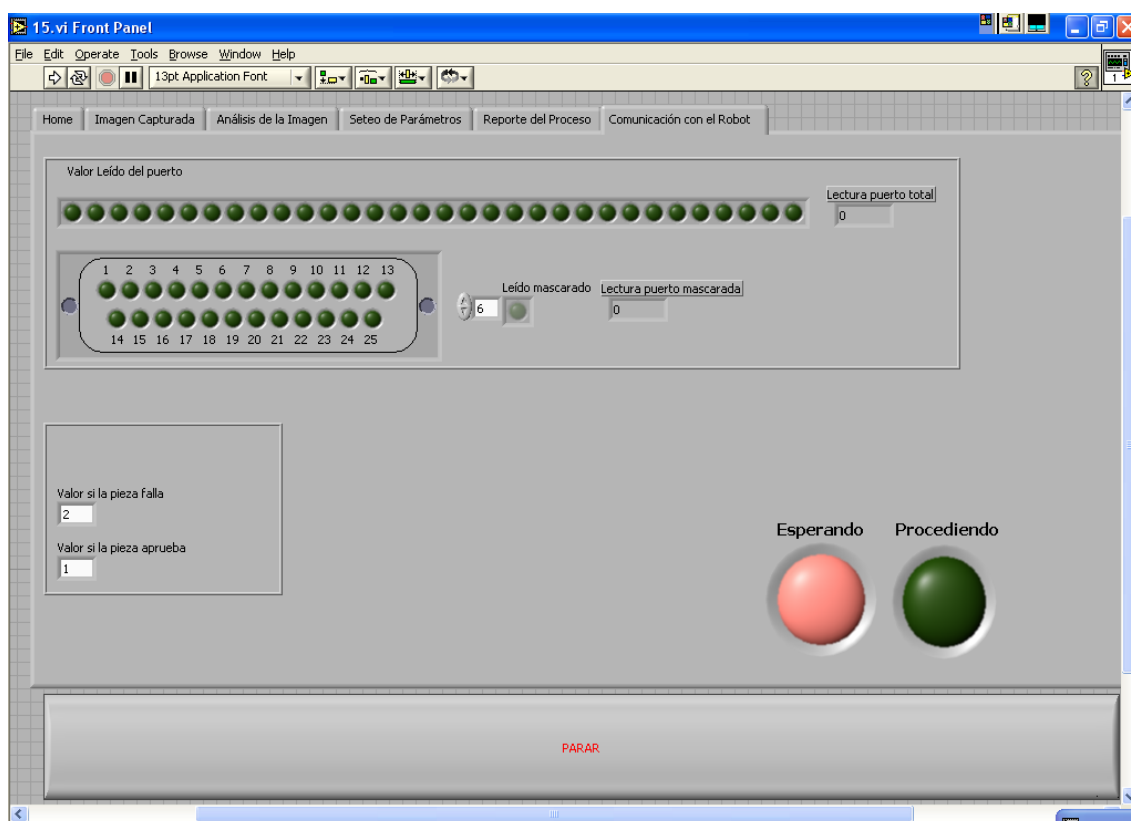


Figura. 4.10. Hoja para le lectura del Puerto paralelo

En esta hoja también se fijarán los valores que serán presentados al robot en caso que sea una pieza correcta o en el caso de ser una pieza errada.

#### 4.6 Adquisición de la Imagen

Una vez confirmada la operación general del sistema se puede proceder al proceso de adquisición de la imagen. Este proceso requiere además de la base de LabVIEW y del Toolbox de IMAQ, un conjunto de drivers específicos para el manejo del puerto IEEE-1394. Por eso es tan importante al seleccionar la cámara que se escoja una que tenga drivers compatibles con National Instruments.

Adicional a estos drivers es muy importante además establecer el tipo de cámara y registrarla dentro del hardware compatible con National Instruments instalado, esto se hace con la siguiente secuencia:

1. instalación del software propio de la cámara.

2. instalación de LabVIEW 7.0: dos discos uno de instalación y otro de drivers.
3. Instalación de IMAQ 7.0: con la misma clave que LabVIEW.
4. Instalación de IEEE 1394 cameras: con la misma clave que LabVIEW
5. Ingreso en “Measurement y Automaticion”, en la carpeta “Devices and Interfaces” encuentro la carpeta “NI IMAQ IEEE 1394 Devices” y ahí encuentro la cámara que ya la tengo conectada.
6. Hago clic derecho selecciono drivers y le pongo el “**NI-IMAQ IEEE 1394 Digital Camera**”. Ahí le reconoce como CAM 0 : “Unibrain Fire-i 1.2”, y recién ahí puedo adquirir imágenes y desde aquí fijar las características de la cámara. Cambio todos los parámetros que crea necesario y grabo estos.

El realizar este proceso en el orden indicado es sustancial para la correcta instalación de los equipos.

Una vez instalados correctamente todos los paquetes y drivers indicados es posible programar la primera etapa del programa que se refiere a la adquisición.

En un primer momento se requiere definir la cámara por la cuál se va capturar las imágenes “cam0” (definida en Measurement y Automaticion), esto se realizar por medio del bloque “IMAQ1394 init.vi”. Luego se utilizan los bloques “IMAQ1394 attribute.vi”, “IMAQ1394 Grabsetup.vi” y “IMAQ1394 grabAcquire.vi” para adquirir la imagen según los formatos definidos. (Imagen 4.10)

La imagen debe ser adquirida en blanco y negro en el formato 640X480 Y (Mono 8)(15 fps)

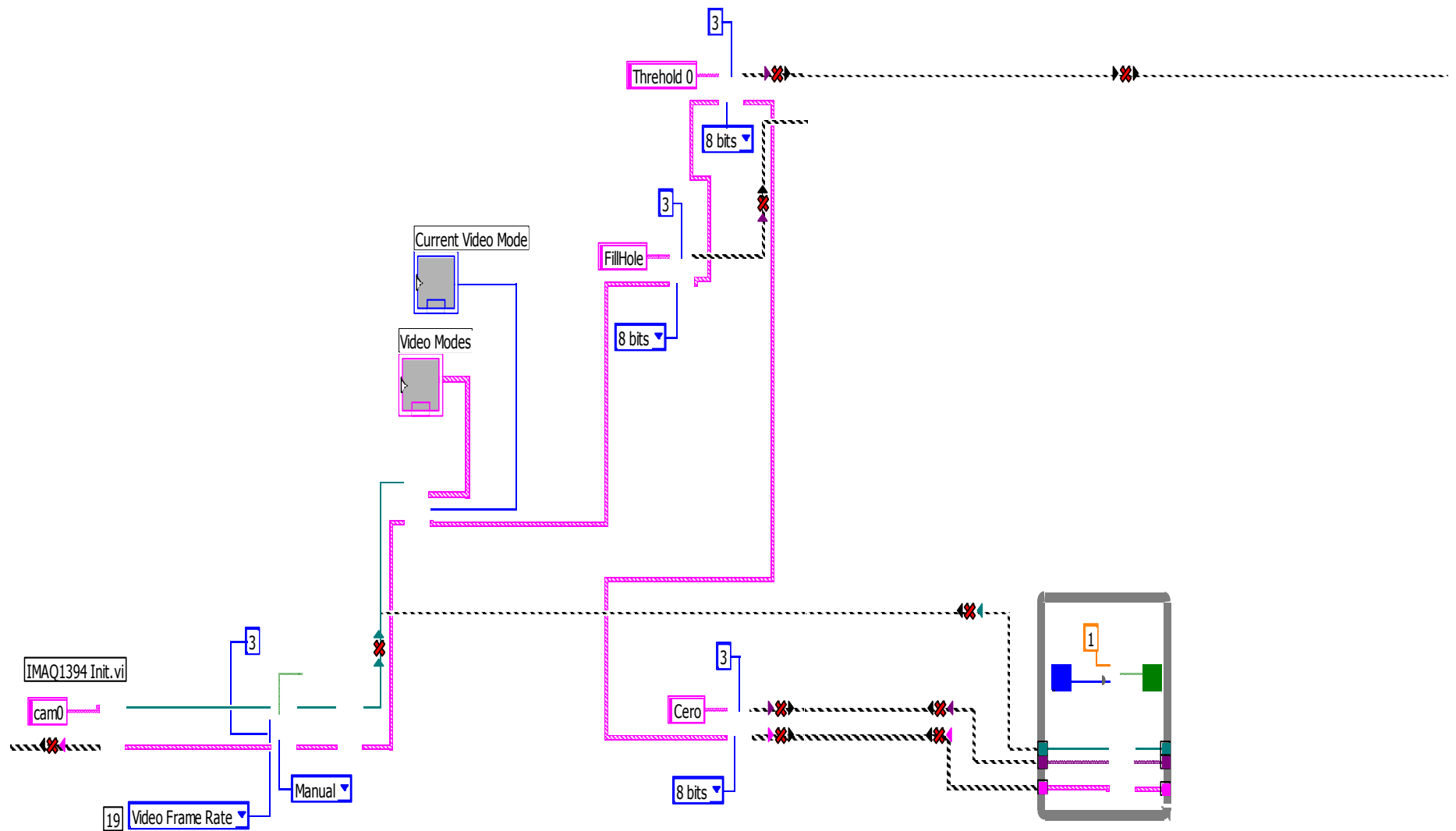


Figura. 4.11. Parte del Programa de IMAQ correspondiente a la adquisición de la imagen

Existen varias modalidades de adquisición de la imagen que pueden ser exploradas por el usuario según la misión específica que pretenda:

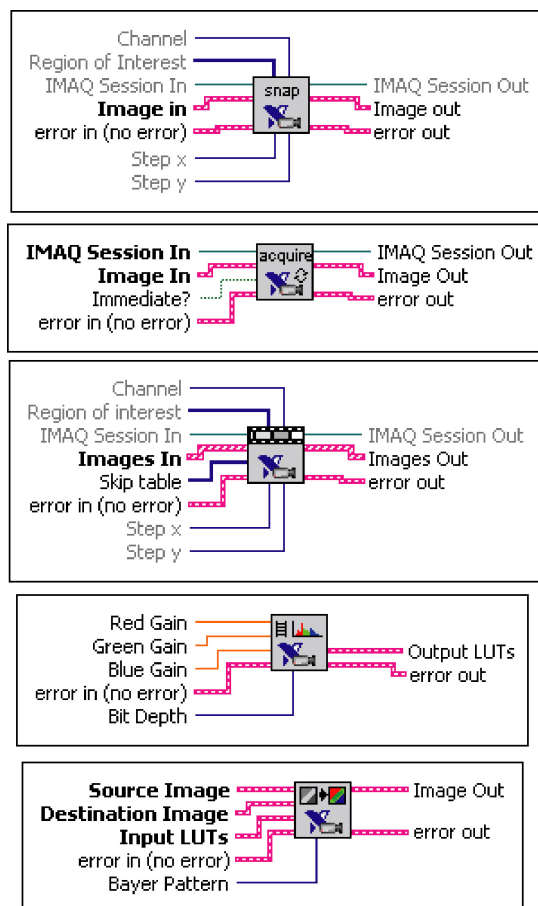


Figura. 4.12. Diferentes VI's de LabVIEW para filmar objetos

#### 4.7 Análisis de la Imagen

Una vez adquirida la imagen se presenta el resultado y se pasa inmediatamente al análisis de la imagen en las diferentes etapas:

- Características de la Imagen adquirida:** El primer paso es determinar cuales son las características con las que hemos adquirido la imagen para según estas características definir el alcance del análisis de la misma.

- b) **Histograma de la Imagen “IMAQ Histogram.vi”:** Por medio de este bloque es posible determinar el espectro de color de la imagen adquirida; esto nos permite determinar en qué rangos se encuentra el fondo y en qué rangos la pieza. Estos rangos, principalmente el de la pieza depende del color y material de la misma y además de la iluminación en el pozo de luz suministrada.

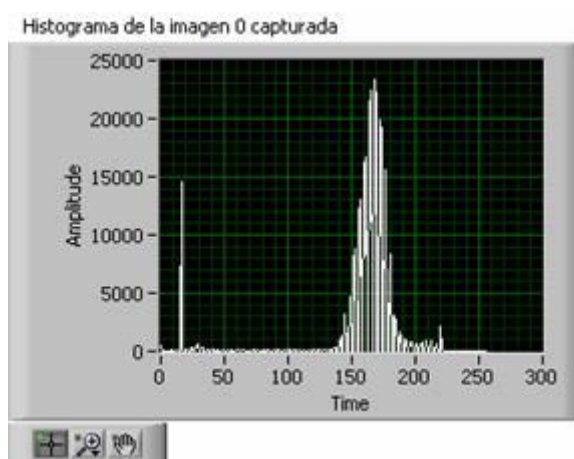


Figura. 4.13. Figura del Histograma de una pieza

- c) **Threshold de la Imagen “IMAQ Threshold.vi”:** Una vez determinado el espectro en el que será analizada la pieza se fija este dato en el Threshold y esto nos permite hacer una separación total de la pieza del fondo. Este es un paso básico para el análisis de la pieza ya que no es posible su estudio si no existe separación del fondo en el que es filmada la pieza. Para facilitar este proceso se utiliza un fondo diferente del color de la pieza y se ajusta la iluminación. Dentro de este proceso se le asigna un valor “1” a todo lo que no sea fondo, es decir la pieza y “0” a la pieza, como consecuencia de este traspaso se pierde cualquier detalle interno de la pieza como pueden ser variaciones en relieve superior de la pieza, etc.

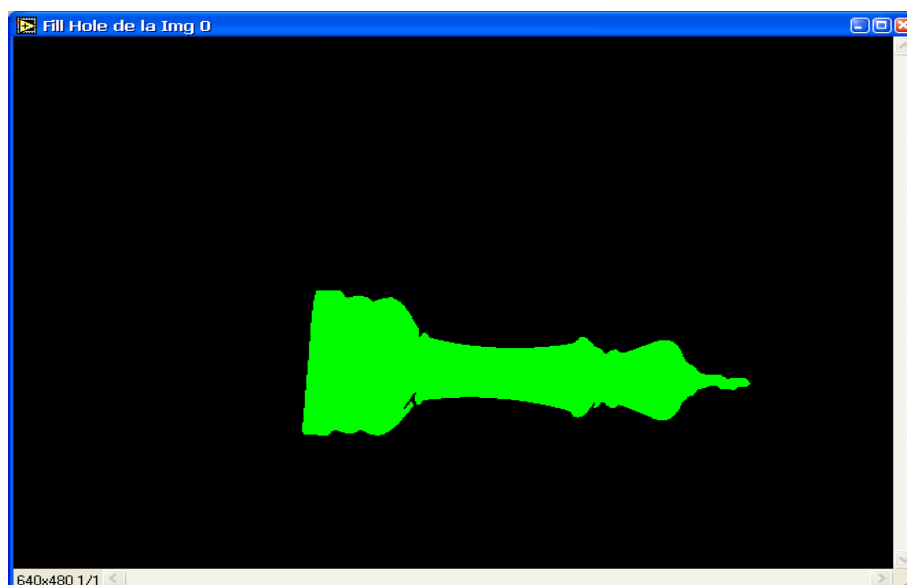
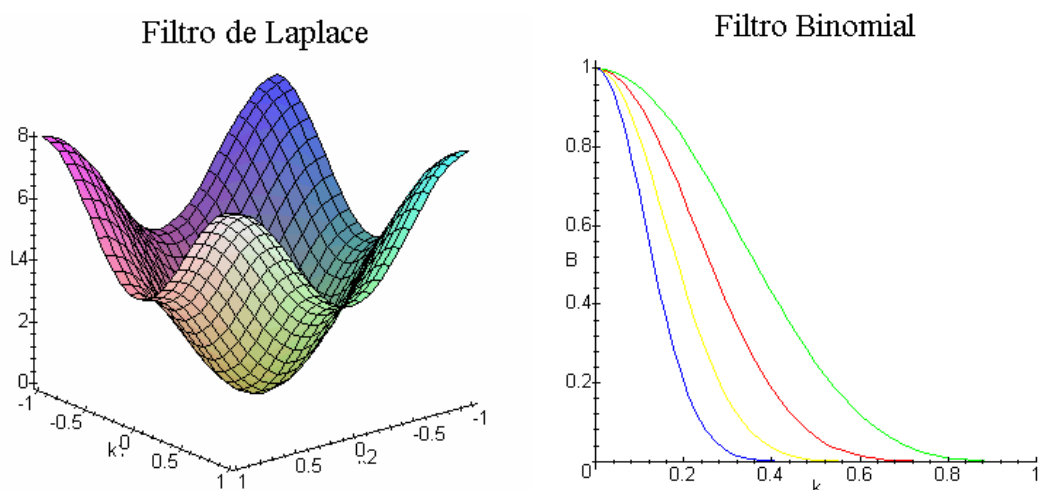


Figura. 4.14. Figura de la pieza digitalizada

- d) **Fill Hole de la Imagen “IMAQ FillHole.vi”**: Una vez definido el perímetro de la pieza y su contenido, procedemos a eliminar cualquier posible error que se haya suscitado en la determinación del contenido de la pieza dejando pequeños huecos en la misma; para esto usamos el Fill Hole que nos permite únicamente el eliminar pequeños orificios que puedan considerarse como errores en el proceso. Este paso es importante ya que nos permitirá tener exactitud el momento de determinar el área, centro de masa, etc.
- e) **Establecimiento de Sistema de Coordenadas relativo “IMAQ FindCordSys(rect).vi”**: La imagen adquirida por medio de la cámara apenas ingresa al sistema se la enmarca dentro de un sistema de coordenadas por defecto, que tienen referencia a los filos de la imagen tomada, es así que la esquina inferior izquierda representará el punto origen 0,0 y todos los cálculos que se hagan de la pieza (Centro de Masa, Orientación, etc.) tomarán en cuenta esta referencia. Si se quiere trabajar con medidas reales de la pieza es muy importante primero definir un sistema de coordenadas real que tenga como punto de origen el inicio de la pieza (es posible escoger en cuál extremo de la pieza se define el origen del sistema de coordenadas).

Si se requiere optimizar una imagen antes de realizar su análisis se puede utilizar varios métodos como son:

- Filtros pasa altas.
- Filtros pasa bajas.
- Filtros gradiente.
- Filtros Kernel.
- Filtros Laplacianos
- Filtros FFT, etc.



**Figura. 4.15. Filtrado de imágenes**

Luego de varias pruebas realizadas se determinó que todo el proceso de adquisición de la imagen, el mejoramiento y análisis de la misma hasta terminar con un dato concluyente de aprobación o rechazo de la pieza toma menos de 0,5 segundos. Este tiempo es totalmente despreciable dentro del proceso general, ya que el robot entre tomar la pieza de la banda y colocarla en el pozo de luz tarde entre 2 y 6 segundos según el tipo de programación. El sistema en general luego de las pruebas y comprobando con el funcionamiento teórico de la estación VI 2000 ha mejorado su desempeño de velocidad en un 300%.



#### 4.8 Comunicación del resultado del análisis al Robot:

Una vez terminado el análisis de la pieza y ya con los resultados finales, se procede a comunicar al robot el resultado para que este según su programación defina el destino de la pieza y los siguientes pasos a dar. Esta notificación se realiza por medio del puerto paralelo de la computadora que luego de ser transducida y comunicada por medio de las diferente interfaces ya anotadas, llega al puerto GPIO del Robot.

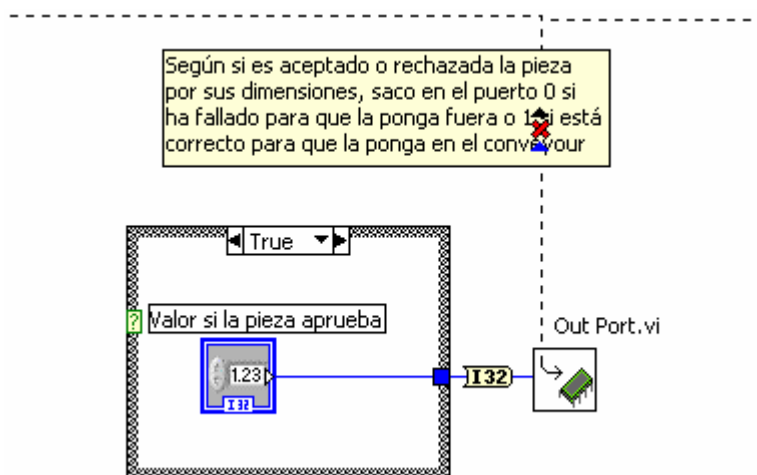


Figura. 4.16. Parte del Programa de IMAQ correspondiente a la escritura del puerto paralelo

#### 4.9 Seguimiento y análisis de los reportes:

El sistema opera automáticamente y al final del día presenta un reporte de operación con las estadísticas de las piezas correctas y defectuosas. En caso que más de tres piezas resulten defectuosas de manera continua, el CIM debería presentar una señal de alarma suspendiendo la operación del proceso de producción, esta nueva característica debe ser incluida en la central del CIM.

Existe la posibilidad de realizar un seguimiento en tiempo real y recibir los reportes tanto a otra computadora o a un PDA vía Internet o vía radio frecuencia según se requiera, este tipo de reportes no ha sido implementado en esta versión del sistema.

#### 4.10 Posibilidades de Adaptabilidad

##### Adicionar más áreas de medición en la pieza:

Las áreas de medición de la pieza tanto vertical como horizontal pueden llegar a ser ilimitadas mientras no sobre pasen los recursos del sistema. Si se requiere tener más áreas medidas en la pieza únicamente es necesario adicionar el bloque correspondiente

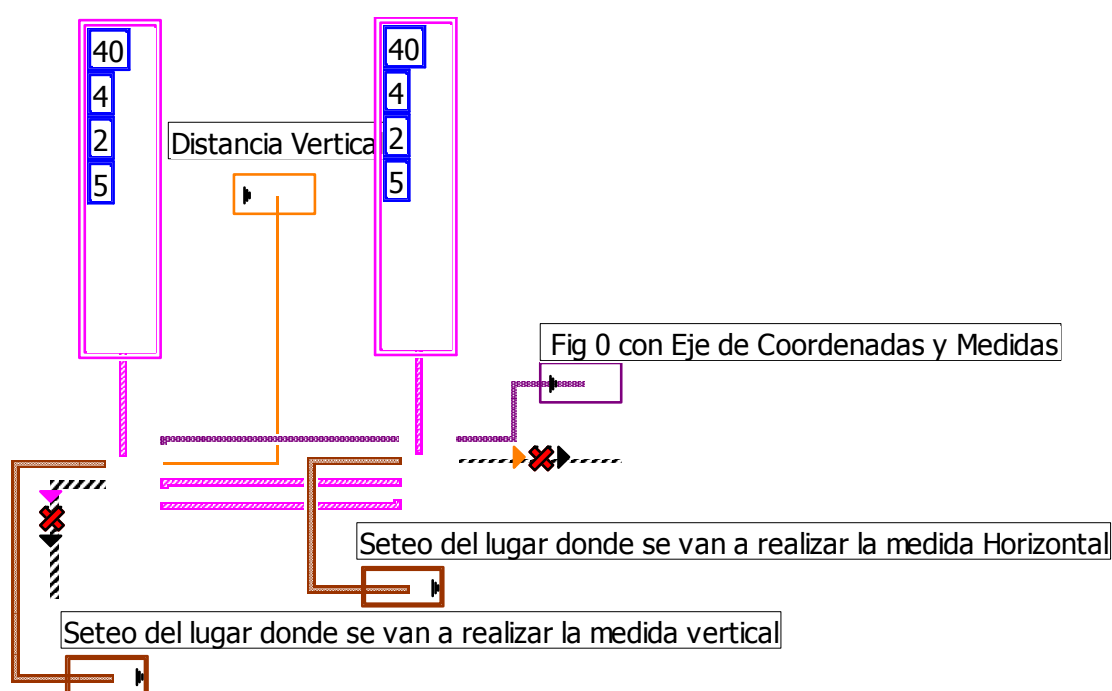


Figura. 4.17. Parte del Programa de IMAQ correspondiente a la medición de la pieza

El único paso necesario será definir el área y las características que se requieran para la medición según el caso específico. Si se tiene que hacer una medición de anillo existen bloques especializados para esta tarea.

### La pieza varía en su posicionamiento antes de ser adquirida la foto:

Hemos utilizado un sistema para la fijación del sistema de coordenadas teniendo en cuenta que el robot pone casi con total exactitud la pieza sobre el pozo de luz en la misma forma todas las veces, por eso hemos utilizado un bloque que admite hasta una variación de  $\pm 65^\circ$ . En el caso que la pieza sea puesta con otro sistema se puede cambiar este bloque por uno que admita variaciones de hasta  $\pm 360^\circ$ .

#### 4.11 Posibles Problemas

- El programa VI 2005 de LabVIEW no se puede correr por falta de uno o más bloques:

Posible Razón	Posible Solución
No están instalados los drivers de IEEE 1394.	Instalar drivers IEEE 1394 que es un CD aparte.
No está instalado el Toolbox IMAQ.	Instalar Toolbox IMAQ que es un CD aparte.
La versión del LabVIEW es anterior al 7.0 Express	Instalar LabVIEW 7.0.

- La imagen capturada es muy oscura o difusa:

Posible Razón	Posible Solución
No existe la iluminación necesaria para captar la imagen.	Adicionar otra fuente de luz, cuidando que no produzca sombras.
No está bien enfocada la pieza en relación a la cámara.	Enfocar utilizando el sistema grab continua del software y girando la perilla de la cámara.
Las características de la captación de la imagen no son las adecuadas (modo de video, resolución, etc.).	Probar los diferentes formatos de captación de la imagen probando en

	“Measurements y Automaticion” o en el programa de LabVIEW.
--	--

- La pieza tiene las medidas correctas pero no es aceptada por el programa:

Posible Razón	Posible Solución
La calidad de la imagen adquirida no es la adecuada.	Ver punto anterior para solucionar este problema.
No están bien fijadas las áreas de medición de la pieza.	Cerciorarse en el bloque de mediciones que las áreas abarquen las áreas de medidas.
No está bien fijados los parámetros de medición y los rangos permitidos.	Cerciorarse que los rangos de la pieza ideal están correctos.

- La pieza es aceptada en el programa VI 2005 de LabVIEW pero el robot A255 y el CIM no responden coherentemente a este dato:

Posible Razón	Posible Solución
No está bien conectado el cable paralelo de la computadora a la interfaz IVI 2005.	Cerciórese que el cable esté correctamente conectado y los tornillos ajustados.
No está configurada adecuadamente la comunicación del puerto paralelo.	El puerto paralelo tiene que estar en modo estándar esto se puede modificar en el setup pulsando f8 al iniciar el computador.
Alguna de las interfaces no funciona correctamente.	Verifique los indicadores de cada una de las interfaces para ver si es coherente con la señal del computador.
El programa del robot no corre adecuadamente.	Cerciorarse que el programa del robot sea el adecuado y que no haya sido

	modificado.
--	-------------

- No se inicia el proceso de adquisición de imagen y análisis de la misma:

Posible Razón	Posible Solución
<p>No está bien conectado el cable paralelo.</p> <p>Existe algún problema en las interfaces.</p> <p>El robot no produce la señal correspondiente luego de dejar la pieza en el pozo de luz.</p>	<p>Cerciórese que el cable esté correctamente conectado y los tornillos ajustados.</p> <p>Verifique los indicadores de cada una de las interfaces para ver si es coherente con la señal del computador.</p> <p>Cerciorarse que el programa del robot sea el adecuado y que no haya sido modificado.</p>

- El Robot no toma la pieza de la banda transportadora:

Posible Razón	Posible Solución
<p>El robot no recibe la señal del CIM para tomar la pieza</p>	<p>Verificar la programación y correcta operación del CIM 2000</p>

#### 4.12 Mantenimiento del Sistema “VI 2005”

##### 1. Revisión Bi mensual del equipo:

A la estación VI 2005 hay que inicializarla calibrando todas sus características específicas, pero luego que ya está operando es importante realizar un mantenimiento de rutina que se recomienda no sobre pase los dos meses. Este mantenimiento incluye:

- Realizar una limpieza de polvo y tierra de todos los equipos.
- Revisar que los focos del pozo de luz operen correctamente.
- Limpiar el lente de la cámara y ajustar el enfoque del mismo.
- Realizar una limpieza a fondo del robot y de cada una de sus articulaciones.

## **2. Revisión Semestral del equipo:**

A la estación VI 2005 semestralmente hay que realizarle una calibración total que incluye:

- Desarmar y volver a armar todas las conexiones entre el Robot, la computadora de control, las interfaces, la cámara y el CIM limpiando de polvo y tierra todos los puertos.
- Re calibrar el foco de la cámara, la distancia de esta ante la pieza y la iluminación del pozo de luz.
- Limpiar el lente de la cámara.
- Engrasar y fijar el home del robot eléctrico A255
- Revisar el programa y corregir cualquier desfase o cambio que se haya realizado indebidamente por la manipulación inadecuada.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- Este proyecto ha sido de especial valor para confirmar la importancia que tienen los sistemas automatizados por medio de sistemas robóticas sobre todo para evitar a los seres humanos tareas repetitivas, alienadoras y deshumanizante como puede ser el control de calidad por inspección humana. La tecnología tiene sentido siempre y cuando sea una herramienta que le permita al hombre desarrollarse no solo productiva y económicamente sino humana e integralmente.
- El programa LabVIEW es de gran potencialidad para aplicaciones industriales y comerciales ya que ofrece una gran interacción con todo tipo de periféricos y accesorios, con una programación gráfica y estructurada sumamente sencilla que evita todo el proceso de implementación de algoritmos matemáticos para el análisis de datos. Definitivamente es mucho más sencillo tanto de aprender como de programar que las otras opciones en las que es posible realizar un programa de este tipo: C++, Java, Visual Basic, etc. En estos programas es indispensable construir todo el algoritmo matemático para el procesamiento digital de imágenes lo que resulta especialmente complicado. En LabVIEW se utiliza directamente el Toolbox IMAQ donde ya están programadas todas estas funciones.

- 
- A pesar que no se contaban con los datos registrados de velocidad de operación de la estación VI 2000 y al esta fuera de funcionamiento no se pudo realizar pruebas reales, se presume basado en las nuevas características de comunicación de las imágenes y además en la arquitectura de procesamiento de las mismas en busca de definir las características necesarias, que se ha podido optimizar la velocidad del sistema en un 300%.
  - Tratándose de manejo de imágenes digitales es indispensable tanto la velocidad de procesamiento como la comunicación entre la cámara y el procesador, por eso la aplicación del sistema de comunicación IEEE-1394 fue de especial valor para cumplir con los objetivos dentro del proceso de realizar un sistema eficaz pero veloz.
  - La aplicación de la última tecnología en cámaras digitales no solamente nos permitió triplicar la velocidad de operación del sistema, sino además economizar casi \$2200 solo en lo que se refiere a cámaras y tarjetas de adquisición de imágenes con relación a la estación VI-2000.
  - El contar con un software abierto que controle la estación VI 2005 permite el pensar en futuras mejoras y adiciones a esta estación hasta llegar a un sistema totalmente integrado y sobre todo aplicable a nivel industrial.
  - El proceso de control de calidad en los procesos de producción tiene gran demanda en la industria ecuatoriana, ya que es implementado con tecnologías muy elementales y poco eficaces. Es indispensable que la formación que se recibe en la ESPE esté no solo regulada por la mayor rigurosidad y calidad, sino también enfocada en la realidad industrial del país y proyectada a nivel internacional.



## 5.2 RECOMENDACIONES

- Incorporar por medio del trabajo en la estación VI 2005, un capítulo de LabVIEW con IMAQ en el pensum normal de los estudiantes de ingeniería electrónica con especialización en control que cursen el último año de su carrera.
- Para no alterar la arquitectura original de la estación la integración de esta con el resto del CIM se realizó por medio del Robot A255, sin embargo podría ser una de las próximos proyectos a realizarse el integración de esta estación por medio del computador que realiza en procesamiento de la imagen vía Internet.
- Dentro del proceso de escogitamiento de los equipos principalmente de la cámara hay que tomar en cuenta tanto las características técnicas del equipo como la compatibilidad con el software y la accesibilidad para adquirir el equipo en Latinoamérica.

## BIBLIOGRAFÍA

- MORENO ARMENDÁRIZ, Marco. **Tesis Doctoral: “Visión Artificial estero con aplicación al control de un brazo de robot”**, México D.F., 2003.
- GORDILLO, Rodolfo, RECALDE, Mario, RUBIO, Jorge, **Tesis de Ingeniería: “Documentación para la instalación, mantenimiento y operación del sistema d manufacturación integrada por computadora” Tomo I y II**, Sangolquí, 1996.
- 8avo nivel de Comunicación Organizacional, Guía Básica para Citar Fuentes, Quito, 2003
- Degem Systems, **Artificial Vision System VI – 2000**, USA, 1993.
- National Instruments, **IMAQ User Manual.pdf**, May Edition 1999.
- Arturo de la Escalera, **Visión Por Computadora Fundamento y Métodos**, Madrid, 2001
- <http://nevado.manizales.unal.edu.co/pci/nolineales.htm> , **Procesamiento Digital de Imágenes**
- <http://www.ing.ula.ve/~abravo/document/tutorial/imagenes/capitulo%2011.html>, **Procesamiento Digital de Imágenes**
- [http://info.uned.es/ca-bergara/spring/usuario\\_spa/pdi\\_con.htm](http://info.uned.es/ca-bergara/spring/usuario_spa/pdi_con.htm) , **Procesamiento Digital de Imágenes**

## **ANEXOS**





## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla. 2.1. Niveles de LabView	21
Tabla. 3.1. Opciones de Cámaras	27
Tabla. 3.2. Diagrama de Relaciones entre el robot y el computador	31
Tabla. 3.3. Registro de Entradas y Salidas del GPIO de Robot	34
Tabla. 3.4. Características de la Cámara Fire i	36
Tabla. 3.5. <i>Comparación entre las cámaras Fire i y la Ibot</i>	39
Tabla. 3.6. Lista de Cámaras compatibles con National Instruments	40
Tabla. 3.7. Comparación entre USB y IEEE 1394	46
Posibles Problemas	98

## GLOSARIO

- CIM: Centro de Manufactura Integrada: Sistema de Producción con integración de todas sus estaciones por medio de canales y procesos de comunicación.
- GPIO: General Purpose Input Output: Puerto del Robot A255 de propósito general
- VI 2000: Estación de Control de calidad del CIM 2000 que opera por medio de inspección visual
- VI 2005: Nueva estación de Control de calidad del CIM 2000 que opera por medio de inspección visual con un paquete informático abierto.

**Sangolquí, 24 de Mayo de 2005**

**ELABORADO POR:**

---

Sr. Julio César Benítez Rodríguez

**AUTORIDADES:**

---

Sr. Ing. Marcelo Gómez Cobos  
Tnt. Crnl. Estado Mayor  
Decano de la Facultad de Ingeniería Electrónica

---

Sr. Dr. Jorge Carvajal  
Secretario Académico de la Facultad de Ingeniería Electrónica