



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

---

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

Unidad Profesional Adolfo López Mateos Zacatenco

Departamento de Ingeniería en Control y Automatización

*PROPUESTA DE UN SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL APLICADA AL PROCESO  
OVOSCÓPICO EN LA VACUNACIÓN IN OVO*

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**INGENIERO EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN**

PRESENTAN:

**GÓMEZ AGUILAR LUIS FELIPE**

**VILLASÁNCHEZ ROSAS JAVIER**

ASESORES:

**DR. RICARDO TAPIA HERRERA**

**M. en C. RICARDO NAVARRO SOTO**



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**  
**UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”**

**T E M A D E T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN  
DEBERA(N) DESARROLLAR**

**INGENIERO EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN  
TESIS COLECTIVA Y EXAMEN ORAL INDIVIDUAL  
C. LUIS FELIPE GÓMEZ AGUILAR  
C. JAVIER VILLASÁNCHEZ ROSAS**

**“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL APLICADA AL PROCESO  
OVOSCÓPICO EN LA VACUNACIÓN IN OVO”**

DISEÑAR UN PROGRAMA DE VISIÓN ARTIFICIAL ECONÓMICO POR MEDIO DE LA PLATAFORMA VIRTUAL LAB VIEW CON EL CUÁL SE DEFINA LA FERTILIDAD DE LOS HUEVOS EN INCUBACIÓN, COMUNICANDO LAS SALIDAS GENERADAS POR LA VISIÓN CON LAS ENTRADAS DIGITALES DE UN CONTROLADOR AUTÓMATA PROGRAMABLES (PAC) EMPLEANDO PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN ETHERNET ADAPTABLE AL PROCESO DE VACUNACIÓN, DIRIGIDO A PEQUEÑAS Y MEDIANAS EMPRESAS SIN DISCRIMINAR SU USO EN EMPRESAS DE ALTA PRODUCCIÓN.

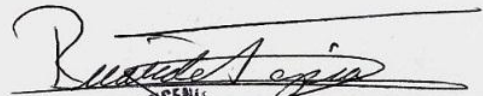
- ❖ MARCO TEÓRICO.
- ❖ PROCEDIMIENTO, OVOSCOPIA E INYECCIÓN.
- ❖ DISEÑO DE SOFTWARE.
- ❖ COSTOS, PRUEBAS Y RESULTADOS

**MÉXICO D. F., A 04 DE FEBRERO DE 2016.**

**A S E S O R E S**



**M. EN C. RICARDO NAVARRO SOTO**



**DR. RICARDO TAPIA HERRERA**



**M. EN C. MIRIAM GÓMEZ ÁLVAREZ  
JEFE DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE  
INGENIERÍA EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN**



## *Agradecimientos*

*Dedicada a mi querida madre Alma Delia por llenarme de consejos, amor y humildad, gracias por enseñarme a ser un guerrero y demostrarme la fortaleza de tu persona, a mi padre Octavio Cesar a quien respeto y admiro por quien es, por mostrarme el camino del trabajo, por tu paciencia y amor, a mi hermano Sebastian por sacarme una sonrisa cuando lo necesité, te quiero hermano. A Lizette por estar en los momentos más difíciles y brindarme su cariño y a mi abuela Santa por guiarme, por todo tu amor; donde quiera estés siempre te recordaré.*

*A mi bella familia Abuelos, Tíos, Primos y Primas que con el pasar de los años me brindaron su apoyo y su amor incondicional, crecer juntos me enseñó a mantener unido un vínculo único que siempre me mantendrá de pie. A mis amigos por todos sus consejos, enseñanzas y los momentos más gratos que pude haber vivido. A mis profesores por ser partícipe de mi aprendizaje.*

*La fuente de superación consta de muchos factores y en estos momentos solo con unas líneas redacto mis años de esfuerzo y sacrificio como mis pilares de quien soy ahora.*

*¡Gracias!*

*Luís Felipe G. Aguilar*

*Gracias dios por ayudarme a cumplir una meta más en mi vida, te agradezco infinitamente por permitirme concluir mis estudios universitarios con éxito. Gracias también por darme la dicha de pertenecer a una familia que estuvo conmigo en los momentos más difíciles de mi vida, que a pesar de las caídas, siempre me tendieron una mano para volver a levantarme y seguir adelante.*

*Papá, mamá, gracias a ustedes porque solo mis hermanas y yo somos testigos de todos los esfuerzos y sacrificios que tuvieron que hacer para darnos la oportunidad de estudiar una carrera universitaria, gracias por los consejos y las largas platicas que a veces se llegaban a convertir en regaños, pues es la herencia más grande y enriquecedora que se puede recibir. A mis hermanas Erika y Vania por la ayuda brindada en esta tesis y por los momentos de alegría y felicidad que juntos compartimos.*

*Y por último gracias a mis amigos, profesores y conocidos que estuvieron involucrados en este proyecto, pues cada uno de ellos fueron piezas importantes para realizarlo.*

*¡Gracias!*

*Javier Villasánchez Rosas*



## RESUMEN

El presente trabajo hace mención al desarrollo del diseño de un software de visión artificial útil para la selección e inyección de huevos de gallina con y sin embrión, utilizando como referencia el método de ovoscopía y dando enfoque a plantas incubadoras, contiene, además, investigaciones previas de los métodos de selección e inyección que son empleados en distintas empresas.

El software utiliza una metodología de análisis partiendo de una imagen en 3D que es interpretada, comparada y visualizada en una Interface Máquina – Humano, la respuesta inmediata es enlazada a un Controlador Automata Programable por medio de comunicación Ethernet para efectuar la vacunación.

## ÍNDICE

|                                  |      |
|----------------------------------|------|
| RESUMEN .....                    | ii   |
| ÍNDICE .....                     | iii  |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....          | vi   |
| INTRODUCCIÓN .....               | ix   |
| OBJETIVO.....                    | x    |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... | xi   |
| JUSTIFICACIÓN .....              | xii  |
| HIPÓTESIS .....                  | xiii |

### CAPITULO I: MARCO TEÓRICO

|   |    |
|---|----|
| 1.1 Tecnología In Ovo.....  | 2  |
| 1.1.1 Antecedentes.....   | 3  |
| 1.2 Vacunación de aves y sus métodos de aplicación.....                                   | 4  |
| 1.3 Ventajas de la vacunación In ovo frente a métodos de vacunación<br>tradicionales..... | 9  |
| 1.4 Especificaciones de aplicación para la vacunación In ovo.....                         | 10 |
| 1.5 Ovoscopia.....  | 10 |
| 1.5.1 Problemática de la Ovoscopia.....   | 11 |
| 1.6 Softwares utilizados para las máquinas de vacunación in ovo.....                      | 12 |
| 1.6.1 Software de detección ovoscópica en MatLab.....                                     | 12 |
| 1.6.2 Software de detección ovoscópica en OPENCV.....                                     | 13 |
| 1.7 Concepto de Automatización.....   | 14 |
| 1.8 Procesos Automatizados en la Industria.....   | 15 |

### CAPITULO II: PROCEDIMIENTO, OVOSCOPIA E INYECCIÓN

|   |    |
|---|----|
| 2.1 Proceso de vacunación.....                            | 17 |
| 2.2 Ovoscopia, análisis de imágenes en 3 dimensiones..... | 18 |
| 2.3 Proceso de inyección.....                             | 20 |
| 2.3.1 Jeringas.....                                       | 21 |
| 2.4 Máquina de transferencia.....                         | 22 |

|   |    |
|---|----|
| 2.5 Criterios de Diseño; Labview®.....  | 23 |
| 2.5.1 National Instruments, adquisición de Visión (NI vision acquisition) ®.... | 23 |
| 2.5.2 National Instruments, asistente de Visión (NI vision assistant) ® .....   | 23 |
| 2.6 Visión por computadora .....  | 24 |
| 2.7 Procesamiento de imágenes.....  | 25 |
| 2.7.1 Operaciones individuales.....   | 25 |
| 2.7.2 Modelo RGB (Rojo, Verde y Azul) .....                                     | 27 |
| 2.7.3 Umbralización .....   | 28 |
| 2.7.4 Filtrado.....   | 30 |
| 2.7.5 Filtro ideal paso bajo.....   | 32 |
| 2.7.6 Filtro ideal paso alto.....   | 32 |
| 2.7.7 Filtro Transformada Rápida de Fourier (FFT) .....                         | 33 |
| 2.7.8 Morfología.....   | 34 |
| 2.8 Sistema matricial aplicado a binarización .....                             | 35 |

### CAPITULO III: DISEÑO DE SOFTWARE

|  |    |
|--|----|
| 3.1 Sistema general de obtención de imagen y comunicación .....      | 37 |
| 3.2 Características del software .....                               | 38 |
| 3.3 Extracción de color RGB.....                                     | 42 |
| 3.4 Detección de umbral .....  | 43 |
| 3.5 Morfología .....   | 44 |
| 3.6 Filtro .....   | 46 |
| 3.6.1 Filtrado de tipo FFT.....                                      | 47 |
| 3.7 Conversión de datos dinámicos .....                              | 48 |
| 3.8 Programa desarrollado en Labview <i>Vision and Motion</i> ®..... | 50 |
| 3.8.1 Detalles de programa.....                                      | 51 |
| 3.9 Comunicación general .....                                       | 56 |
| 3.10 Generación del GRAFCET.....                                     | 63 |

CAPITULO IV: COSTOS, PRUEBAS Y RESULTADOS

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| 4.1 Pruebas iniciales .....           | 67 |
| 4.2 Pruebas reales .....              | 67 |
| 4.3 Detalles de la comunicación ..... | 68 |
| 4.4 Análisis de resultados .....      | 69 |
| 4.5 Recomendaciones .....             | 72 |
| 4.6 Costos y presupuesto .....        | 73 |
| <br>                                  |    |
| CONCLUSIÓN .....                      | 76 |
| <br>                                  |    |
| APENDICES                             |    |
| APÉNDICE A. ....                      | 79 |
| APÉNDICE B. ....                      | 82 |
| APENDICE C. ....                      | 84 |
| DISEÑO DEL SOFTWARE .....             | 84 |
| <br>                                  |    |
| BIBLIOGRAFÍA .....                    | 85 |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1.1 Simulación de aplicación múltiple de vacunación In ovo.....                    | 2  |
| Figura 1.2 Aplicación de la inyección In Ovo para un lote de huevos .....                 | 3  |
| Figura 1.3 Vacunación Subcutánea .....  | 5  |
| Figura 1.4 Vacunación Intramuscular.....  | 5  |
| Figura 1.5 Gabinete de aspersion .....  | 6  |
| Figura 1.6 Vacunación por medio de aspersores.....  | 7  |
| Figura 1.7 Equipo de aspersion portátil.....  | 7  |
| Figura 1.8 Vacuna en el agua de bebida.....   | 8  |
| Figura 1.9 Aplicación de la vacunación Óculo-Nasal .....                                  | 8  |
| Figura 1.10 Vacunación Oral.....  | 9  |
| Figura 1.11 Lote de huevos en maquina ovoscópica .....                                    | 11 |
| Figura 1.12 (a) Prueba de fertilidad con ayuda de un ovoscopio. ....                      | 11 |
| Figura 1.12 (b) Ovoscopio.....  | 11 |
| Figura 1.13 Mesa Ovoscópica.....  | 12 |
| Figura 1.14 Adquisición y conversión con Matlab .....                                     | 13 |
| Figura 1.15 Adquisición y conversión con OPENCV .....                                     | 14 |
| Figura 2.1 Diagrama de proceso.....   | 17 |
| Figura 2.2 Charola de incubación tipo ht 88.....  | 18 |
| Figura 2.3 Método utilizado para la ovoscopía .....                                       | 19 |
| Figura 2.4 Cámara oscura para la selección de huevos embrex vmd erh.....                  | 19 |
| Figura 2.5 Pantalla táctil para el separado de los huevos embrex vmd erh .....            | 19 |
| Figura 2.6 Ventosas de maquina desarrollada por Pfizer.....                               | 20 |
| Figura 2.7 Diagrama esquemático del suministro de ambas vacunas. ....                     | 21 |
| Figura 2.8 (a) Jeringa hipodérmica doble.....   | 22 |
| Figura 2.8 (b) Vista lateral de inyector con el suministro de dos vacunas.....            | 22 |
| Figura 2.9 Máquina de transferencia.....  | 22 |
| Figura 2.10 Diagrama de bloques del proceso completo de la <i>vision</i> artificial ..... | 24 |
| Figura 2.11 Funciones de punto y vecindad.....  | 25 |
| Figura 2.12 Operaciones individuales .....  | 26 |
| Figura 2.13 Representación del operador identidad.....                                    | 27 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 2.14 Representación del operador inverso.....                              | 27 |
| Figura 2.15 Tetraedro de color RGB .....  | 27 |
| Figura 2.16 Imaq Treshold (Umbralización) .....                                   | 29 |
| Figura 2.17 Imagen binarizada.....  | 29 |
| Figura 2.18 Filtrado espacial de forma gráfica .....                              | 30 |
| Figura 2.19 Representación y sección ecuación 13. ....                            | 32 |
| Figura 2.20 Representación y sección ecuación 15. ....                            | 33 |
| Figura 2.21 Imaq Inverse (inversión de imagen) .....                              | 34 |
| Figura 2.22 Interpretación matemática de operadores para constantes. ....         | 35 |
| Figura 3.1 (a) Diagrama de bloques desarrollado para obtención de respuestas. 37  |    |
| Figura 3.1 (b) Diagrama de figuras del desarrollo de obtención de respuestas. ... | 37 |
| Figura 3.2 Muestra de tonalidades de huevos utilizados.....                       | 38 |
| Figura 3.3 Desarrollo del Procesamiento de Imagen .....                           | 39 |
| Figura 3.4 Panel frontal de asistente de visión.....                              | 40 |
| Figura 3.5 Toma 1: huevos totalmente blancos.....                                 | 41 |
| Figura 3.6 Toma con un huevo que contiene un embrión. ....                        | 41 |
| Figura 3.7 Instrumento virtual labview para toma de imágenes. ....                | 42 |
| Figura 3.8 Comando de extracción del plano de color RGB (rojo, verde o azul)...   | 42 |
| Figura 3.9 Comando de extracción de plano de color en asistente de visión.....    | 43 |
| Figura 3.10 Niveles del umbral.....   | 43 |
| Figura 3.11 Umbral generado.....  | 44 |
| Figura 3.12 Valores de morfología .....   | 45 |
| Figura 3.13 Morfología de grises aplicada al umbral.....                          | 45 |
| Figura 3.14 (a) Morfología .....  | 46 |
| Figura 3.14 (b) Morfología Aplicada .....   | 46 |
| Figura 3.15 (a) Operación de filtrado.....  | 46 |
| Figura 3.15 (b) Aplicación del filtro .....                                       | 46 |
| Figura 3.16 (a) Operación de filtrado.....  | 47 |
| Figura 3.16 (b) Aplicación de filtrado FFT .....                                  | 47 |
| Figura 3.17 (a) Ecualización.....   | 48 |
| Figura 3.17 (b) Imagen de salida ecualizada.....                                  | 48 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 3.18 (a) Gráfica con valores de 0 a 255 .....                          | 49 |
| Figura 3.18 (b) Detección de zona a11 .....                                   | 49 |
| Figura 3.18 (c) Datos obtenidos de la zona de interés .....                   | 49 |
| Figura 3.19 Ubicación de patrones.....  | 49 |
| Figura 3.20 Patrones operados .....   | 50 |
| Figura 3.21 (a) Frontera de la imagen .....                                   | 50 |
| Figura 3.21 (b) Ubicación a partir del centro .....                           | 50 |
| Figura 3.22 Instrumento virtual para detección de cámara .....                | 51 |
| Figura 3.23 Panel frontal de adquisición de imagen 1 .....                    | 52 |
| Figura 3.24 Aplicación de comandos .....                                      | 52 |
| Figura 3.25 (a) Imagen de salida general.....                                 | 53 |
| Figura 3.25 (b) Ubicación de zonas de interés .....                           | 54 |
| Figura 3.26 (a) Detección de zonas de interés. Panel general.....             | 55 |
| Figura 3.26 (b) Salidas .....   | 55 |
| Figura 3.27 Configuración de IP .....   | 56 |
| Figura 3.28 Descripción de la configuración de comunicación EtherNet/IP ..... | 57 |
| Figura 3.29 Ubicación de la IP de PAC .....                                   | 58 |
| Figura 3.30 Selección del equipo externo (PAC) CompactLogix1769 –L32E .....   | 59 |
| Figura 3.31 Agregado de módulos externos del PAC CompactLogix.....            | 59 |
| Figura 3.32 Confirmación de módulos en RSLINX por medio de RS Who.....        | 60 |
| Figura 3.33 Creación del Tópico por medio de RSWho .....                      | 61 |
| Figura 3.34 Selección del OPC para la comunicación .....                      | 61 |
| Figura 3.35 Ubicación de los estados de memoria.....                          | 62 |
| Figura 3.36 Tags generados en RSLOGIX5000.....                                | 63 |
| Figura 3.37 Diagrama Fase-Estado .....  | 64 |
| Figura 3.38 GRAFCET .....   | 65 |
| Figura 4.1 Muestra 1 Generando un umbral básico .....                         | 67 |
| Figura 4.2 Cámara ovoscópica y sus componentes.....                           | 68 |
| Figura 4.3 Selección del tipo de imagen .....                                 | 70 |
| Figura 4.4 Comparativo de las pruebas iniciales y las pruebas finales .....   | 71 |
| Figura 4.5 Interface Humano-Maquina (HMI) .....                               | 72 |

## INTRODUCCIÓN

Las nuevas tecnologías brindan la oportunidad de dar solución a los problemas de las distintas ramas industriales, implementando procesos de producción más seguros, eficientes y competitivos. Tal es el caso de la industria avícola que recurre a la automatización de algunos de sus procesos para obtener mejor calidad de sus productos.

De acuerdo a estadísticas realizadas por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), se estima que para el año 2030 la población mundial ascenderá a un promedio de 8,000 millones de personas. En este mismo periodo, la demanda de producción de carne para consumo humano se elevará un 26%, que principalmente será carne de pollo según la Organización de Agricultura y Comida (FAO Food and Agriculture Organization, por sus siglas en inglés).

México se caracteriza por ser uno de los principales países productores de carne de pollo, sin embargo la demanda del mercado nacional también crece constantemente. Por tal motivo, las empresas avícolas desarrollan procesos para el cuidado y tratamiento de aves, desde la incubación del huevo hasta la edad madura de estas [11].

La vacunación aumenta las posibilidades de obtener un ave salubre y de mejor calidad haciendo de este proceso uno de los más indispensables en cuanto a cuidado se refiere. Con esto, el desarrollo de máquinas de vacunación automatizadas hace posible llevar a cabo este proceso inclusive cuando el ave aún se encuentra dentro del huevo, referido en adelante como Vacunación In ovo.

En el presente trabajo de tesis se abordan temas relacionados a la vacunación de aves, se describe tanto el desarrollo de un programa de visión artificial creado con ayuda de la plataforma de diseño LabView® que efectúa el procesamiento de imágenes en tercera dimensión y adquisición de datos, la comunicación realizada para la interpretación de datos entre este software y un Controlador Automata Programable (PAC) L32E de la familia de controladores Rockwell.

Así mismo, se introduce la representación de la máquina de vacunación y se realiza un enlace con el programa de Festo Fluid Sim únicamente para simular el movimiento que los actuadores físicos deben hacer con las señales enviadas de las salidas de un Controlador Lógico Programable (PLC) para poder llevar a cabo la vacunación.

## **OBJETIVO**

Diseñar un programa de visión artificial económico por medio de la plataforma virtual Labview que defina la fertilidad de los huevos en incubación, comunicando las salidas generadas por la visión con las entradas digitales de un Controlador Automata Programable empleando protocolo de comunicación Ethernet adaptable al proceso de vacunación sustentable para pequeñas y medianas empresas sin discriminar su uso en empresas de alta producción.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La producción de carne de pollo en México ha aumentado a un ritmo de crecimiento anual del 4.3 por ciento durante los últimos 15 años puesto que es de mayor preferencia para la gente, ya que es más económica en comparación con otros alimentos de origen animal. En el ámbito internacional, México ocupa el quinto lugar como productor de huevo y pollo, estando de tras de países como Estados Unidos, China y Brasil [10].

México asciende rápidamente en el área avícola internacional, los productores mexicanos buscan obtener las tasas más bajas en el índice de mortalidad de aves. Lamentablemente hay varios factores como la higiene, el diseño de la incubadora y los errores humanos, que provocan que dichas tasas de mortalidad sean cuantiosamente altas al grado de considerarlas una pérdida de producción de pollo y por lo tanto una pérdida de dinero [11].

Uno de los principales problemas en el índice de mortalidad del pollo recién nacido se debe en gran causa a los virus de campo a los que se expone el pollo al momento de eclosionar, ya que prácticamente al nacer no ha generado anticuerpos que ayuden a combatir dichos virus, inclusive, aún cuando sean vacunados después de nacer, la vacuna tardará un periodo de entre 5 y 10 días en cumplir la función de generar los anticuerpos necesarios para combatir las enfermedades a las que están expuestos, lo cual, no garantiza que los pollos sobrevivan a este periodo. Las principales enfermedades que la industria avícola enfrenta son Gumboro y Marek [9].

Dentro del mercado han surgido nuevas tecnologías para el control de enfermedades aviares, lo cual ha permitido reducir en gran cantidad el índice de mortalidad en la producción avícola. Sin embargo dentro de estas tecnologías también existen diversos factores que limitan su uso.

Debido a su alto costo de fabricación y aplicación, únicamente han sido rentables en empresas de alta producción, esto afecta a las pequeñas empresas que se ven obligadas a aplicar estos procesos manualmente, como la vacunación subcutánea.

Aunque la tecnología In Ovo permite ciertas ventajas ante los métodos de vacunación tradicionales, no siempre suele ser preciso ni acertado, pues existen errores notables desde la percepción de la cámara utilizada para este proceso hasta la iluminación necesaria para llevar a cabo una buena resolución de los huevos a procesar. La toma de imágenes es vital para llevar a cabo una discriminación acertada de los huevos infértiles.

## JUSTIFICACIÓN

La vacunación in ovo juega un papel importante en la avicultura como una de las estrategias en el control de enfermedades, proporciona soluciones a algunos de los problemas más controvertidos de la industria. Dentro de un futuro cercano previsible, probablemente estarán disponibles las vacunas multivalentes In ovo, que protejan contra la mayoría de enfermedades más comunes, y nuevas vacunas recombinadas o vacunas de subunidades virales, con incremento de seguridad para el embrión. Este desarrollo estimularía otros segmentos de la industria avícola a unirse a la industria del pollo de engorde en el uso de la tecnología in ovo [7].

En la actualidad, la aplicación comercial de la tecnología In ovo está reducida a la administración de vacunas en pollitos de engorde. La vacunación in ovo es relativamente un sistema nuevo inventado en la década de los 90's para la aplicación de vacunas aviares, en el cual los embriones, en su último estado de incubación son inyectados con ciertas vacunas de virus vivo. Los virus vacunales no afectan la incubabilidad y los pollitos incubados y vacunados en el huevo demuestran evidencia de una inmunidad al nacer. Este método permite una superior uniformidad de entrega, menos estrés al ave y es más conveniente para el operario, comparado con los métodos tradicionales de aplicación [12].

Los permanentes y extensos usos comerciales de la tecnología in ovo han establecido que es segura y efectiva. La preocupación del desperdicio de vacuna por la vacunación in ovo al vacunar todos los huevos embrionados han limitado la utilización total de esta tecnología en reproductoras, ponedoras y pavos. Las empresas dedicadas a la innovación avícola están desarrollando máquinas de inyección automática que pueden realizar la aplicación de vacunas antisépticas, con lo cual se permitiría que todos los segmentos de la industria avícola puedan obtener bajos índices de mortalidad con la aplicación tecnología in ovo en su producción. Si esta tecnología fuera desarrollada en México, se podrían obtener estos mismos beneficios a un costo considerablemente bajo y se eliminarían los costos de importación. La eficacia de la tecnología in ovo mejorará en la medida en que se desarrollen sistemas automatizados para identificar y eliminar los huevos infértiles y no viables antes de la inyección vacunal [8].

## **HIPÓTESIS**

El diseño y la implementación de un sistema de visión artificial adaptado a las máquinas de vacunación con tecnología in ovo permitirá seleccionar a los huevos considerados como fértiles dentro del proceso ovoscópico de manera automatizada, con la finalidad de aplicar a estos vacunas, para prevenir enfermedades futuras, es decir cuando eclosione (abandone el huevo), reduciendo los gastos de vacuna y la mortalidad de aves de producción, previniendo además, la pérdida de espacio en las máquinas nacedoras.



# CAPÍTULO I

---

## MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se aborda una breve explicación de los conceptos relacionados con la ovoscopia y la vacunación In ovo; los sistemas actuales y sus software, los tipos de sistemas y el impacto que ha tenido la industria avícola.

## 1.1 Tecnología In Ovo

Se entiende por vacunación In ovo al proceso donde se administra una vacuna o vitamina en el interior de un huevo para un mejor crecimiento del ave en una etapa tardía del desarrollo embrionario en donde esta vacuna será capaz de generar una respuesta inmune.

El periodo en el cual se realiza la inyección se considera entre los 18 y los 19 días con 4 horas de incubación, la vacuna se lleva a cabo en la parte inferior de huevo. En este periodo la vacuna es capaz de generar estas defensas, lo que permite lograr niveles excelentes de protección a una edad temprana de las aves vacunadas [8].

Para el área avícola, la tecnología actual proporciona la ventaja de llevar a cabo una vacunación masiva y controlada por vía In ovo de varias vacunas (figura 1.1). Ofrece la ventaja de realizar una excelente precisión de la administración de la vacuna, disminuyendo el riesgo de los errores humanos que se pueden presentar cuando intervienen un mayor número de personas en la vacunación al día de edad de los pollos [7].

Con el fin de lograr una mejor producción y calidad del ave recién nacida, los productores avícolas han apostado a favor de procesos automatizados como lo es la vacunación In ovo, empleada para vacunación en incubadoras, este método que ha sido bien aceptado en esta industria brinda la oportunidad de obtener eficiencia y productividad de las parvadas de aves recién nacidas.

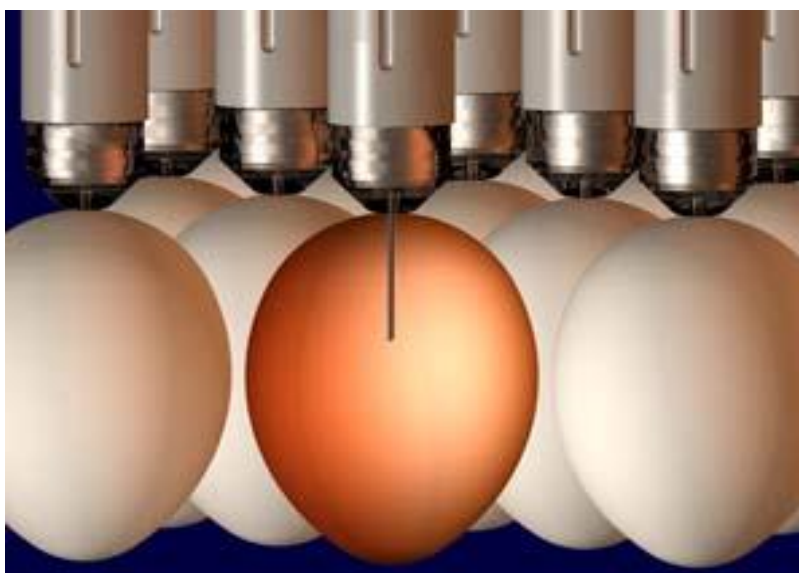


Figura 1.1 Simulación de aplicación múltiple de vacunación In ovo.

### 1.1.1 Antecedentes

Hasta hace poco menos de 3 décadas, la única manera de prevenir enfermedades en las aves recién nacidas era la administración de la vacunación subcutánea al día de edad [7].

Con el tiempo la necesidad de disminuir la mortalidad en los pollos recién nacidos y la pérdida de ganancias, llevó a desarrollar métodos más viables y seguros para combatir el problema, con lo cual surgió la idea de vacunar antes del nacimiento, lo que implicaba perforar el huevo sin fracturarlo y depositar la vacuna dentro, evitando el contacto directo entre el embrión y los virus del medio ambiente, tiempo después este proceso fue conocido como “tecnología In ovo” (figura 1.2) [8].



Figura 1.2 Aplicación de la inyección In Ovo para un lote de huevos (Vista lateral)

A finales del año 1992 en los Estados Unidos fue lanzado el primer sistema de vacunación In ovo creado por la Empresas Embrex®, quien más tarde sería absorbida por Pfizer® Animal Health Global Poultry® [12].

Después de este último año y durante 2 décadas, la vacunación in ovo se convirtió en la práctica estándar en la industria del pollo de engorda, con ello se favoreció el aumento de tamaño y eficacia de algunas plantas de incubación. Es utilizada en al menos otros 30 países de los cuales se distinguen Argentina, Brasil, México, Perú, Colombia y Venezuela, observando que en algunos de ellos su uso fue incrementando gracias a los resultados positivos y beneficios obtenidos [11].

Los sistemas actuales de vacunación artificial aplicados a la vacunación In ovo han sido innovados por empresas transnacionales en sus países de origen y exportados a diversas partes del mundo; sin embargo, México no ha desarrollado tecnologías similares.

## 1.2 Vacunación de aves y sus métodos de aplicación [9]

La vacunación se define como el proceso por el cual se exponen individuos a un antígeno de un agente causante de una enfermedad para inmunizarlo contra el mismo. El propósito de la aplicación de las vacunas es beneficiar a los cuerpos expuestos a estas ocasionándoles inmunidad activa, ayudando a eliminar la enfermedad existente en el cuerpo e inclusive contrarrestándolo si se presenta nuevamente.

Existen diferentes tipos de vacunas para la prevención de las diversas enfermedades en la avicultura, diferenciadas por el estado en el que se encuentra el virus de las vacunas, se han dividido en dos grupos.

- Vacunas vivas: Este tipo de vacunas se caracterizan por incluir en ellas virus o bacterias silvestres vivas que son sometidas a procesos químicos para producir inmunidad y retener su capacidad de replicarse evitando causar la enfermedad.
- Vacunas Inactivadas: Las vacunas inactivadas contienen virus o bacterias formadas en medios de cultivos adecuados (controladas) que posteriormente son inactivadas con calor o por medio de sustancias químicas. Como no están vivas no pueden reproducir la enfermedad o replicarse, asegurando que el virus no se propague o afecte al cuerpo al cual se está suministrando.

El control de las enfermedades en la industria avícola es sumamente importante para asegurar la calidad y eficiencia de su producto, por lo anterior los productores administran las vacunas necesarias para contrarrestar las enfermedades más comunes en pollos de un día de nacimiento.

Para la aplicación de estas vacunas existen diversos métodos que se mencionan a continuación.

- Vacunación por inyección

La vacunación por inyección se suministra con jeringas, penetrando al broiller (pollos recién nacidos) intramuscular o subcutáneamente, generalmente administrando 0.2 a 0.5 mL de vacuna por su tamaño, dependiendo también del tipo de vacuna. Se toman en cuenta dos diferentes tipos de vacunación por inyección.

- Inyección Subcutánea

Se entiende por inyección subcutánea al método en el cual la aguja de la jeringa únicamente penetra la capa de la piel del pollo sin llegar a involucrarse con el musculo u otros organismos internos (figura 1.3). Este tipo de inyecciones se aplican generalmente en dos lugares, en la parte superior del cuello o en el pliegue existente entre el abdomen y el muslo.



Figura 1.3 Vacunación Subcutánea

- Inyección Intramuscular

La vacunación intramuscular es nombrada así ya que la inyección que se lleva acabo penetra el músculo del ave (figura 1.4), depositando la vacuna dentro del mismo. Es recomendable que ésta inyección sea suministrada en el musculo pectoral también llamado pechuga.



Figura 1.4 Vacunación Intramuscular

- Vacunación por aspersión.

Si se requiere hacer una vacunación de grandes lotes la mejor opción es realizar un proceso de aspersión, con este método se consigue una fuerte y efectiva inmunidad a nivel de mucosas (ojos, orificios nasales, pico y aparato respiratorio). Existen tres técnicas de aspersión utilizadas en la industria.

- Gabinete de aspersión.

Son cabinas de aspersión diseñadas para este fin, con jeringas dosificadoras ubicadas en la parte superior que pueden ser sustituidas por otras nuevas para evitar problemas de contaminación (figura 1.5). Las boquillas se activan cuando las cajas con pollos llegan al fondo y activan un sensor. Las jeringas conducen a aspersores que esparcen la vacuna una vez que las cajas son introducidas dentro de la máquina.



Figura 1.5 Gabinete de aspersión

- Aspersión mediante aparato portátil.

La aspersión con aparato portátil se utiliza cuando se requiere vacunar lotes grandes y se aplica por lo general en pollos que han alcanzado la madurez y debido a su tamaño no se puede utilizar un gabinete de aspersión (figura 1.6). Este aparato rocía a los pollos en sus propias galeras y requiere de mayor potencia para un mayor alcance.

El aspersor cuenta con un disco atomizador giratorio que controla el tamaño de la partícula de aspersor, se regula dependiendo la vacuna aplicada y la edad de los pollos.





Figura 1.6 Vacunación por medio de aspersores

- Aspersión en spray mediante equipo de espalda.

Es un equipo tipo mochila que cuenta con un contenedor en donde se deposita la vacuna, similar a un karcher (roseador portable) con la única diferencia de que éste aparato tiene la ventaja de regular la aspersión por spray dependiendo el tipo de vacuna y de gota que se requiera (figura 1.7). Es eficiente y ahorra tiempo, una sola persona puede vacunar un lote de aves en poco tiempo. Es más común utilizar esta técnica cuando el pollo ha alcanzado una edad madura ya que se vacuna en galeras y su aspersión puede ser controlada con mayor facilidad, dando una aspersión uniforme para todo el lote.



Figura 1.7 Equipo de aspersión portátil

- Vacunación en el agua de bebida.

Es uno de los métodos más utilizados pues con esta técnica el pollo no se somete a ambientes de estrés y tampoco es manejado directamente por un operador. El agua es combinada con la vacuna que se desea aplicar al lote a tratar, después se

envía por medio de sistemas de bebederos hacia las galeras donde se encuentran los lotes de pollo. Una hora antes del tratamiento se debe restringir de agua a las aves para asegurar que todas beban agua (figura 1.8). A pesar de que éste método aparenta ser fácil existen diferentes inconvenientes al momento de aplicarlo, un ejemplo de ello es el control de dosificación por ave, ya que un pollo puede tomar mayor cantidad de agua que otro, por otra parte se debe de tomar en cuenta la calidad del agua pues de ello depende la efectividad de la vacuna.



Figura 1.8 Vacuna en el agua de bebida

- Vacunación óculo-nasal.

Con esta vacunación se genera una inmunidad más rápida y uniforme, es precisa al administrar la cantidad necesaria, sin embargo requiere de un mayor tiempo y es más laboriosa. Se puede aplicar directamente a los ojos (ocular) o se introduce por medio de las vías respiratorias (nasal) como se muestra en la figura 1.9.



Figura 1.9 Aplicación de la vacunación Óculo-Nasal



- Vacunación Oral.

Este tipo de tratamiento no es muy común, pues requiere tiempo y es muy laborioso además de que el pollo es sometido a estrés, sin embargo es preciso y efectivo. Cuidadosamente se abre el pico del ave para no lastimar las cavidades, posteriormente se deposita la cantidad necesaria de vacuna dentro del pico y se espera un momento hasta que el ave termine de pasarlo (figura 1.10).



Figura 1.10 Vacunación Oral

### **1.3 Ventajas de la vacunación In ovo frente a métodos de vacunación tradicionales**

Los beneficios de la vacunación In ovo están ampliamente reconocidos entre los avicultores. Tiene muchas ventajas biológicas y comerciales en comparación con los diferentes tipos de vacunación existentes [6]. Algunas ventajas se mencionan a continuación:

- Se genera rápidamente la inmunidad contra las enfermedades.
- La vacuna se proporciona de forma confiable y precisa bajo condiciones cuidadosamente controladas e higiénicas.
- El proceso requiere de menos mano de obra y está sujeto a menos errores humanos.
- Se minimiza el manejo del pollito, lo que reduce el estrés y mejora la salud del ave.

- Existe una amplia gama de vacunas contra las enfermedades avícolas comunes para administración in ovo en el mundo, aunque la disponibilidad varía de acuerdo al país.

La vacunación In ovo ofrece la oportunidad de vacunar cuando los niveles de anticuerpos maternos son comparativamente bajos, permitiendo que vacunas vivas modificadas estimulen inmunidad antes de que los anticuerpos circulantes se eleven considerablemente. La vacunación In ovo tiene la ventaja de constituir una alternativa rápida y efectiva para la vacunación colectiva de aves.

### **1.4 Especificaciones de aplicación para la vacunación In ovo**

La técnica y el procedimiento usados en la administración de las vacunas In ovo son fundamentales ya que la aplicación debe ser realizada dentro del huevo y con los más altos niveles higiénicos. Para óptimos desempeños, la inoculación de la vacuna debe ser realizada entre los 18 y 19 días de incubación ya sea vía amniótica o intraembrionica.

Uno de los requerimientos básicos de la vacunación In ovo es la habilidad de administrar consistentemente la misma cantidad de vacuna, en el lugar correcto del embrión, cada vez que se realiza una inoculación. La vacuna debe ser inyectada o bien en el líquido amniótico o bien subcutáneamente en el cuerpo del embrión para generar la mejor respuesta inmune. Cuando se administra en el líquido amniótico entre los días 18 / 19 de edad del embrión, la vacuna es rápidamente distribuida en la parte superior del aparato respiratorio, en el intestino y en la bolsa de Fabricio, que son sitios clave para el desarrollo de inmunidad frente a las enfermedades [6].

### **1.5 Ovoscopia**

Se entiende por ovoscopia a la técnica en la que se mantiene una luz brillante por encima o por debajo de un huevo en un ambiente oscuro para observar la existencia o ausencia de embrión además de observar su desarrollo dentro del huevo (figura 1.11). No se requiere de lámparas especiales para este proceso, únicamente se debe de cumplir con la condición de hacer pasar la luz por una abertura colocando al huevo en contra de esta misma [1].

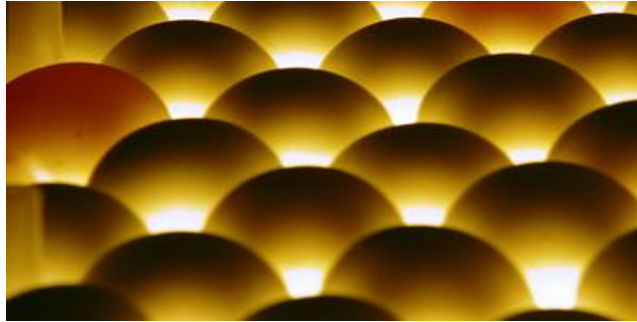


Figura 1.11 Lote de huevos en maquina ovoscópica

Hay aparatos que facilitan este proceso llamados ovoscopios, generalmente en forma de caja que ayudan a reconocer la fertilidad de los huevos destinados a la producción (figura 1.12b). Está constituido por un bulbo eléctrico fuerte encerrado en un recipiente de plástico o de aluminio con una abertura. Se coloca el huevo en contra de esta abertura y se enciende la bombilla.

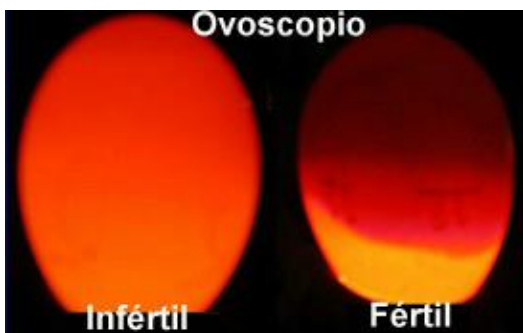


Figura 1.12 (a) Prueba de fertilidad con ayuda de un ovoscopio, el huevo infértil no contiene embrión mientras que el fértil si



Figura 1.12 (b) Ovoscopio

### 1.5.1 Problemática de la Ovoscopía

La Ovoscopía es un proceso que determina la existencia o ausencia del embrión dentro del huevo. Se debe efectuar este procedimiento los últimos días antes de la eclosión pues si se efectúa en los primeros días de desarrollo, la probabilidad de error es alta ya que el embrión no ha alcanzado la etapa de madurez.

En muchas plantas de incubación se realiza el proceso de ovoscopía con mesas diseñadas para charolas de nacedoras similares a la mostrada en la figura 1.13. Se sigue el mismo procedimiento que con un ovoscopio normal, se ilumina por

debajo la mesa y se deposita la charola por arriba de está permitiendo que la luz refleje a los huevos que carecen de embrión. Este proceso es más efectivo pues se pueden analizar más huevos, reduciendo tiempo y esfuerzos.

El problema de estas mesas ovoscópicas incide en que si el número de huevos claros es alto y la luz escapa a través de los lugares vacíos de la bandeja de incubación, resultará más difícil identificar los oscuros de manera concluyente.



Figura 1.13 Mesa Ovoscópica

## **1.6 Softwares utilizados para las máquinas de vacunación in ovo**

Las máquinas de vacunación In ovo actuales cuentan con un software capaz de detectar la ausencia o presencia de embrión dentro del huevo por medio de visión artificial en la etapa de ovoscopia, con lo cual envían una señal al actuador para determinar si el huevo en cuestión será inyectado o eliminado, estos softwares diseñados por los fabricantes contienen diferencias entre ellos, una de las principales diferencias es el programa con el que se han desarrollado, a continuación nombraremos dos de los principales software de diseño utilizados para la vacunación In ovo en el proceso de ovoscopia.

### **1.6.1 Software de detección ovoscópica en MatLab [14]**

La parte de ovoscopia digital se lleva a cabo utilizando el ambiente MatLab que cuenta con funciones que facilitan el procesamiento de matrices numéricas. Al principio se realiza la sobre posición de la imagen con una máscara que eliminará partes irrelevantes de la imagen a través de operaciones lógicas entre ella y la máscara. El programa recorre la imagen utilizando la máscara para localizar los huevos. Una vez hecha la localización se acciona otro módulo para realizar la clasificación almacenando la condición del huevo y su posición.

El método que hace la clasificación del huevo se basa en la utilización de un umbral aplicado a los niveles de rojo, verde y azul (Red, Green, Blue, RGB). En la figura siguiente se muestra la obtención de lo mencionado anteriormente.

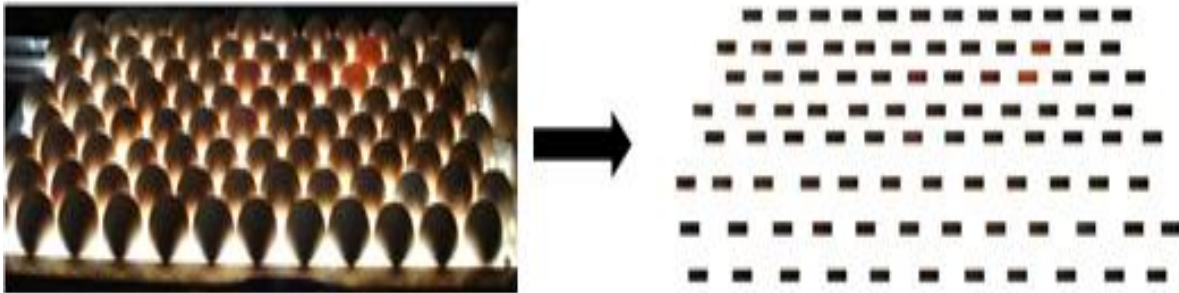


Figura 1.14 Adquisición y conversión de imagen de un lote de huevos con MatLab

El método que evalúa las condiciones de los huevos después de la clasificación, envían la información de las posiciones donde se encuentran huevos no fecundados para la máquina que retira solamente los huevos buenos de la bandeja dejando para ser descartados los huevos no fecundados.

La máquina vacunadora también recibe la información de cuáles huevos deberán ser descartados y, así, no los inyectará, evitando el desperdicio de vacuna.

La implementación del sistema presupone el uso de algunos equipos: 3 computadoras (o una CPU y tres terminales satelitales para reducir los costos), una máquina vacunadora, equipo de adquisición de imágenes en ambiente controlado y una máquina para retirar el huevo a base de ventosas.

Tanto la máquina vacunadora como la de retirada del huevo deben dar soporte a la programación a través del programa de cómputo.

### 1.6.2 Software de detección ovoscópica en OPENCV [13]

El departamento de ciencias de la Energía y Mecánica planteó un sistema basado en OPENCV que es una librería abierta desarrollada por Intel® que facilita el procesamiento digital de imágenes,. El PDI (Procesamiento Digital de Imagen) es la interpretación de imágenes digitales adquiridas y procesadas por ordenador, al considerar una imagen como el reflejo de la luz y sabiendo que la luz es una onda expresada en función de frecuencia se justifican todos los estudios mencionados y requeridos para llevar a cabo un procesamiento de imagen.

La imagen digital se considera un mapa de bits, cada bit contiene información que detalla el color y tonalidad que permite en una superposición de los colores rojo (RED), verde (GREEN) y azul (BLUE) que conforman las denominadas imágenes

RGB, que son llevadas a herramientas informáticas como OPENCV, entre otras (figura 1.15).

El sistema a través de la segmentación de imágenes reconoce el color, ya que identificando su color se puede definir si es fértil o no.

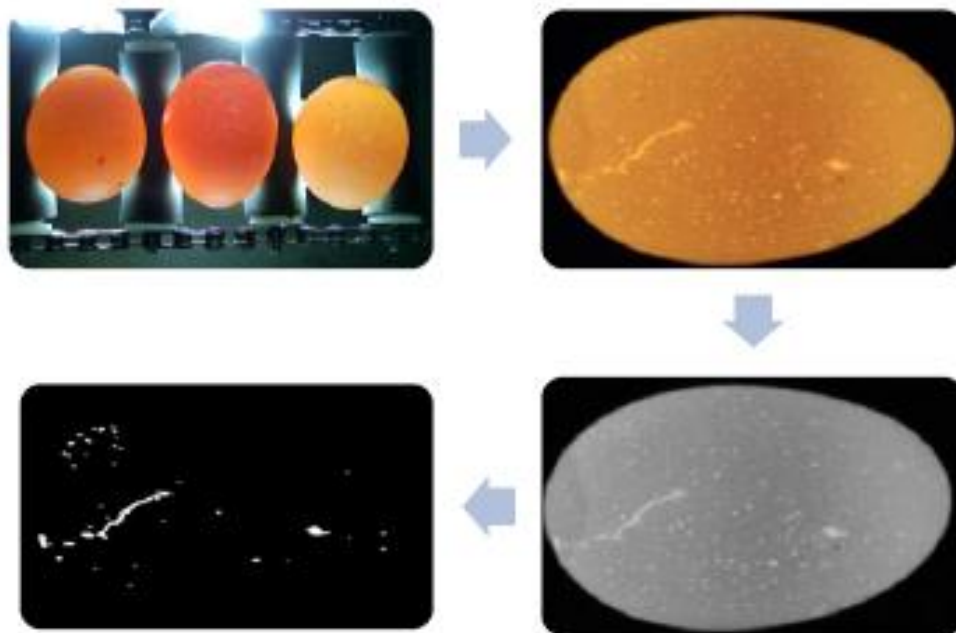


Figura 1.15 Adquisición y conversión de imagen de un lote de huevos con OPENCV

La implementación de estos software de vision artificial permiten automatizar el proceso de las máquinas de vacunación in ovo ya que además de definir la fertilidad, son capaces de comunicarse con otros sistemas y enviar datos que otros programas pueden interpretar, sin embargo el primer ejemplo de vision artificial considera dos máquinas para un proceso completo de vacunación in ovo, las cuales son ovoscopia e inyección por separado, mientras que el segundo ejemplo únicamente contempla el chequeo de la fertilidad del huevo sin hacer mención de un programa de vacunación in ovo o bien, de una máquina de transferencia, que para fines de este trabajo se enfocaran en el segundo caso.

### 1.7 Concepto de Automatización

Se entiende por automatización a la capacidad de desarrollar procesos físicos en los que se involucran dispositivos tales como actuadores, sensores y procesadores para cumplir funciones específicas de forma automática, es decir,



que puedan desarrollar las tareas necesarias requeridas en los procesos sin la necesidad de que existan operarios humanos para su funcionamiento.

Este tipo de procesos son monitoreados por sistemas de control capaces de enviar y recibir datos de manera inmediata, sus funciones principales son la observación del proceso y las variables a automatizar, el acondicionamiento y procesamiento de las variables y parámetros observados así como su comparación con lo requerido, de esta manera se corrigen los elementos terminales para llegar a lo deseado. Pueden ser muy sencillos o tan complejos como el proceso lo requiera, este grado de complejidad depende tanto de su instrumentación como del alcance que se requiera para la automatización final del proceso.

### **1.8 Procesos Automatizados en la Industria**

La automatización surge con el propósito de utilizar la capacidad de las máquinas para realizar tareas específicas que anteriormente eran llevadas a cabo por seres humanos. Se usa tecnología que en conjunto sea capaz de procesar, controlar y manipular variables a través de dispositivos que toman decisiones e interactúan entre sí, generando productividad, rapidez, precisión, confiabilidad, estabilidad y calidad en los resultados del proceso.

Muchas industrias están muy automatizadas, o bien utilizan tecnología de automatización en alguna etapa de sus actividades. No todas las industrias requieren el mismo grado de automatización. Cada una de estas industrias utiliza máquinas automatizadas en la totalidad o en parte de sus procesos de producción. Como resultado, cada sector tiene un concepto de automatización adaptado a sus necesidades específicas.

La industria avícola ha sido una de las principales industrias en donde la automatización ha marcado una notable diferencia antes y después de su uso en ella. La automatización abre un camino de posibilidades para la generación de mayores rendimientos en la producción avícola moderna ofreciendo al productor mayores herramientas para alcanzar sus objetivos. Los avances tecnológicos y de investigación aplicados en la industria avícola, le han aportado a ésta importantes beneficios como el crecimiento sostenido reportado durante los últimos años.

# CAPÍTULO II

---

## Procedimiento, ovoscopia e inyección

En este capítulo se describe el procedimiento de la vacunación *in ovo*, la inclusión del método de ovoscopia; además el apartado del sistema de vision and motion con las características del *vision assistant* y *vision acquisition*.



## 2.1 Proceso de vacunación

El proceso de vacunación In ovo (figura 2.1) consta de un sistema semiautomatizado donde los operadores; aproximadamente de 2 a 3, están en contacto continuo con la máquina, introduciendo huevos, haciendo la separación y maniobrando una pantalla para eliminar huevos que no sirven.

La máquina automatizada de inyección In ovo consta de varias etapas incluyendo la inyección de vacuna. Los huevos tratados mediante el procedimiento de inyección se incuban preferiblemente para eclosionar después de administrarse las sustancias de tratamiento.

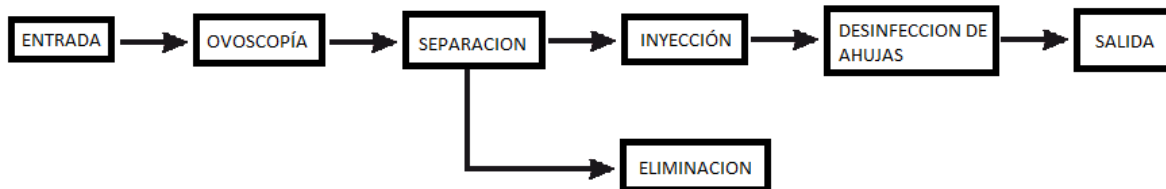


Figura 2.1 Diagrama de proceso de inyección semiautomatizado.

El sistema automatizado propuesto en este trabajo da preferencia a empresas pequeñas y medianas, sin excluir a las grandes empresas que buscan impactar en el ámbito avícola, además de disminuir la mortalidad de sus aves.

Este proceso se diseñó para la vacunación In Ovo de huevos de gallina o pollos, se logra mediante la introducción de agujas especiales diseñadas para no quebrar o fisurar al huevo, las etapas del proceso se especifican a continuación:

*Entrada:* Se debe tener en cuenta que los huevos se insertan dentro de la máquina con ayuda de charolas especiales para este proceso, considerando que la correcta posición de la charola dentro de la máquina es esencial para obtener una vacunación exitosa.

*Ovoscofia:* El diseño del software propuesto facilita el reconocimiento de los huevos fértiles e infértiles, detectando a los que son aptos para la vacunación.

*Separación:* Una vez identificados los huevos que pasaran al siguiente proceso (huevos fértiles) se hará la separación de los huevos que no se inyectarán pues son huevos que se desechan.

*Inyección:* Los huevos seleccionados como fértiles pasarán al proceso de inyección en donde una de las agujas perforará el cascarón mientras que la

segunda aguja hará la función de perforar la membrana externa y depositará la vacuna ya sea en el embrión o en el líquido amniótico.

*Eliminación:* Los huevos considerados como infértiles se desechan ya que al no obtener embrión se vuelven obsoletos tanto para la avicultura como para el consumo humano, considerándose como huevos de segunda.

*Desinfección de agujas:* Es importante mantener higiene en las agujas ya que un huevo contaminado puede esparcir el virus a los demás, es por esto que al término de cada inyección se deja escapar desinfectante desde el tubo hasta las boquillas de las agujas, con lo cual se obtienen pocas probabilidades de contaminación

*Salida:* Por último se retira la charola con los huevos que fueron vacunados.

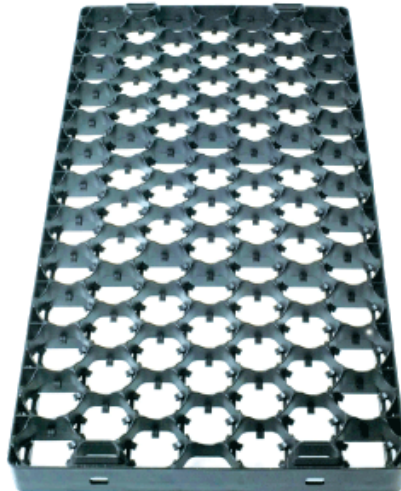


Figura 2.2 Charola de incubación tipo ht 88

Una charola especial para incubación (figura 2.2) es transportada por una banda que dirige el lote de huevos a la cámara de ovoscopia, deteniendo el proceso justamente por debajo del análisis monitoreado para visualizar la fertilidad.

## **2.2 Ovoscopia, análisis de imágenes en 3 dimensiones**

El método de procesamiento de imágenes es útil para obtener información de cualquier imagen en tres dimensiones (3D), en la ovoscopia éste proceso consta de un análisis de muestreo en una cámara oscura en la que se separan los huevos de manera visual como se observa en la figura 2.3.

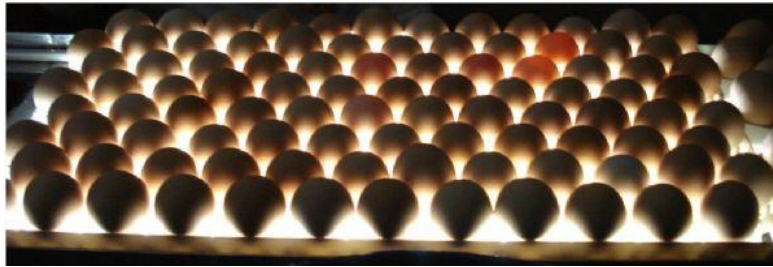


Figura 2.3 Método utilizado para la ovoscopia

La cámara oscura (Figura 2.4) está diseñada para observar un lote de huevos a partir de la charola de entrada, esta cámara cuenta con un sistema de PARO donde a partir de aquí el operador tendrá total maniobra del avance y selección; que a su vez pasará a la máquina de transferencia para separar a los huevos.



Figura 2.4 Cámara oscura para la selección de huevos embrex vmd erh

El HMI (figura2.5) muestra cómo una cámara ubicada en la parte superior de la cámara oscura hace una toma para ubicar manualmente los huevos oscuros y claros, el operador selecciona las ubicaciones en donde, con base a la observación, determina si hay huevos con embrión o vacíos.



Figura 2.5 Pantalla táctil para el separado de los huevos embrex vmd erh, screen

### 2.3 Proceso de inyección

Después de haber pasado por una selección de huevos fértiles e infértiles, se considera un lote de huevos para ser inyectados aunque no con la seguridad de que haya un 100% de nacimiento. A partir de ésta selección los huevos que consideré el personal como infértiles son desechados.

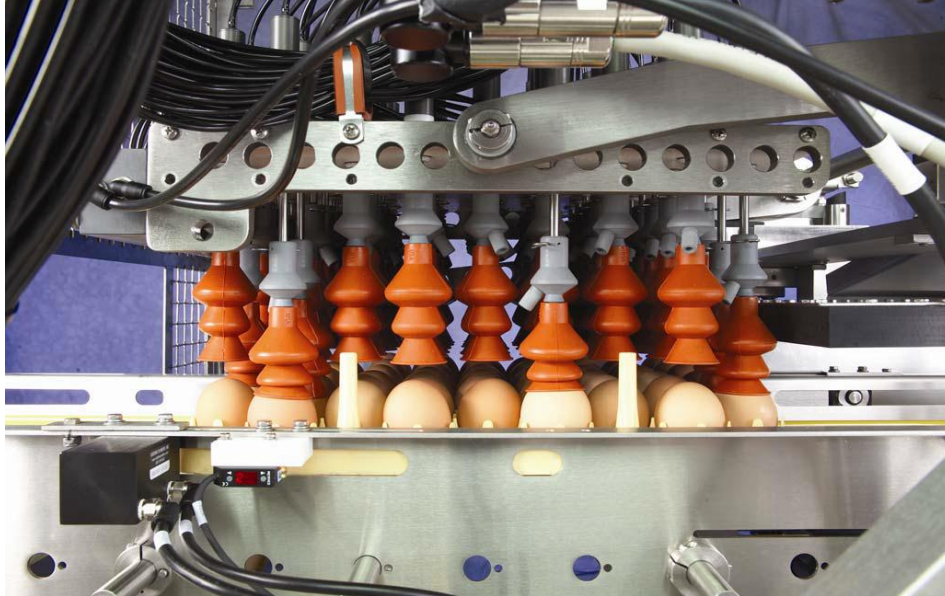


Figura 2.6 Ventosas de la maquina desarrollada por Poultry Health Division Pfizer

El lote seleccionado entra para ser inyectado; esto se hace con ventosas como las mostradas en la figura 2.6 quienes mantienen fijos a los huevos, hay ocasiones que se inyectan de 2 a 3 vacunas virales por preferencias en planta. Existe actualmente una patente en donde se especifica la derivación de dos vacunas en un lote aproximado de 30 huevos, muestra la especificación de la proporción de espacios y las vías de inyección, además de la posición de en donde se aplica la vacuna dentro del huevo, la reivindicación aclara en específico como actúa este aparato, únicamente aplicando la inyección, está identificada con el número y nombre siguientes; ES2 222 681 T3 *Aparato de inyección automatizada in ovo*. Una pluralidad de dispositivos de suministro por inyección que incluye canales primero y segundo adaptados para ser recibidos dentro de un huevo; un primer depósito de sustancia de tratamiento, dicho primer depósito de sustancia de tratamiento, un segundo depósito de sustancia de tratamiento para contener una segunda sustancia ambos en comunicación fluida con cada uno de dichos canales y al menos una bomba asociada de manera operable con dichos depósitos mostrados en la figura 2.7, incluida dentro de la patente antes mencionada[4].

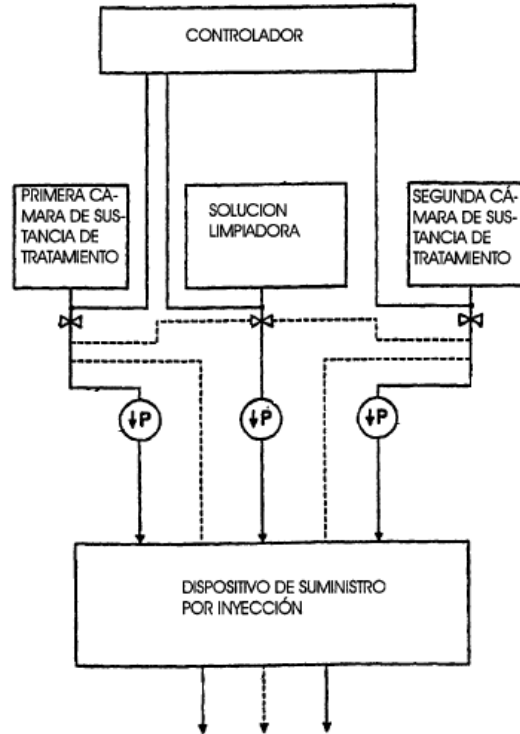


Figura 2.7 Diagrama esquemático del suministro de ambas vacunas [4].

El proceso para aplicar la vacuna debe ser casi exacto con una pequeña diferencia ventajosa, para no desquebrantar el huevo, se ocupan ventosas de tipo polietileno que lo mantiene en una posición firme y acolchonada, en cada aplicación de vacunas aviares sea cual sea el número; existe un flujo de solución desinfectante. Que fluye entre la aguja perforadora y la aguja que aplica la vacuna. Esto presenta un límite a la hora de inyectar; como se mencionó anteriormente se necesita mantener al huevo en una posición firme, el huevo estará a disposición de ser inyectado a la edad de 18 días. Consta de una aguja doble donde una jeringa exterior perfora a 3.0 mm dentro del cascarón para que una vez perforado, salga una aguja interna que perfora la cámara de aire a una distancia de 7.0 mm a 8.0 mm la cual suministrará la vacuna preestablecida [4].

### 2.3.1 Jeringas

El método de inyección como se mencionó anteriormente se hace por medio de dos jeringas (figura 2.8a) una que perfora parcialmente y una segunda jeringa hipodérmica que perfora la cámara de aire hasta llegar al líquido amniótico donde desaloja la vacuna (figura 2.8b). La inyección se realiza habitualmente a los 18 días de incubación, en el momento de transferencia a las nacedoras [4].

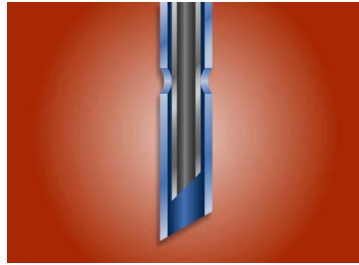


Figura 2.8 (a) Jeringa hipodérmica doble

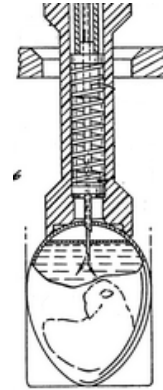


Figura 2.8 (b) Vista lateral de inyector con el suministro de dos vacunas

## 2.4 Máquina de transferencia

Los huevos son transferidos de la máquina de incubación a las maquinas nacedoras (en charolas o cestas de nacimiento) entre los 18 y 19 días de incubación. El empleo de máquinas nacedoras distintas a las incubadoras facilita cargar una máquina completa, permitiendo que nazcan todos los pollos a la vez y llevar un programa "todo dentro-todo fuera", con una limpieza y desinfección profunda después de cada nacimiento y antes de la nueva carga. Transferir los huevos demasiado pronto o demasiado tarde da lugar a embriones en condiciones sub-óptimas, provocando una menor tasa de eclosión.

La operación de transferencia debe hacerse suave y rápidamente, para evitar roturas y evitar que los huevos se enfríen y retrasen su nacimiento. Actualmente, existen máquinas automáticas o semiautomáticas (figura 2.9) capaces de realizar esta transferencia desde los alveolos o bandejas de incubación a las cestas de las nacedoras [8].



Figura 2.9 Máquina de transferencia



## 2.5 Criterios de Diseño; Labview®

En adelante, se describen los conceptos y criterios teóricos en los que se basa el tratamiento digital de imágenes para el diseño del software.

El Módulo “Desarrollo de Visión” está diseñado para implementar aplicaciones de visión artificial y procesamiento de imágenes usando el entorno gráfico de Labview® para Windows® y algoritmos de procesamiento de imágenes incluyendo filtros, morfologías, igualación de patrones, imágenes en 3D, clasificación, etc. El módulo incluye un protocolo interno (IP) para procesadores y un FPGAs *Fiel Programmable Gate Array* (semiconductor de bloques lógicos programables).

Junto con la extensa biblioteca de funciones de visión artificial y procesamiento de imágenes, este módulo incluye el asistente de visión (Vision Assistant), un entorno interactivo para generación de prototipos de aplicaciones de inspección que pueden generar código listo para ejecutar en cualquiera de los lenguajes soportados. El módulo de desarrollo permite un prototipo de una estrategia de aplicación de forma rápida sin tener que hacer ningún tipo de programación, creando puntos de despliegue y aplicaciones [3].

### 2.5.1 National Instruments, adquisición de Visión (NI vision acquisition) ®

Es un software – controlador útil para: adquirir, visualizar, registrar y monintorear imágenes desde varios tipos de cámara. El sistema inicia su proceso con la adquisición de las imágenes en tiempo real usando una cámara con entrada USB para poder recibir las imágenes en una computadora, proporciona una facilidad para realizar una rápida interfaz con un módulo de NI-IMAQdxen el cual activa el dispositivo para recibir las imágenes en el programa.

Los datos en tiempo real no necesariamente significan que la información está disponible en el momento en el que se recopila o en el momento en el que se envía, si no que todo dato y/o información que se actualiza en forma regular cambia con frecuencia, por ejemplo, las imágenes satelitales nuevas se actualizan cada hora, se le conoce como “*datos en tiempo real*”.

### 2.5.2 National Instruments, asistente de Visión (NI vision assistant) ®

Esta es la interfaz del software que crea elementos a partir de una entrada (cámara) cuenta con el procesamiento de imágenes y aplicaciones de vision artificial a partir de la referencia de una imagen, esto quiere decir que; en tiempo real, la imagen puede tener una alteración a su salida, aplicado, filtros, binarizados, transferencias, análisis de búsqueda entre otros comandos. La salida

se puede adaptar a un procesamiento continuo en la toma de captura de fotos y en este generar una salida interpretada en lo que sea necesario.

## 2.6 Visión por computadora

Desde una perspectiva general, la *visión* artificial por computadora es la capacidad de la máquina para procesar el entorno del sistema decaado, más precisamente para reducir la estructura y las propiedades del mundo tridimensional a partir de una o más imágenes bidimensionales. El proceso general se puede sintetizar en la figura 2.10 en la que los recuadros representan datos mientras que los círculos representan procesos. Se parte de la escena tridimensional y se termina en la aplicación de interés [2].

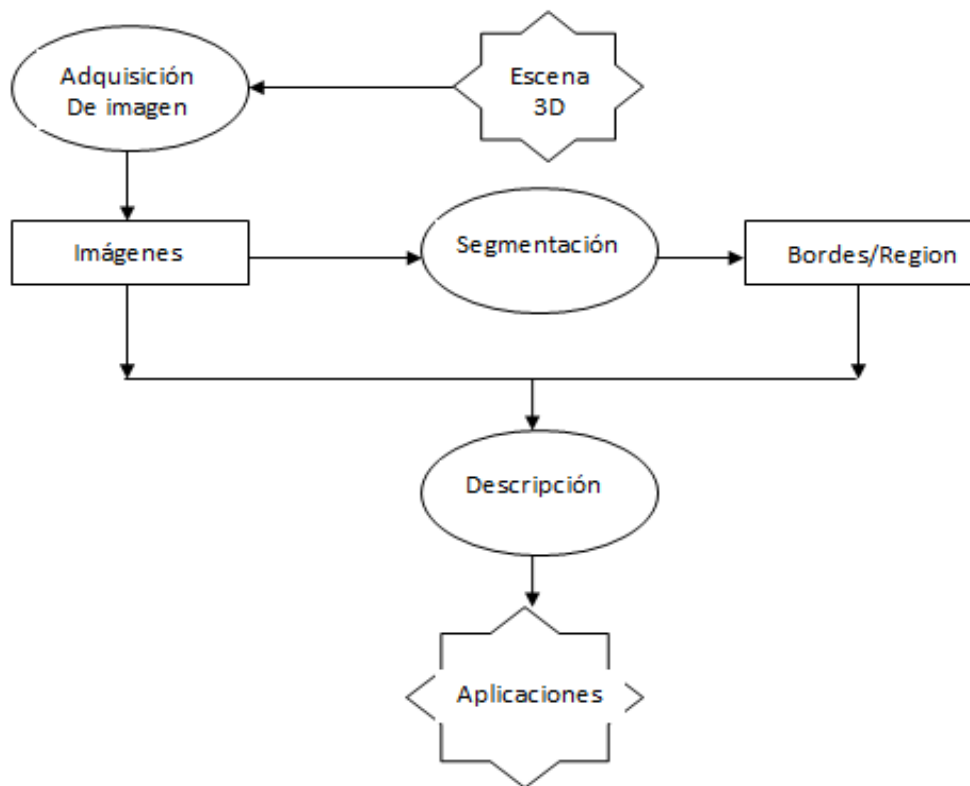


Figura 2.10 Diagrama de bloques mostrando el proceso completo de la *vision* artificial

En la visión por computadora, la escena tridimensional es vista por una, dos o más cámaras para producir imágenes monocromáticas o en color. Las imágenes adquiridas pueden ser segmentadas para obtener de ellas características de interés tales como bordes o regiones. Posteriormente, de las características se obtienen las propiedades subyacentes mediante el correspondiente proceso de descripción. Tras lo cual se consigue la estructura de la escena tridimensional requerida por la aplicación de interés [2].



## 2.7 Procesamiento de imágenes

El procesamiento de datos de un sistema de visión puede enfocarse desde dos perspectivas:

- 1) Alteración pixel a pixel de los datos de una escala global
- 2) Operaciones basadas en múltiples puntos (vecindad)

La generación de un nuevo pixel de los datos de una nueva imagen será una función bien del valor de cada pixel en su localización individual o bien de los valores de los pixeles en la vecindad de un pixel dado como se muestra en la figura 2.11 [2].

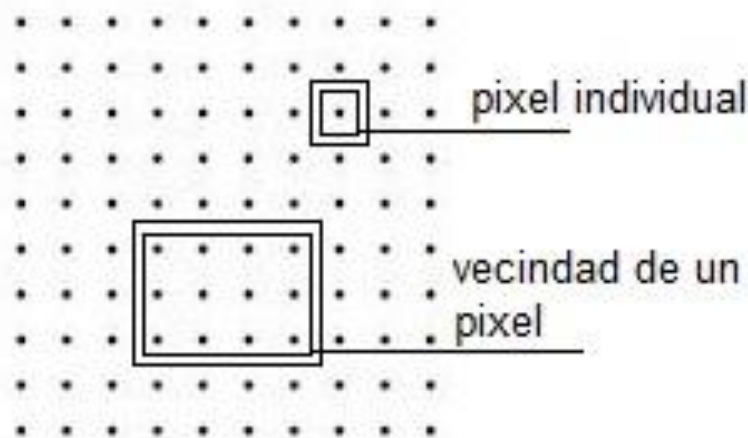


Figura 2.11 Funciones de punto y vecindad

### 2.7.1 Operaciones individuales

Las operaciones individuales implican la generación de una nueva imagen modificando el valor del pixel en una localización basándose en una regla global aplicada a cada localización de la imagen original.

El proceso consiste en obtener el valor del pixel de una localización dada en la imagen, modificándolo por una operación lineal o no lineal y colocando el valor del nuevo pixel en la correspondiente localización de la nueva imagen. El proceso se repite para todas y cada una de las localizaciones de los pixeles en la imagen original (Figura 2.12) [2].

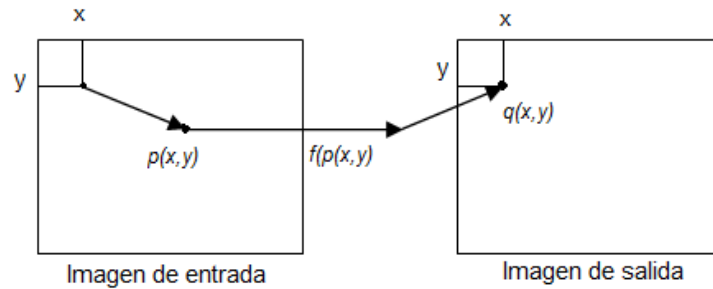


Figura 2.12 Operaciones individuales

El operador individual es una transformación uno a uno, el operador  $f$  se aplica a cada pixel en la imagen y la salida depende únicamente de la magnitud del correspondiente pixel de entrada; la salida es independiente de los pixeles adyacentes. La función transformada del valor del nivel de gris de cada pixel en la imagen y el nuevo valor se obtiene a través de la ecuación:

$$q(x, y) = f(p(x, y)) \quad (1)$$

- a) Operación identidad. Este operador crea una imagen de salida (figura 2.13) que es idéntico a la imagen de entrada, la función de transformación es:

$$q(x, y) = p(x, y) \quad (2)$$

- b) Operador inverso o negativo. Este operador crea una imagen de salida que es la inversa de la imagen de entrada (figura 2.14). Este operador es útil en diversas aplicaciones tales como imágenes médicas para una imagen con valores de gris en el rango de 0 a 255 [2].

$$q(x, y) = 255 - f(p(x, y)) \quad (3)$$

De donde:

$q(x, y)$  = Operador de Entrada

$p(x, y)$  = Operador de Salida

0 - 255 = Constante de valor de escala de grises

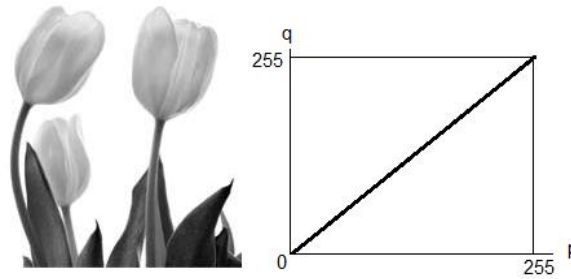


Figura 2.13 Representación del operador identidad. Imagen original, el operador identidad genera esta misma imagen a la salida.

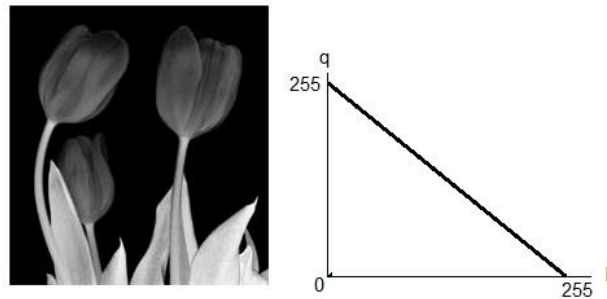


Figura 2.14 Representación del operador inverso. Imagen inversa o negativa derivada de la figura 2.13.

### 2.7.2 Modelo RGB (Rojo, Verde y Azul)

Este modelo está basado en un sistema de coordenadas cartesianas, el sub espacio de color de interés es el tetraedro mostrado en la figura 2.15, en el cual los valores RGB están en tres vértices, los colores cyan, magenta y amarillo se sitúan en otros tres vértices, el negro corresponde al origen y el blanco en el vértice más alejado del origen [3].

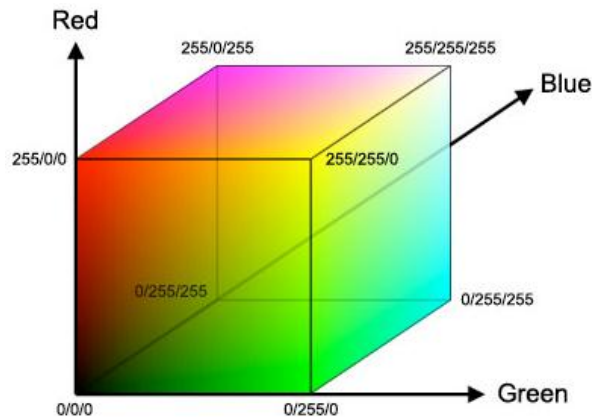


Figura 2.15 Tetraedro de color RGB. Los puntos a lo largo de la diagonal principal tienen valores de gris, desde el negro en el origen al punto (1, 1, 1)

Por conveniencia los valores del tetraedro se clasifican en unitario para obtener un rango de valor fijo y en este caso 0 y 1 absolutos. Cada pixel de una imagen almacena información de su tono o luminosidad, normalmente las cifras binarias se componen de un número total de ceros y unos que es potencia de 2, como 8, 16 o 32, a cada uno de estos unos y ceros se les llama bit y aun conjunto de 8 bits se le llama byte. Si un número en formato binario tiene menos de 8 bits como es el 11001 se suele completar hasta alcanzar 1 Byte [3].

La tabla 2.1 describe el valor de cada pixel en tonalidad de grises y RGB. En una imagen a escala de grises cada punto de la imagen se almacena en un Byte, donde su valor numérico representa su tono, que puede oscilar entre el blanco 255 y el negro 0. Esto quiere decir que es una imagen donde existen 256 tonos de gris (de 0 a 255), la profundidad de color es el número de bits que define cada pixel. Para el caso de una imagen de tipo (escala de grises) es una imagen con 1 bit por pixel. Cuantos más bits defina cada pixel, mas tonos podrá tener: si tiene 4 bits por pixel, tendrá 16 grises y si tiene 2 bits tendrá 4 grises [3].

Tabla 2.1 Profundidad de color

| N° bits/canal  | N° máximo de colores |                           |
|----------------|----------------------|---------------------------|
|                | Escala de grises     | Color RGB                 |
| <b>1 Bit</b>   | 2                    | 8                         |
| <b>2 bits</b>  | 4                    | 48                        |
| <b>4 bits</b>  | 16                   | 4096                      |
| <b>8 bits</b>  | 256                  | 16,7millones (24 bits)    |
| <b>12 bits</b> | 4096                 | 68,700 millones (36 bits) |
| <b>14 bits</b> | 16384                | 4,4 billones (42 bits)    |
| <b>16 bits</b> | 65536                | 281 billones (48 bits)    |

### 2.7.3 Umbralización

El histograma de intensidad corresponde a una imagen  $f(x,y)$  compuesta por objetos claros sobre un fondo oscuro, teniendo los pixeles del objeto y del entorno intensidades agrupadas en dos tonos dominantes. Una forma de extraer los objetos del entorno es seleccionar un nivel T que separe los dos tonos de intensidad. Un pixel  $(x,y)$  para el cual  $f(x,y) > T$  será un pixel del objeto; en caso contrario, el punto será del entorno. Los procedimientos que utilizan este umbral multinivel (figura 2.16) suelen ser menos fiables que aquellos que usan el umbral simple, debido a la dificultad que existe para establecer umbrales múltiples que aislen efectivamente regiones de interés. Se considera la fijación de umbral como una operación que implica pruebas con respecto a una función T de la forma:

$$T = T[x, y, p(x, y), f(x, y)] \quad (4)$$

Donde  $f(x,y)$  es la intensidad en el punto  $(x,y)$  y  $p(x,y)$  es alguna propiedad local del punto; por ejemplo, la intensidad media de un entorno de vecindad centrado en  $(x,y)$ . Se creará una imagen binaria (figura 2.17)  $g(x,y)$  definiendo:

$$g(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{para } f(x, y) > T \\ 1 & \text{para } f(x, y) \leq T \end{cases} \quad (5)$$

De un rango de valor de 0 a 255 en escala de grises

Examinando  $g(x,y)$  se observa que los pixeles a los que se les asigna valor 0 corresponden a los objetos, mientras que los que corresponden al entorno tienen valor de 1. Cuando  $T$  depende de solo de  $f(x,y)$ , *el umbral se llama global*. Si  $T$  depende tanto de  $f(x,y)$  como de  $p(x,y)$ , *entonces el umbral se llama local*. Si  $T$  depende de las coordenadas especiales  $x$  e  $y$ , se llama umbral dinámico [2].

El Instrumento Virtual que permite realizar la operación individual de umbralización se llama IMAQ treshold (Umbral), el funcionamiento de esta herramienta consiste en que todos los valores de intensidad de los pixeles serán cero, excepto los valores de rango que asigne al valor que se desea reemplazar en ese intervalo [3].

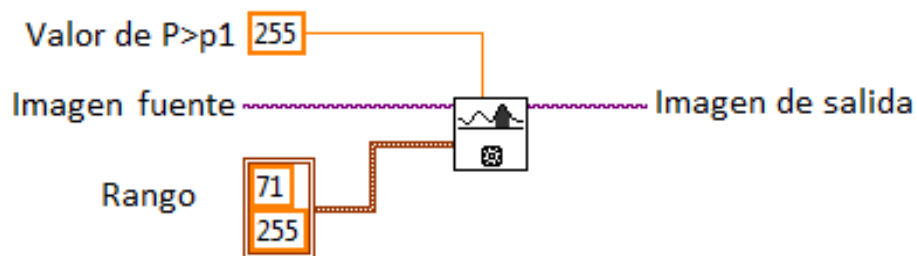


Figura 2.16 Imaq Treshold (Umbralización)

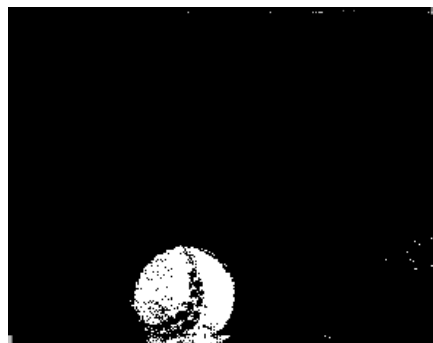


Figura 2.17 Imagen binarizada

2.7.4 Filtrado

De la teoría aplicada al tratamiento digital de señales es sabido que el filtrado de las mismas se pueda realizar en el dominio de la frecuencia o bien en el dominio espacial. En el dominio de la frecuencia la operación de filtrado se reduce a una multiplicación de transformadas mientras que en el dominio espacial el filtrado resulta ser una operación de convolución [2].

Teorema de convolución:

$$[f * h][(x, y)] = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(m, n)h(x - m, y - n)dmdn \quad (6)$$

Por tanto se trata de la convolución de dos funciones imagen  $f$  y  $h$  y se denota por  $f * h$ . La transformada de Fourier viene dada por:

$$Fo(u, v) = \tau\{f * h(x, y)\} = \tau\{f(x, y)\}\tau\{h(x, y)\} = F(u, v)H(u, v) \quad (7)$$

El teorema de la convolución permite interpretar el filtrado desde dos puntos de vista: el filtrado puede ser concebido como la convolución de la imagen de entrada con la respuesta impulso del filtro o bien como la transformada inversa del producto de la función de transferencia del filtro y la transformada de la imagen de entrada [2].

$$fo(i, j) = \tau^{-1}\{Fo(u, v)\} = \tau^{-1}\{F(u, v)H(u, v)\} = f * h [(x, y)] \quad (8)$$

Donde

$$h(x, y) = \tau^{-1}\{H(u, v)\} \quad (9)$$

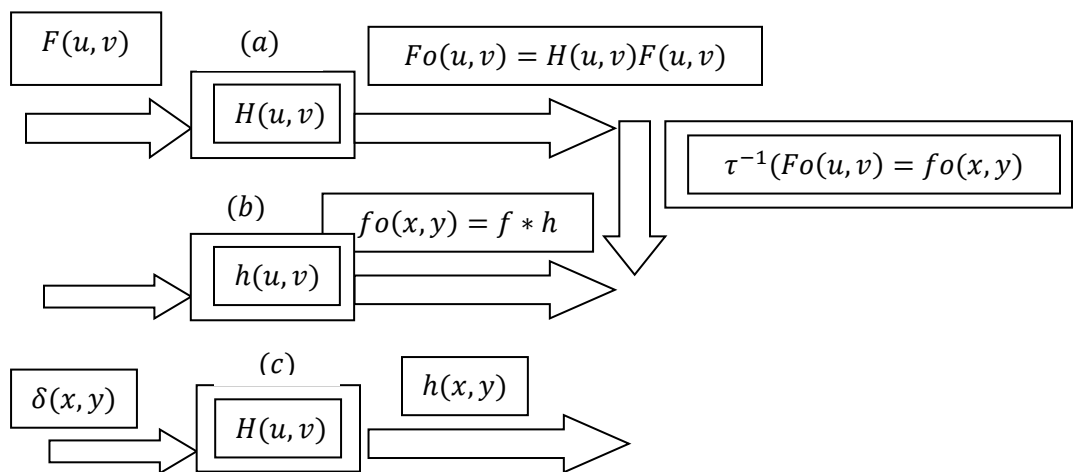


Figura 2.18 Filtrado espacial de forma gráfica

De la figura 2.18 se entiende que: (a) la multiplicación de  $F$  y  $H$  para obtener  $Fo$ ; (b) convolución de  $f$  y  $k$  para segmentar  $fo$ , la flecha uniendo (a) y (b) indica que aplicando la transformada inversa de Fourier a  $Fo$  obtenemos  $fo$ ; (c) respuesta del filtrado a la función Delta de Dirac  $\delta(x, y)$ .

Se trata de métodos para resaltar o suprimir, de forma selectiva, información contenida en una imagen a diferentes escalas espaciales, para destacar algunos elementos de la imagen, o también para ocultar valores anónimos. El proceso de filtrado consiste en la aplicación a cada uno de los pixeles de la imagen de una matriz de filtrado de tamaño  $N \times M$  compuesta por números enteros y que genera un nuevo valor mediante una función del valor original y los de los pixeles circundantes [3].

En la ecuación 10 se muestra la forma en cómo se expresa esta operación en relación a un estado escalar "K", generalmente la suma de los coeficientes.

$$ND'_{i,j} = \frac{(ND_{i-1,j-1})+(ND_{i,j-1})+(ND_{i+1,j-1})+(ND_{i-1,j})+(ND_{i,j})+(ND_{i+1,j})+(ND_{i-1,j+1})}{K} \quad (10)$$

Donde  $i$  y  $j$  representan la fila y la columna de cada pixel,  $ND_{i,j}$  su nivel digital y  $ND'_{i,j}$  el nivel digital obtenido tras hacer el filtrado. Mediante diferentes combinaciones de parámetros asignados a los diferentes pixeles circundantes se puede conseguir diferentes efectos.

Realizando un análisis de una imagen de  $N \times M$  cuadros convertidos a niveles de grises obtenemos que el valor de ese número de pixeles sea evaluado como 255 en totalidad blanco y 0 como su valor absoluto en negro.

$$h = \frac{1}{MN} A \quad (11)$$

En la ecuación 11,  $A$  es una matriz de 1's con dimensión  $M \times N$ . El coeficiente de  $1/MN$  en el núcleo del filtro sirve para mantener los niveles de gris de la imagen original y en la ecuación 12 definimos la predeterminada ecuación donde  $h$  será el núcleo definido por la imagen:

$$h = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \quad (12)$$



### 2.7.5 Filtro ideal paso bajo

Un filtro ideal paso bajo de 2 dimensiones está caracterizado por una función de transferencia que satisface la relación mostrado en la ecuación 13.

$$H(u, v) = \begin{cases} 1 & \text{si } D(u, v) \leq D_0 \\ 0 & \text{si } D(u, v) > D_0 \end{cases} \quad (13)$$

Donde  $D_0$  es una cantidad especificada no negativa y  $D(u, v)$  al origen del plano de frecuencias:

$$D(u, v) = (u^2 + v^2)^{1/2} \quad (14)$$

En la figura 2.19 se muestra una perspectiva de  $H(u, v)$  como una función de  $u$  y  $v$ . El nombre *filtro ideal* indica que todas las frecuencias dentro del círculo de radio  $D_0$  pasan sin atenuación, mientras que todas las frecuencias fuera de este círculo son eliminadas, esta misma figura muestra el filtro representado en nivel de grises, para una mejor visualización, los valores de grises en el rango  $[0, 255]$  se han normalizado al rango  $[0, 1]$ , lo cual es aplicable al resto de representaciones [2].

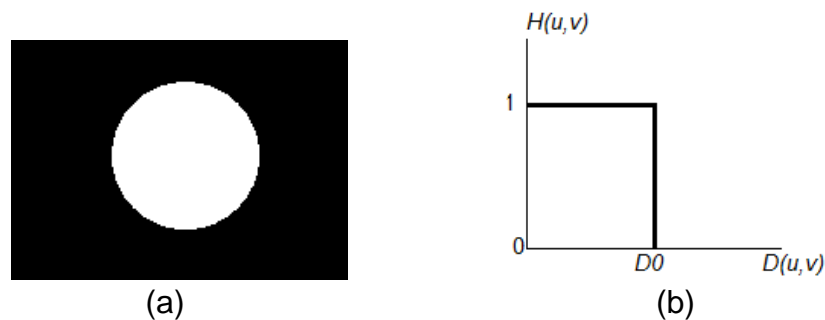


Figura 2.19 Representación y sección ecuación 13. (a) Representación de niveles de grises del filtro definido por la ec.13. (b) Sección transversal del filtro

### 2.7.6 Filtro ideal paso alto

Un filtro ideal paso alto en 2 dimensiones está caracterizado por la función de transferencia que satisface la relación:

$$H(u, v) = \begin{cases} 0 & \text{si } D(u, v) \leq D_0 \\ 1 & \text{si } D(u, v) > D_0 \end{cases} \quad (15)$$

Donde  $D_0$  es la distancia de corte medida desde el origen del plano de frecuencias y  $D(u, v)$  está dada por la ecuación 14, este filtro es opuesto al paso bajo ideal porque atenúa completamente todas las frecuencias dentro del círculo de radio  $D_0$  mientras pasan sin atenuación todas las frecuencias fuera del círculo [2].

La figura 2.20 muestra el mismo filtro representado en niveles de grises y su sección transversal respectivamente.

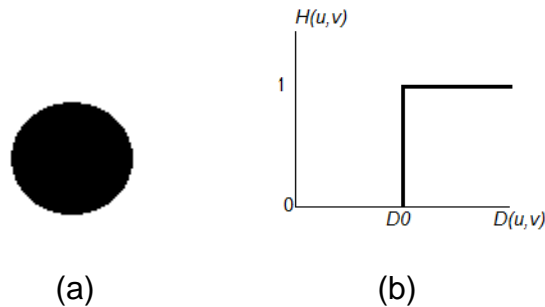


Figura 2.20 Representación y sección ecuación 15. (a) Representación en niveles de gris dado por la ecuación 15; (b) Sección transversal del filtro

### 2.7.7 Filtro Transformada Rápida de Fourier (FFT)

La transformada rápida de Fourier es de un algoritmo para el cálculo de la transformada discreta de Fourier. Su importancia radica en el hecho que elimina una gran parte de los cálculos repetitivos a que está sometida la transformada discreta de Fourier [3].

La implementación del algoritmo de la FFT puede realizarse de 2 formas distintas:

1. Mediante un programa que pueda ejecutarse tanto en una PC como en una tarjeta que posea un microprocesador específico para este tipo de operaciones
2. Mediante el desarrollo de una tarjeta (hardware) en la cual se emplean circuitos integrados específicos. Tal es el caso de los modelos analizadores de espectro (histogramas).

La ecuación 16 involucra un número de sumas y multiplicaciones complejas que es proporcional a  $N^2$ , lo anterior se puede apreciar fácilmente ya que para cada uno de los  $N$  valores de  $u$  y  $v$  la expansión de la sumatoria requiere  $N$  multiplicaciones complejas de  $f(x) * e^{-j2\pi(u,v)x/N}$  y  $N-1$  sumas de resultados.

La ecuación 16 permite reducir el número de sumas y multiplicaciones a un valor proporcional a  $N \log_2 * N$ .

$$F(u, v) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) * e^{-j2\pi(u,v)x/N} \quad (16)$$

Dónde:

N= número de operaciones complejas

$F(u, v)$ = Operación por pixel

El ahorro o reducción en el número de operaciones es significativo para valores de N como los que es de esperar en imágenes prácticas, por ejemplo, para una imagen de 1024 X 1024 pixeles, N=1024:

$$N^2 = 1,048,576 \text{ Operaciones complejas}$$

Si se aplica la FFT:

$$N^2 \log_2 * N = 10240 \text{ Operaciones complejas}$$

### 2.7.8 Morfología

Se aplican procesos morfológicos para corregir las imperfecciones de la imagen de lo contrario el ruido que se encuentra como puntos negros dentro del fondo blanco puede confundir al sistema haciéndolo creer que un borde y los puntos blancos dentro del código negro pueden dificultar el reconocimiento de patrones.

La erosión es uno de los métodos morfológicos más fundamentales que consisten en combinar dos conjuntos utilizando sustracción de vectores, en pocas palabras eliminar los puntos blancos suspendidos en fondos negros. El ruido que se tiene es una situación contraria, por lo que se extrae el negativo de la imagen antes de aplicar erosión [3].

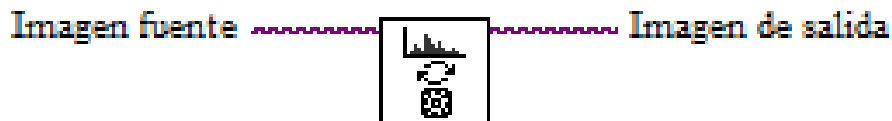


Figura 2.21 Inmaq Inverse (inversión de imagen)

Esto se interpreta de la siguiente manera; la imagen fuente será la imagen que esté procesada a primera instancia la imagen una vez binarizada reflejará la transcripción de manera inversa, esto quiere decir que los valores se invertirán (figura 2.21).

**2.8 Sistema matricial aplicado a binarización**

Para conseguir procesar un valor en escala de grises (blanco y negro) los valores del pixel considerados a la salida tendrán un valor de 1 y 0, la imagen original será ubicada para interpretar cada punto con dicho valor.

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \tag{17}$$

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{18}$$

De la ecuación 18 se puede ver que el sistema matricial establecido comprende un valor de pixeles de 3X3, los valores reconocidos estarán basados en la escala del cero absoluto lo que concierne hacer una operación de determinante para obtener una salida y esta sea manipulable. Otro ejemplo esta dado en la ecuación 5 la cual comprende un sistema en la escala de grises mayor; en este caso blanco absoluto que será igual a 255 interpretado como 0 (figura 2.22).

$$(a_{11})(a_{22})(a_{33}) - (a_{12})(a_{23})(a_{31}) - (a_{13})(a_{21})(a_{32}) = 0 \text{ ó } 1 \text{ absoluto} \tag{19}$$

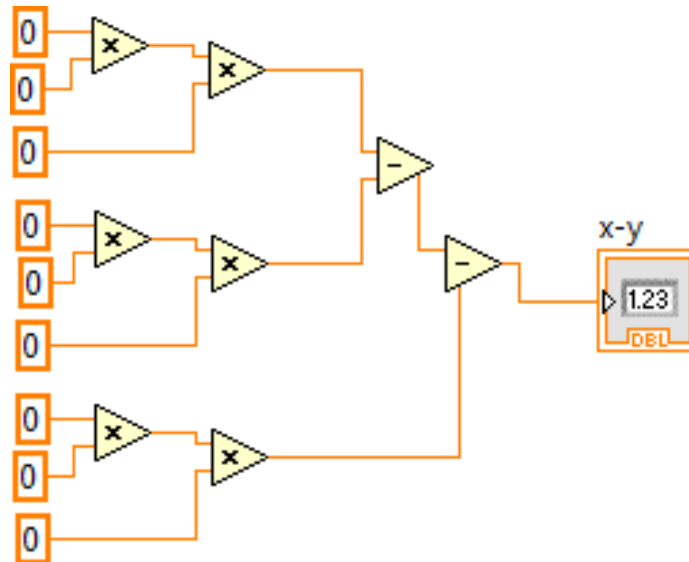


Figura 2.22 Interpretación matemática para el cálculo de constantes por medio de operadores.

# CAPÍTULO III

---

## Diseño de software

En este capítulo se describe el proceso que se llevó a cabo para realizar el diseño del sistema de visión por computadora, además se involucra el desarrollo de tales efectos utilizados para la obtención de respuesta, el tipo de comunicación utilizada y cómo se configuró.

### 3.1 Sistema general de obtención de imagen y comunicación

Para generar el ciclo de todo el sistema, es necesario tomar una imagen en tiempo real (3D) la cual el programa convierte a 2D, la imagen consta de un patrón únicamente de 4 huevos obtenida de una cámara ovoscópica realizada para este proyecto hecha de madera con un rango de iluminación igual a 1600 luxes; suficiente para generar una diferencia de entre huevos con embrión y sin embrión, se necesitan ente 1400 y 1900 luxes para observar dicha diferencia, esto será interpretado mediante la aplicación del filtros y umbralización que más adelante se explicará. La imagen 3.1(a y b) muestra un diagrama de los programas y el equipo que se implementa para el desarrollo del trabajo; desde la adquisición de la imagen hasta la respuesta física y simulada.

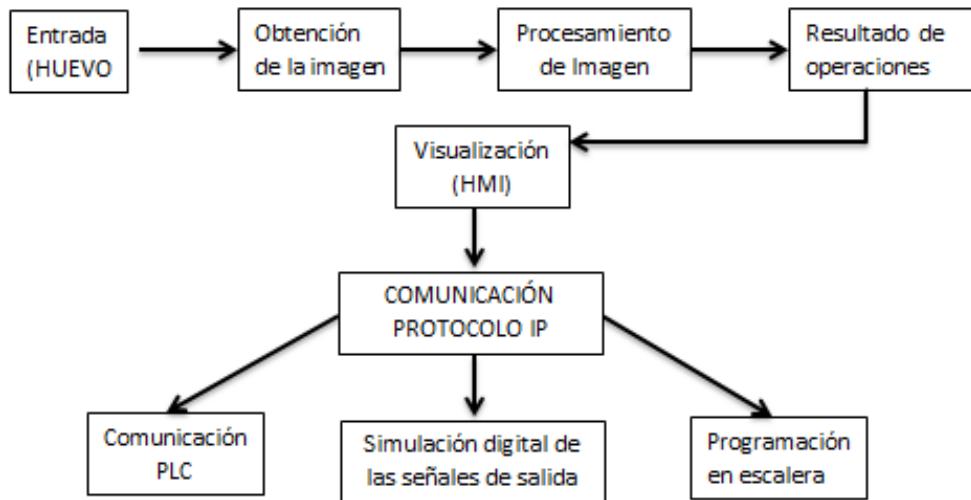


Figura 3.1 (a) Diagrama de bloques desarrollado para obtención de respuestas.

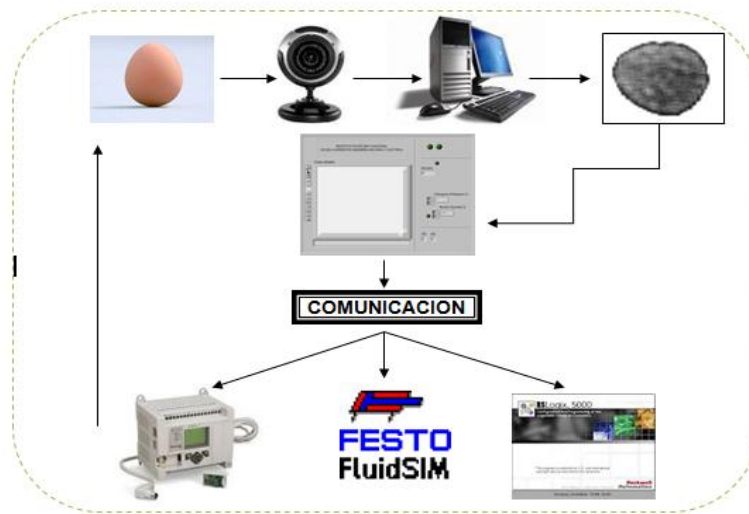


Figura 3.1 (b) Diagrama general de figuras del desarrollo de obtención de respuestas.

El concepto del software desarrollado discrimina el trabajo manual y genera un margen de error casi nulo para dicha selección, tendrá un muestreo, contará el número de elementos ubicados. Para los siguientes capítulos se explicará cómo se llevó a cabo con diferentes muestras tomando en cuenta el tipo y si hay presencia o ausencia de embrión.

Se adquirió un lote de huevos de gallina producidos en granjas a distintas edades antes de eclosionar, la representación de cada uno de ellos generó un tipo de morfología que se aplicó para obtener un patrón de referencia; además, se compara con huevos claros (blancos) y huevos oscuros sin embrión para generar la diferencia y tener una respuesta sin errores, la imagen 3.2 muestra los huevos de campo y los huevos claros, que se utilizaron para dichas pruebas.



Figura 3.2 Muestra de tonalidades de huevos utilizados

### **3.2 Características del software**

Una vez teniendo el tipo de imagen a procesar, se ubican diferentes componentes para condicionar zonas de interés para ello existen dos opciones; ubicarlos de manera individual o por medio un módulo que genera dichos componentes: El *asistente de visión* se encarga de procesar la imagen adquirida y aplicar los comandos de utilidad. En la siguiente figura se desglosa el procesamiento de imagen en un diagrama de bloques [3].



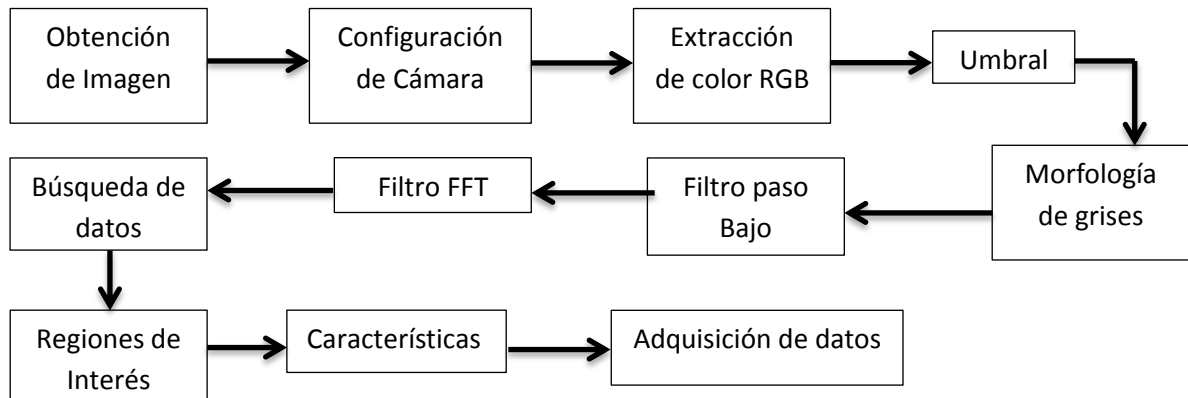


Figura 3.3 Desarrollo del Procesamiento de Imagen

El procesamiento de imagen se desarrolla con base a las estructuras de comparación de la imagen, previamente se describen las acciones de cada comando y las acciones para que dichos comandos puedan tener una respuesta con mayor nivel de digitalización, el filtro paso bajo nos permite generar una composición en zonas de interés, mientras que el filtro FFT simplifica las operaciones matemáticas eliminando ruido y generalizando una ecuación de salida.

El *asistente de visión* mostrado en la figura 3.4 representa al panel principal y este se ubica en los módulos de National Instrument en la parte de “Visión Express” los módulos; posteriormente, se habrán descargado con una licencia activa. Dentro de las funciones de este módulo se pueden encontrar las funciones de procesamiento, utilidades para la imagen y la imagen a procesar.

El *asistente de visión* figura 3.4, permite su uso sin necesidad de utilizar un gran espacio de memoria, útil para no permitir que el programa se vuelva lento, sin embargo existen diversos comandos necesarios para su programación, en adelante, se describe cada uno de los comandos para comprender cuál es su función.

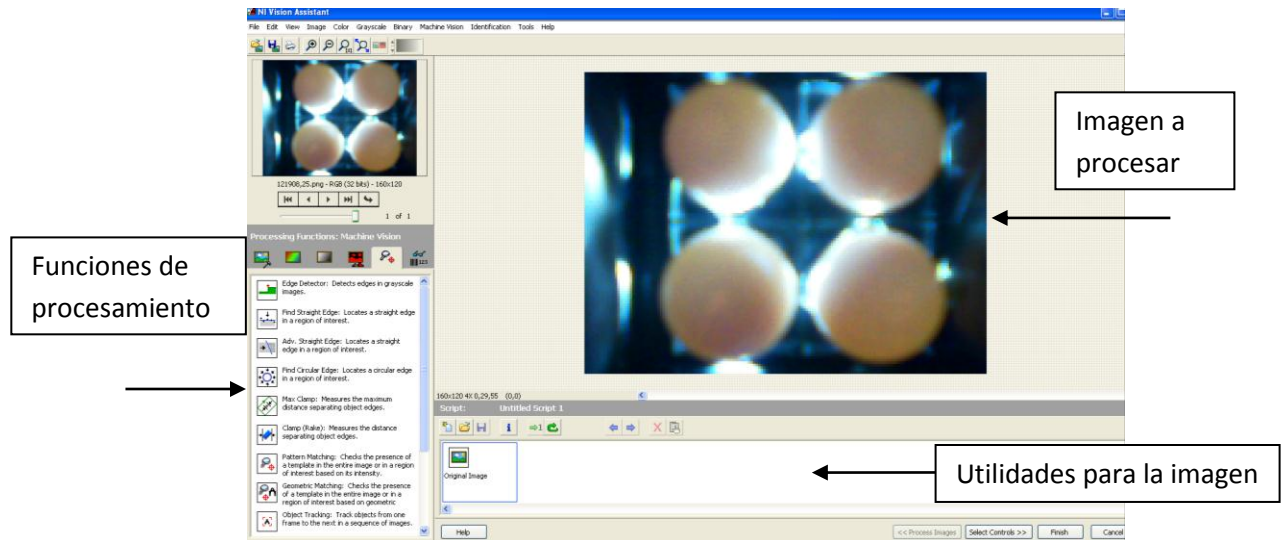


Figura 3.4 Panel frontal de asistente de visión

En las funciones de procesamiento se tiene la gama de comandos a utilizar en forma de lista de acuerdo al orden de aplicación y se ven reflejadas en la imagen a procesar, cada elemento está definido independientemente en la parte de *vision and motion (visión y movimiento)*, y por tanto es el mismo sistema de aplicación únicamente varía el tamaño de memoria que estos generen.

La imagen a procesar es el archivo en 3 dimensiones tomada desde la configuración de la cámara, este patrón guarda un espacio de memoria (imagen base); para poder trabajar sobre ese mismo y con las condiciones establecidas.

Las utilidades para la imagen están aplicadas de manera vertical y en orden, lo cual, al aplicar un comando guarda dicha asignación en secuencia. Se debe tomar en cuenta que las imágenes adquiridas tienen un rango de 32 bits en la memoria como máximo, cada pixel refleja la aplicación de comandos uno a uno.

Al aplicar el sistema para huevos reales: con y sin embrión, se encontraron con elementos dentro de la cámara ovoscópica que causan ruido por defecto del software. La imagen 3.5 es la toma a procesar bajo las condiciones aplicadas. Ya se ha mencionado el límite para ubicar cuatro huevos; de tal manera que se pueda procesar la imagen y se pueda separar las condiciones para cada espacio reservado.

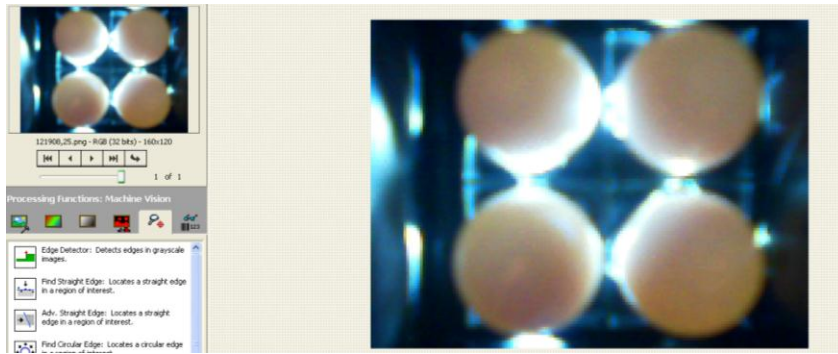


Figura 3.5 Toma 1: huevos totalmente blancos

Se debe tomar en cuenta que para empezar a ejecutar el programa se considera una imagen de referencia, claramente la imagen 3.6 es útil para crear la morfología ideal y utilizarla como base ya que en ella se aprecia la diferencia entre huevos fértiles e infértiles. Esta base, a su vez es una herramienta que crea una morfología totalmente visible para que en su efecto actúe solo en los que tengan embrión. La cámara es capaz de crear una diferencia en 4 huevos, la diferencia se verá reflejada en la salida del programa.

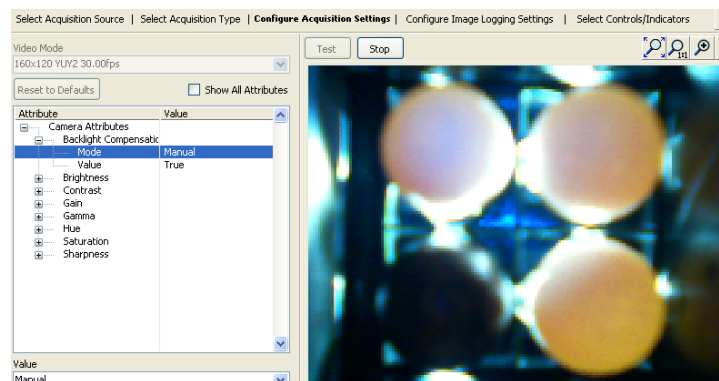


Figura 3.6 Toma con un huevo que contiene un embrión.

A diferencia de la figura 3.5, la figura 3.6 corresponde a un huevo que contiene embrión, si se aplica la morfología y la detección de elementos a dicha toma, las salidas no tendrán interés y por consecuencia no ubicara ningún tipo de huevo. Por ello se trabajará con huevos totalmente blancos para tener un patrón de referencia.

La capacidad del sistema de visión está diseñada para procesar cualquier método de selección (forma o color) y en consecuente realizar alguna operación, en la figura 3.7 se muestra una representación de cómo se genera la adquisición de la imagen, elaborada con los parámetros anteriormente mencionados.

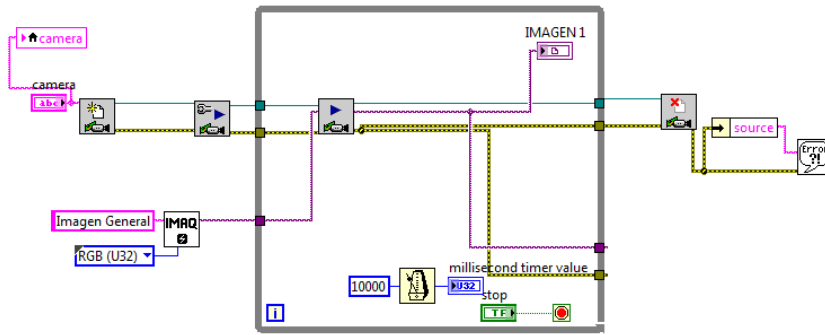


Figura 3.7 Instrumento virtual labview para toma de imágenes.

### 3.3 Extracción de color RGB

La extracción del color se ve reflejada en la utilidad del plano a trabajar; el comando da la versatilidad de tal ajuste. Como se mencionó anteriormente, la imagen 2.15 muestra el tetraedro de la escala de colores y los rangos máximos y mínimos, esto se ve reflejado y se maneja en una escala en el plano rojo. Se tiene una imagen de tipo RGB en escala de grises extrayendo el plano monocromático, la imagen 3.7 muestrea la extracción de dicho color: el I32 es un valor de “tipo”, esto quiere decir que mientras el programa esté en modo “arranque” el ajuste lo hará con una salida manipulable en el panel frontal, esta salida maneja los planos en el que se va a trabajar. La imagen obtenida tiene un valor de tipo “imagen” y se genera a partir de la selección; es aquí cuando pasamos de un plano de 3D a 2D y la escala de grises manejada de 0 valor absoluto en negro y 255 valor absoluto en blanco, todo en escala de grises. El ícono es únicamente la extracción de color, el cambio de planos se ve reflejado en la imagen destino que en consecuencia la que tenemos en el panel frontal donde se visualiza la aplicación del color. De igual manera, en el módulo de *asistente de visión*; se obtiene el plano a trabajar y por consecuente se aplica de manera directa a un archivo guardado para tener un patrón de referencia, en la figura 3.8 se aplica el contexto de extracción de color a una imagen base.

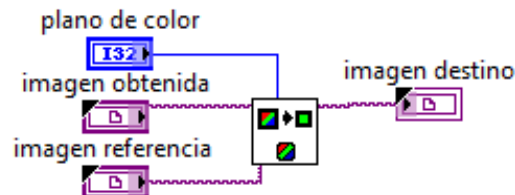


Figura 3.8 Comando de extracción del plano de color RGB (rojo, verde o azul)



Figura 3.9 Comando de extracción de plano de color a partir de una imagen base en asistente de visión

La figura 3.9 es una muestra clara de la referencia que se ha tomado; sólo patrones oscuros dibujados; esto para ubicar zonas de interés bajo la mezcla RGB extrayendo un plano de interés.

### Histograma:

Es una representación gráfica de una variable en forma de barras. Se utiliza para variables continuas o para variables discretas, con un gran número de datos y que se han agrupado en clases.

### 3.4 Detección de umbral

La detección de umbral está dada bajo un valor en escala de grises, este valor es generado por un histograma que toma los valores en escala de grises de 0 a 255, la figura 3.10 nos da el muestreo de Labview® basado en un histograma en dicha escala.

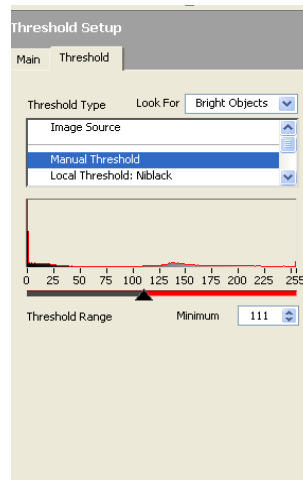


Figura 3.10 Niveles del umbral

Basándose en la ecuación 5 los niveles están dados en una escala de grises desde 0 a 255, el valor opera dependiendo al valor manipulado. Como ejemplo se tiene la aplicación de dicha ecuación:

$$g(x,y) = \begin{cases} 0 & \text{para } f(x,y) > 111 \\ 1 & \text{para } f(x,y) \leq 111 \end{cases}$$

El valor de T puede variar de acuerdo a las condiciones de la imagen. T toma el valor de n = 111 por tanto los valores que estén por debajo los considera en un rango de 0 (negro) y los valores arriba de 111 los transforma a 255 (blanco), esta operación actúa en cada pixel: si el rango es de **640x480** opera para **307200** pixeles. Como resultado se obtiene una imagen de salida mostrada en la figura 3.11 que está bajo el rango mencionado, con la tonalidad en rojo y negro.

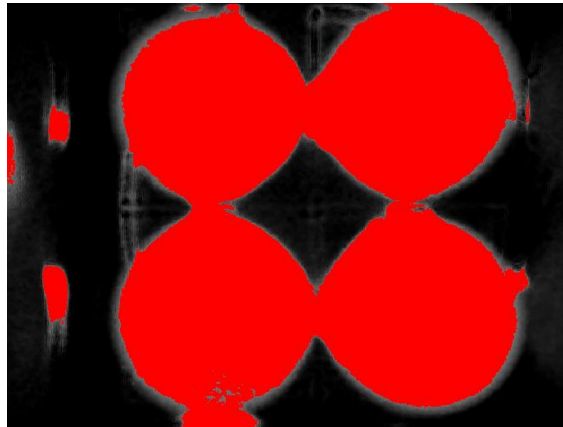


Figura 3.11 Umbral generado

### 3.5 Morfología

Se debe considerar que el umbral utilizado, contiene una estructura binaria; esto quiere decir que se opera la imagen de referencia a las utilidades necesarias, una vez obtenido el umbral bajo el valor de 0 y 1 en escala de grises, es necesario fronterizar para delimitar las zonas de umbral, para ello se crea una morfología de grises.

La imagen procesada tiene una respuesta bajo las condiciones establecidas en la figura 3.12, a consecuencia, se genera un valor de medida de 9 pixeles con un número de iteración de 9, la estructura de elementos está dada de **9x9**, es decir, crea una erosión de modo que el valor del umbral sea el mismo pero con una frontera disminuida.

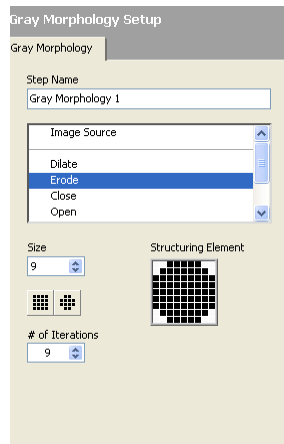


Figura 3.12 Valores de morfología

La morfología sirve para eliminar ruido en el sistema que consta de variantes que pueden perturbar la respuesta requerida, por ello se disminuye el valor del umbral con el propósito de limpiar dicha zona, la imagen 3.12 muestra la aplicación de esta morfología erosionada cuyos valores transcurren con respecto a las variantes de entrada. La figura 3.13 refleja la comparación y operación que se toma de la imagen base para generar estados de muestreo fijos y patrones que se puedan comparar.

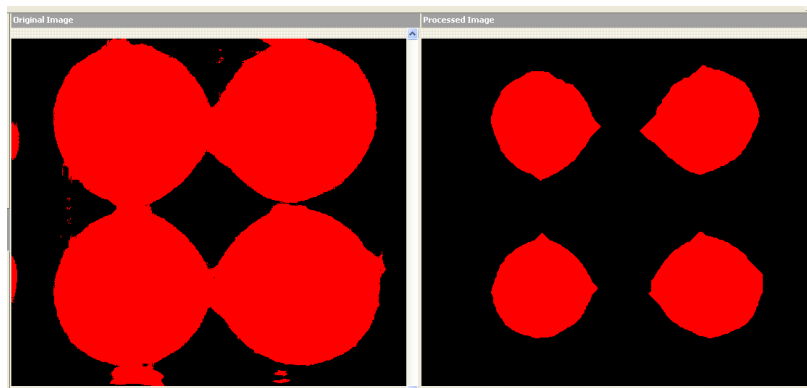


Figura 3.13 Morfología de grises aplicada al umbral

Al aplicar esta morfología se respeta un margen de tamaño de huevos, el color no varía siempre y cuando se mantenga la iluminación constante, la imagen muestra el patrón establecido con centro de masa para cada uno, el valor de perturbación disminuye con respecto al valor de iteraciones, por tanto si se aplica un histograma el valor de la escala de grises cambia con respecto al tamaño de operación. Una vez generada la eliminación de perturbaciones debemos aplicar una morfología básica, esta morfología permite estructurar cada zona encontrada; es decir, se manipulan los valores a un tamaño conveniente para disminuir la zona de interés, los valores a operar están oscilando entre 0 y 1 la respuesta de la



morfología básica está dada en operación a los pixeles la Figura 3.14(a) muestra la operación aplicada para delimitar el umbral establecido, en la imagen 3.14(b) se da un muestreo de su aplicación, las variantes dependen de la forma de operación.

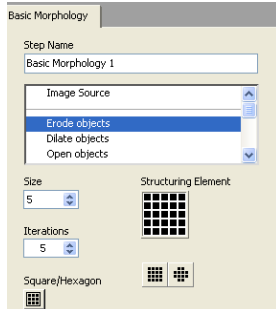


Figura 3.14 (a) Morfología

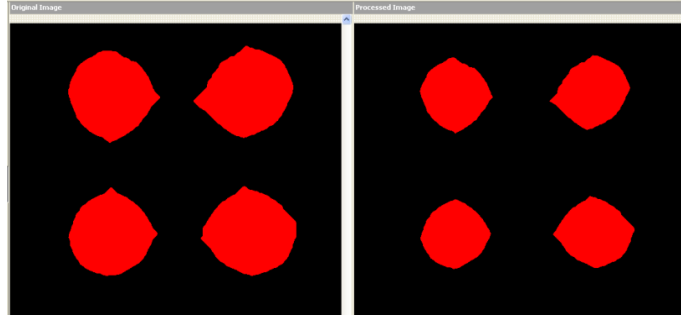


Figura 3.14 (b) Morfología Aplicada

Los valores modificados dan como resultado un decremento del umbral establecido; el tamaño se modifica a una resolución de aumento de 5 *pixeles* con un número de iteraciones de 5, una operación de valores de 0 en 5x5. El tamaño de la morfología se ve disminuido en escala de grises binarizado.

### 3.6 Filtro

La percepción de aplicar un filtrado paso bajo a partir de la figura 2.18 consiste en considerar valores fuera y dentro de dichos círculos, todas las frecuencias dentro del círculo de radio  $D_0$  pasan sin atenuación mientras que las frecuencias que estén fuera son eliminadas. La frecuencia de corte generada consta de un punto central a partir de  $D_0$  (origen), se considera que los valores a operar están bajo el rango de 0 y 1. En la figura 3.15 (a y b) se observa la relación que se establece bajo este filtrado. El valor de KERNEL opera en un punto central de una matriz de 3x3 con un divisor de 0, por tanto los valores operan bajo el origen de cada umbral para así pasar sin atenuar señales.

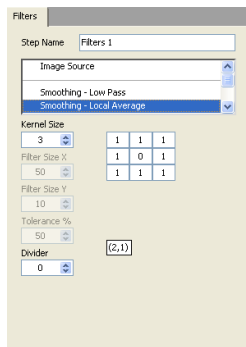


Figura 3.15 (a) Operación de filtrado

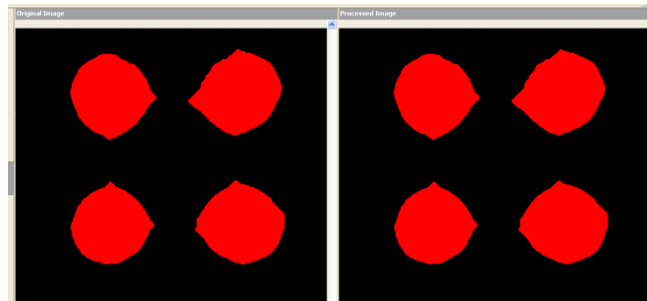


Figura 3.15 (b) Aplicación del filtro

Este tipo de filtrado busca radialmente una simetría, por ello ubica uno a uno los centros establecidos a partir de cada umbral, la ecuación 13 da el muestreo de la función de tranferencia donde la tranformada opera desde el origen  $\mathbf{0 = D0}$

$$H(u, v) = \begin{cases} 1 & \text{si } D(u, v) \leq D0 \\ 0 & \text{si } D(u, v) > D0 \end{cases}$$

Los valores corresponden a D0 cuando es menor o igual a un pixel y con D(u,v) a 1, marcados en toda la zona en color rojo y si los valores son mayores a D0 pertenece a la zona de desinterés. Todo esto partiendo del origen de 0 a cada umbral, como resultado se obtiene la operación aplicada en la figura 3.15 (b).

### 3.6.1 Filtrado de tipo FFT

Por consecuencia a las variantes tras la aplicación de un umbral es necesario recortar zonas, de manera que los patrones manejen una simetría tal que sea operable, se trabaja con una escala de pixeles de 640X480 que da la factibilidad de tener una mayor resolución, la aplicación de un segundo filtro conocido como Transformada Rápida de Fourier (FFT por sus siglas en inglés) permite concentrar estas condiciones. Este filtrado recorta entidades de contorno de tal manera que busca una forma simétrica. La figura 3.16 (a) refleja las características de aplicación, la utilidad dada está en el margen trucado a una frecuencia de 5% esto quiere decir que varía a un porcentaje por pixel. El modo de operación depende de un filtro paso bajo que recorta el tipo de entidad de contorno atenuando la señal que se obtiene a partir del filtro paso bajo. En la Figura 3.16 (b) se da un muestreo de esta operación, y se visualiza al contorno de dichos umbrales.

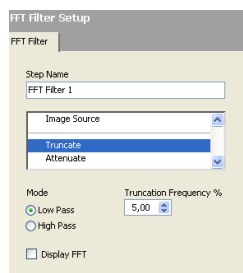


Figura 3.16 (a) Operación de filtrado

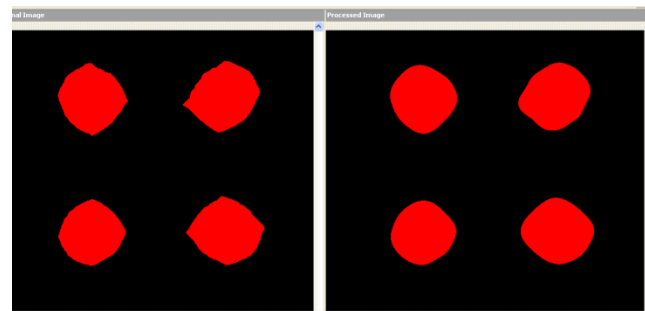


Figura 3.16 (b) Aplicación de filtrado FFT

Los resultados correspondientes a la aplicación de estos comandos dependen del umbral; la imagen en escala de grises y en valores de 0 y 1, los resultados no pueden generar una sintaxis de operación de salida (respuesta que se pueda operar), una vez generadas las operaciones necesarias se inicia con el proceso de selección y operación. Dichos cambios están manipulados bajo el rango del número de operaciones.

Los datos que se deben operar generan una zona de interés, de tal manera que el software lo interprete como “operación” para así analizar, los umbrales tienen una referencia de entrada, y esta operación de visualización deja de ser binaria para darnos una respuesta en pixeles, áreas y contornos de interés. La Figura 3.17 (a) muestra la conversión de valores a un tipo “ecualizado”, los datos ecualizados tienen la capacidad de actuar como valores reales y a su vez son manipulables.

Dichos umbrales se observan en la figura 3.17 (b) donde las condiciones de la imagen cambian a un tono blanco, dejando de ser binarias.



Figura 3.17 (a) Ecualización

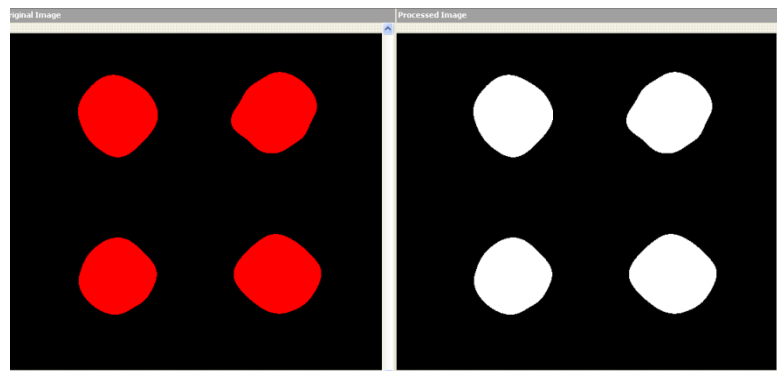


Figura 3.17 (b) Imagen de salida ecualizada

### 3.7 Conversión de datos dinámicos

Los datos dinámicos son una forma de interpretación de imagen, estos datos pueden realizar una conversión numérica a booleana o viceversa, el siguiente paso es obtener un rango de valores de 0 a 255 con respecto a una frontera establecida, ésta operación se realiza para cada umbral modificado. La frontera establecida permite; con el patrón de referencia, ubicar dichas zonas de interés, la gráfica es la misma para los cuatro procedimientos relacionando una escala de 0 a 255 en una radio “X” donde se limita a la figura extraída. Los elementos de la figura 3.18 (a) están compuestos por ubicaciones que se muestran en la figura 3.18 (b). Estos valores están íntimamente relacionados como “referencia” para involucrar cualquier tipo de huevo.

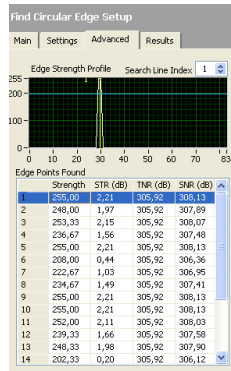


Figura 3.18 (a) Gráfica con valores de 0 a 255

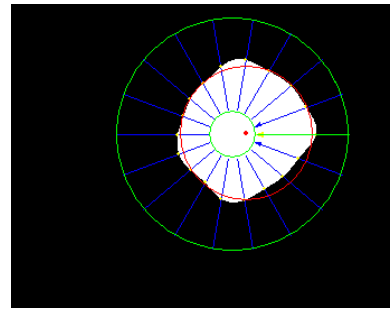


Figura 3.18 (b) Detección de zona

| Results ... | Center X Posi | Center Y Posi | Radius | Deviation | Strength | Average SNR |  |  |  |  |
|-------------|---------------|---------------|--------|-----------|----------|-------------|--|--|--|--|
| Value       | 250,79        | 116,41        | 59,74  | 1,00      | 245,69   | 300,87      |  |  |  |  |
| Unit        | pixels        | pixels        | pixels | pixels    |          | dB          |  |  |  |  |
|             |               |               |        |           |          |             |  |  |  |  |

Figura 3.18 (c) Datos obtenidos de la zona de interés a partir del valor en rango de 0 a 255

En la figura 3.18 (c) se da un muestreo de los valores con respecto al número de pixeles, los rangos pueden variar si se modifica el tamaño de la frontera que se establece desde su ubicación. Estos procedimientos se generan para cada uno de los patrones que se han separado como: A11 A12 A21 A22, (Figura 3.19) respectivamente a las ubicaciones de los huevos.

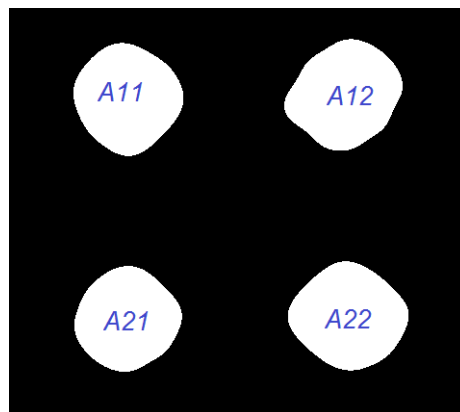


Figura 3.19 Ubicación de patrones

Al generar la ubicación de patrones con la nueva estructura modificada se debe tomar en cuenta que para cada patrón genera un valor de radio y una respuesta con respecto a la escala de 0 a 255, al aplicar dicha operación se tiene una respuesta general para únicamente operar 4 huevos, esto en base a la cámara ovoscópica que se utilizó. En la Figura 3.20 se observa cada una de las localidades, éstas localidades están bajo el patrón que se modificó a partir del filtro

FFT, cada uno genera una respuesta de salida con respecto a los valores de la ubicación de la morfología.

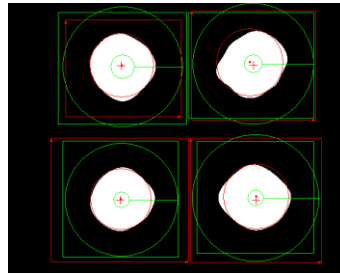


Figura 3.20 Patrones operados

Así mismo, la frontera que se genera tiene las variantes que el usuario ingrese, en la imagen 3.21 (a) se especifica cómo se realiza esta operación, el tipo de frontera depende de las dimensiones del espacio del huevo, para ello se crea un rango con respecto a la dimensión de dicho huevo.

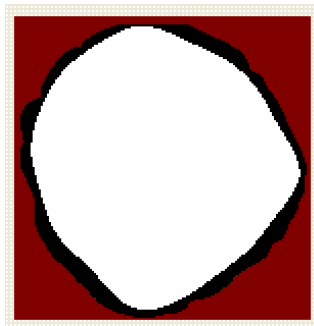


Figura 3.21 (a) Frontera de la imagen

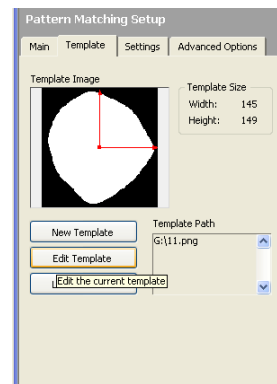


Figura 3.21 (b) Ubicación a partir del centro

La figura 3.21 (a) muestra la frontera de la imagen basada en un contorno establecido, la zona en rojo nos dice que a partir de dicha frontera la superficie es eliminada, la región de interés es la selección de dicha zona. Una vez ubicada la región se genera un punto central, este punto está dado con un tamaño específico del huevo. Debemos contemplar que la zona de interés es la morfología aplicada al huevo con y sin embrión. La Figura 3.21 (b) delimita la zona de interés de adentro hacia afuera, esto se puede modificar alterando el pulsor del centro de las coordenadas establecidas.

### 3.8 Programa desarrollado en Labview *Vision and Motion*®

El software desarrollado consta de etapas para el ajuste de cada comando, antes de ello se debe habilitar la cámara web y las características del controlador; esto sirve para trabajar en base a un estado actual.

Características de la cámara:

- **Ubicación de la cámara: cam1**
- **Tipo y tamaño de imagen: 640X480 RGBU32 30fps**
- **Tipo de tomas: Adquisición continua**

El software se muestra en el apéndice C de manera general, a grandes rasgos: se encuentra en un ciclo “while loop” este ciclo permite arrancar y detener el programa cuando el usuario lo desee. Dentro de este ciclo otro “while loop” encierra la adquisición de la cámara, después de ello se tiene la parte de aplicación de comandos: una vez encontrada la cámara se aplica el orden de comandos y después de ellos se encuentran las salidas para la detección de elementos. Para la detección de elementos se utiliza un ciclo “for loop”; una vez aplicados los comandos se procede hacer la detección de elementos; el “for loop” trabaja en un tiempo base de 10,000 milisegundos.

### 3.8.1 Detalles de programa

La primer parte del desarrollo es necesario crear un ciclo “while loop” para englobar todos los elementos con los que se trabaja, la primer parte consta de la adquisición de la cámara.

Esta adquisición trabaja de manera directa, guardando un estado de la cámara web USB; en este caso lo guarda como *cam1*, en la figura 3.22 muestra instrumento virtual para dicha adquisición.

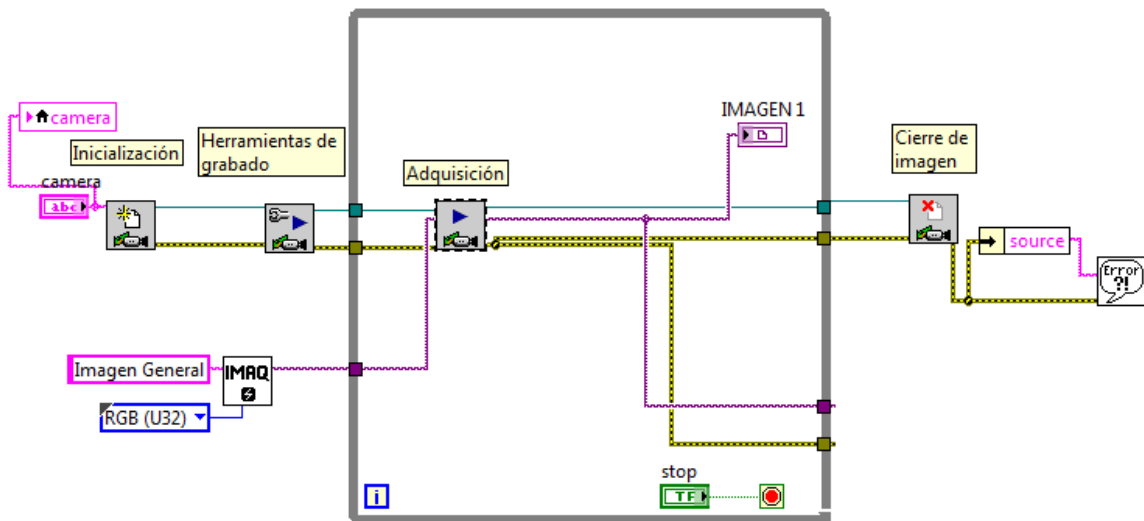


Figura 3.22 Instrumento virtual para detección de cámara

El proceso de detección de cámara consta de elementos que por defecto ubican cualquier tipo de cámara instalada en el sistema. El elemento **IMAQ** es quien se encarga de crear la imagen.

Los enlaces en color: morado, se encargar de hacer una conexión tipo “imagen”  
 Los enlaces en color: azul agua, indican conexión tipo cámara  
 Los encales en color: azul, se encargar de generar valores constantes  
 Los encales en color: roza, son valores de tipo escritura

La descripción de cada elemento conforma la adquisición de la imagen, como respuesta a este VI (Instrumento virtual), se genera una imagen como se muestra en la figura 3.23.

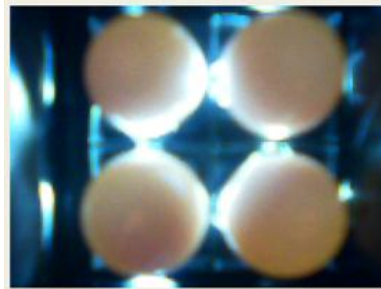


Figura 3.23 Panel frontal de adquisición de imagen 1 (Figura 3.22)

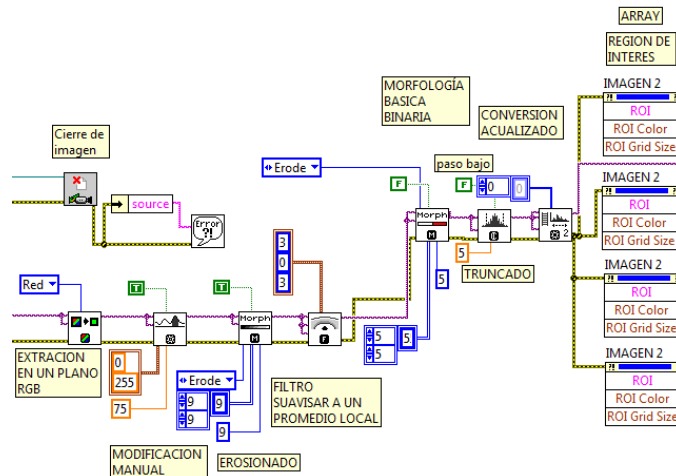


Figura 3.24 Aplicación de comandos

Una vez adquirida la imagen se procede a la aplicación de comandos (figura 3.24), este ajuste para cada uno de ellos; es el mismo que se genere en *vision assintant* (*asistente de visión*).

**Extracción de plano RGB.** Para esta extracción se crea una constante donde configura a trabajar en el plano rojo (RED PLANE)

**Detección de umbral.** La detección de umbral consta de valores modificados estos valores se encuentran entre el rango 0 – 255 y está aplicado en un umbral de 75 unidades por pixel detectando las zonas en negro y color rojo. El valor

booleano constante mostrado en color verde; proporciona un valor de verdadero y falso: si es verdadero el valor se activa y si es falso es desactivado.

**Morfología.** La morfología (morph), genera un erosionado con un tamaño de 9X9.

**Filtro.** El filtro se encarga de realizar operaciones de atenuación en base a un promedio local.

**Truncado.** El elemento trucado se encarga de limpiar los contornos a un valor de 5%.

**Lookup table.** Conversión de datos binarios a escala de grises 0 a 255.

**RIO.** Regiones de interés.

La imagen de salida se visualiza en el panel de control como imagen 2 (IMAGEN GENERAL), esta imagen tiene todos los comandos aplicados ya mencionados (figura 3.25 a).

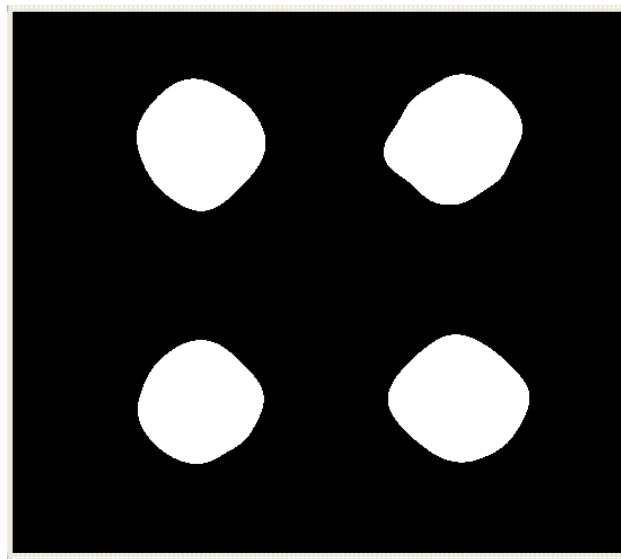


Figura 3.25 (a) Imagen de salida general.



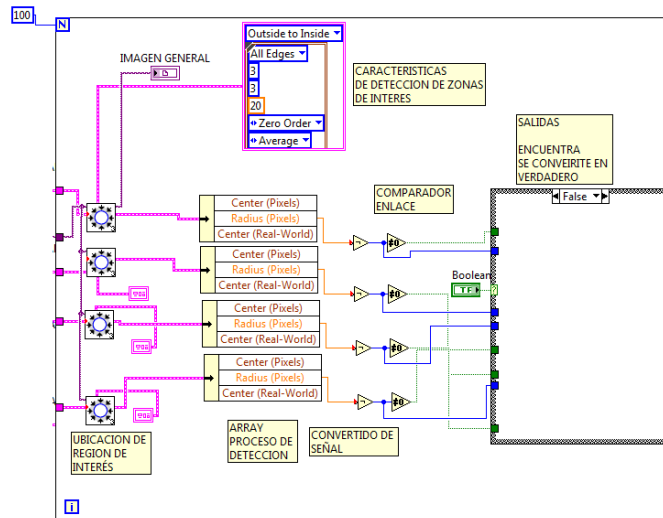


Figura 3.25 (b) Ubicación de zonas de interés

El siguiente proceso consta de elementos de detección (zonas de interés). A partir de una región de interés se seleccionan los elementos que pasan a ser procesados (figura 3.25 b).

**Find circular (encontrar/operar círculos).** Elementos circulares generados a partir de regiones de interés (RIO).

**Características de find circular.** Las características están con base en cierto número de características correspondientes a las zonas.

**Array (Conversión de datos).** Una vez ubicadas las zonas se genera el procesamiento de datos, en este caso booleanos y constantes.

**Convertidor de señal (puerta not).** La señal ubicada invierte los valores de manera que si detecta una región en blanco manda a los datos booleanos de salida un 0 y si no detecta alguna región tiene una salida de 1.

**Comparador (diferente de cero).** Este comparador permite realizar la comunicación con RS Logix5000 por medio de RSLinx.

Este análisis cuenta con un tiempo base en milisegundos para no perturbar las señales de salida. La imagen de salida se ve modificada bajo la configuración de zonas de interés, la figura 3.26 (a) muestra la ubicación.

La figura 3.26 (b) señala los elementos de salida y cómo es que opera para realizar una tarea. En este caso únicamente genera una constante (0 y 1) y un valor booleano (encendido y apagado).

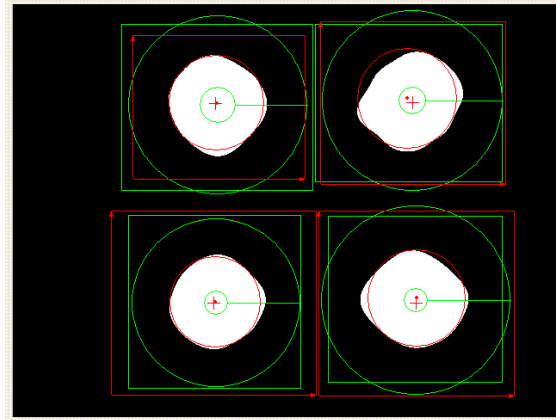


Figura 3.26 (a) Detección de zonas de interés. Panel general.

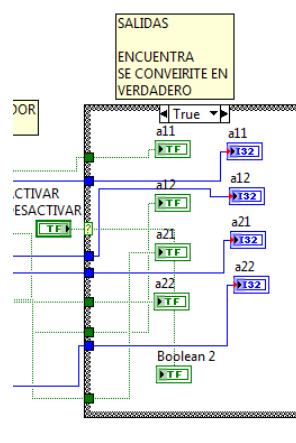


Figura 3.26 (b) Salidas

Las salidas se encuentran encerradas en una estructura de “caso”. Esto para bloquear el programa cada vez que se cambien de huevos.

### Estructura (verdadero/falso)

**Verdadero.** Salidas de activación

**Falso.** El programa no ubica ningún tipo de zona. Ver figura 3.26 (b).

**A11.** Huevo en la posición a11.

**A12.** Huevo en la posición a12.

**A21.** Huevo en la posición a21.

**A22.** Huevo en la posición a22.

Cada una de las salidas es previamente comunicada por medio de un controlador virtual a las entradas físicas del sistema.

### 3.9 Comunicación general

La comunicación realiza el proceso de enlazar todos los elementos de programa de manera continua. *El tipo de comunicación utilizada es ETHERNET por medio de protocolo TCP/IP (Protocolo industrial) y por vía cable UTP (Par Trenzado no Blindado) tipo cruzado con conectores RJ45 normalizado a 568A EIA (Instituto de Normalización Americana)*, esta comunicación es seleccionada por su velocidad de transmisión de datos, versatilidad y utilidad. La comunicación está sujeta a ubicar los programas utilizados: rslogix5000, labview, rslinx, BOOTP/DHCP y las salidas físicas del PAC [5].

Estas operaciones son enlazadas a un PAC (Controlador Automata Programable) tipo CompactLogix1769-L32E de la familia Rockwell Automation. Para empezar a comunicar dichos elementos es necesario configurar las IP'S de la computadora y del PAC.

El PAC cuenta con 4 módulos: 2 de salidas digitales y 2 de entradas digitales con una extensión en 30 entradas y 30 salidas.

- Configuración IP.

La PC cuenta con una ubicación de red; esta ubicación de red depende del tipo, en este caso INTERNET, para ello es necesario establecer una IP que tiene la terminal **192.168.X.X** la IP es un protocolo de tipo industrial lo que la define como "ETHERNET". La figura 3.27 muestra la configuración de la IP.

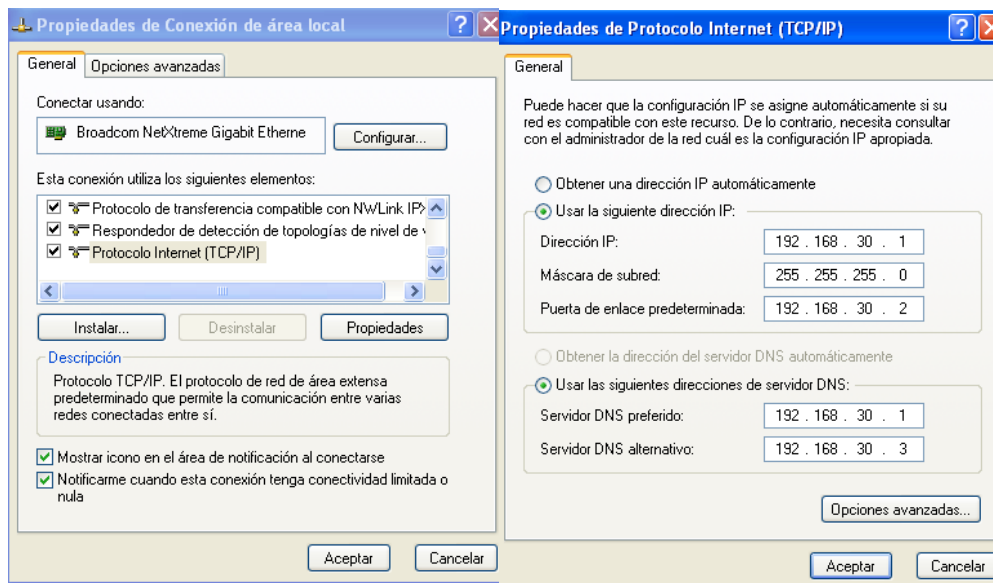


Figura 3.27 Configuración de IP

La dirección IP es una ubicación de la PC (Computadora personal) que permite enlazar cualquier equipo; esta dirección tiene las características ya mencionadas **192.168.30.1**, la máscara de subred es la IP que permita hacer un espacio de red para enlazar todos los elementos necesarios, esta máscara de subred tiene la dirección **255.255.255.0**, la puerta de enlace predeterminada es una IP alterna, la cual permite agregar cualquier otro equipo externo en base a la computadora.

Estas tres direcciones son las más importantes para realizar la comunicación entre equipos, con ellas se intercambian datos de cualquier tipo: binarios, flotantes y analógicos.

Rslinx es un software de la familia Rockwell Automation que sirve para vincular equipos físicos por medio de una dirección IP, lo siguiente es la configuración de RSLINX. Este programa genera el tipo de comunicación, en este caso: EtherNet/IP Driver, utilizando una comunicación de tipo Ethernet que en consecuente la explicación anterior. La figura 3.28 muestra la configuración de dicha comunicación.

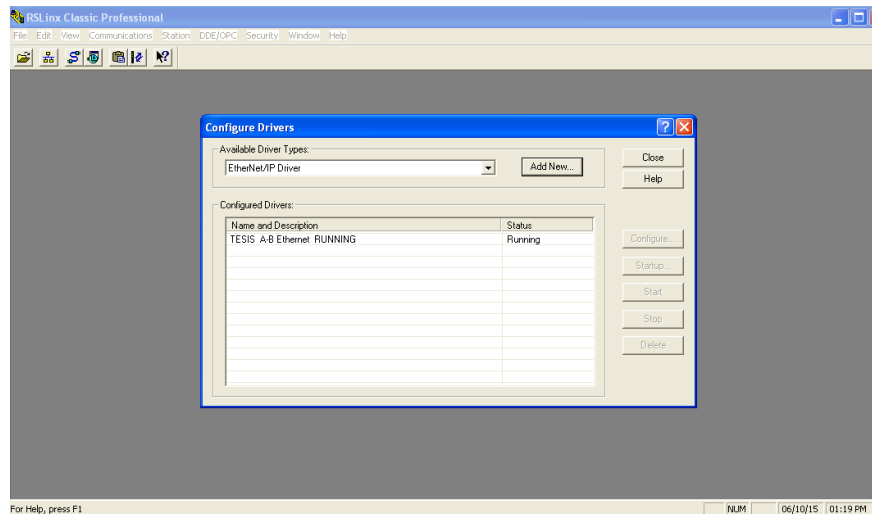


Figura 3.28 Descripción de la configuración de comunicación EtherNet/IP Driver

Una vez configurado el tipo de comunicación, se inserta la dirección del equipo a utilizar; para ello, se ejecuta el software BOOTP/DHCP. Este software permite agregar cualquier equipo externo en base a las características del programa.

Para agregar la IP es necesario crear la máscara de subred que como ya se mencionó tiene la característica: **255.255.255.0** una vez ingresada, el software permitirá generar una IP para el PAC.

La figura siguiente 3.29 muestra la IP a partir de la ubicación del elemento externo, este elemento externo: PAC, genera una dirección de tipo MAC (*Control de*

*Acceso Medio*) que por default es una dirección de fábrica distribuidora, esta dirección tiene la característica: **00:00:BC:22.53.99**, que es generada automáticamente una vez ingresada la máscara de subred.

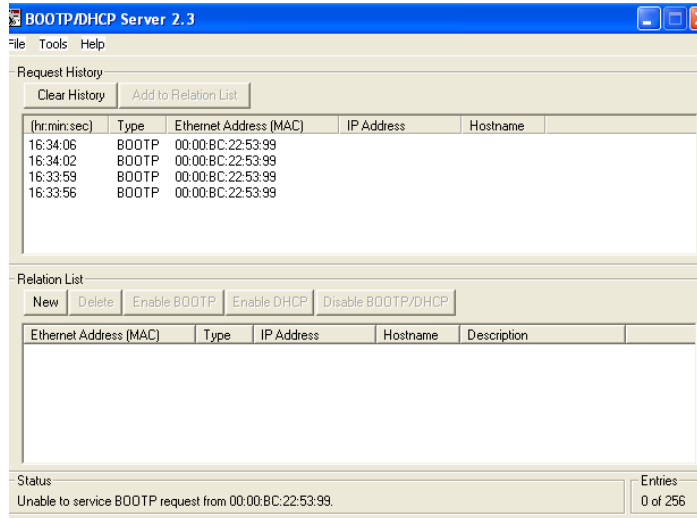


Figura 3.29 Ubicación de la IP de PAC

Se ingresa una dirección de tipo “enlace” al PAC, la dirección generada en la figura 3.29 es únicamente de control sin vinculación.

Para crear la vinculación se ingresa una IP con la característica: **192.168.X.X**, en este caso ubica una dirección diferente a la PC para crear un espacio de memoria; entonces, se ingresa la IP del PAC que tiene la característica: **192.168.30.3**.

Una vez hecho esto se obtiene el enlace de un elemento externo “Controlador Automata Programable”. Se puede visualizar en el programa RSLINX dentro del apartado de RSWHO.

- Configuración de módulos del PAC.

El PAC utilizado cuenta con 4 módulos: 2 de entrada digital y 2 de salida digital con 30 entradas y 30 salidas correspondientes. Para realizar esto, se ejecuta el programa RSLOGIX5000; (Cuando agregamos la dirección del PAC no se agregan los módulos es por ello que hacemos esta operación), procedemos a iniciar el programa RSLOGIX5000 y como primer paso se agrega al equipo con el que se trabaja; en la imagen 3.30 se muestra el anexo de equipo externo en este caso con la característica: 1769 L32E QB1 ETHERNET, una vez seleccionado esto se observara el apartado del lado izquierdo, en el programa se despliega un árbol en el cual se complementa módulo por módulo. La figura 3.31 muestra los anexos realizados de los 4 módulos ya mencionados.

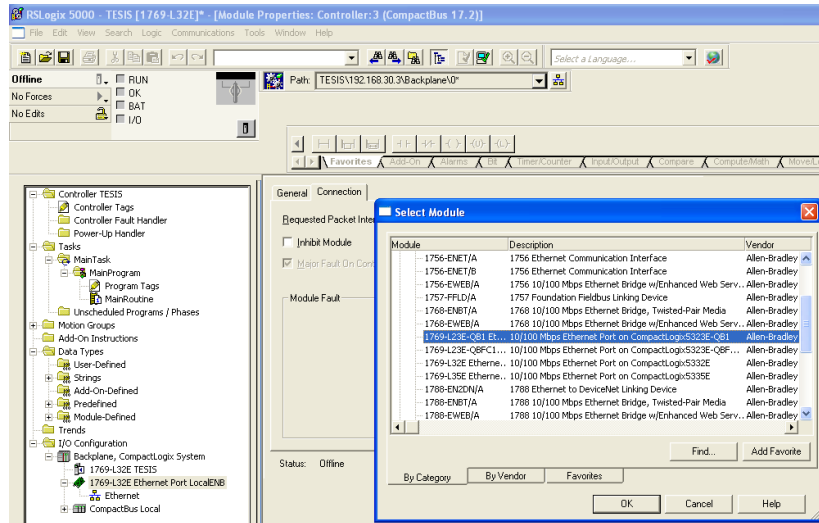


Figura 3.30 Selección del equipo externo (PAC) CompactLogix1769 – L32E-QB1

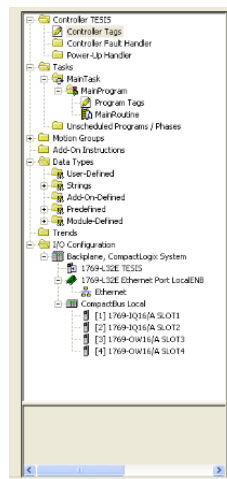


Figura 3.31 Agregado de módulos externos del PAC CompactLogix

Los módulos son agregados con las especificaciones del fabricante, que se ubican en la parte externa de los módulos (físicos). Con estas especificaciones damos clic derecho sobre el apartado de CompactBus Local y se agregan con respecto a las direcciones:

[1] 1769-IQ16/A **SLOT1**

[2] 1769-IQ16/A **SLOT2**

[3] 1769-OW16/A **SLOT3**

[4] 1769-OW16/A **SLOT4**

Anexados los módulos en RSLOGIX5000 se confirma que en efecto, es comunicado con el PAC; se ejecuta el programa RSLINX, dentro del apartado de RSWHO, en automático se despliega un árbol del lado izquierdo con cada uno de los módulos agregados, esto se observa en la figura 3.32, si los módulos están bien configurados aparece dicha dirección y confirma la comunicación.

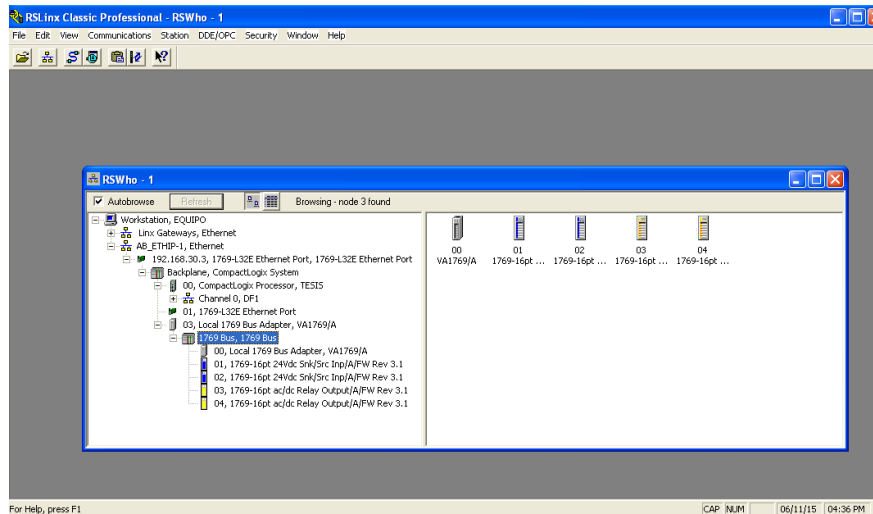


Figura 3.32 Confirmación de módulos en RSLINX por medio de RS Who

### - Tópico.

Configurada la comunicación con los elementos externos, se crea un tópico. Este tópico es útil para generar un enlace por medio de ubicaciones en un espacio de memoria con RSLOGIX5000 y LabView. Para realizar esta operación; en la misma ventana de RSLINX dentro del apartado de DDE/OCF TOPIC CONFIGURATION, la configuración del tópico es de tipo OPC SERVER (Servidor de Control de Proceso), cumple con las características de ser un driver para una comunicación interna entre entradas y salidas. La figura 3.33 muestra las características de este Tópico que como tal se crea con un nombre específico y se carga al PAC.

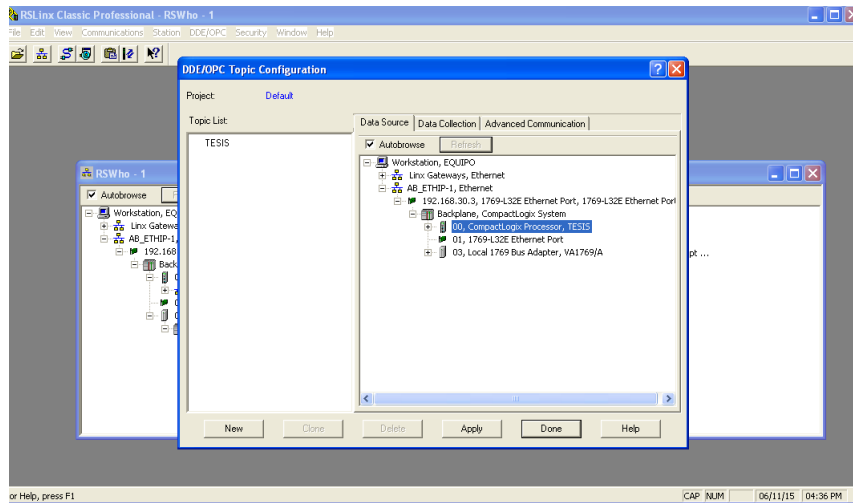


Figura 3.33 Creación del Tópico por medio de RSWho

Creado el t3pico, se dan de alta los espacios de memoria generados a partir del programa en escalera (ANEXO APENDICE A), estos espacios de memoria son de tipo binario (bit) y tienen la caracter3stica de ubicar el mismo espacio de memoria tanto para los contactos como para las salidas booleanas generadas en Labview®. La figura 3.34 muestra la configuraci3n de estos elementos de memoria a partir de las salidas de LabView. Cuando los valores del programa en Labview cambien de 0 a 1 realicen el mismo cambio de 0 a 1 en LABVIEW Y RSLOGIX5000. Para crear dicho enlace se ejecuta el software creado en LabView, damos clic derecho en las salidas booleanas (led's) y vamos al apartado de propiedades, crea una ventana como la que se muestra en la figura 3.34. Para configurar dicha comunicaci3n direccionamos el apartado de DATA BINDING seleccionado DATASOCKET, en Access Type READ/WRITE y en el apartado de BROWSE selecciona SELECT URL que despliega otra pantalla.

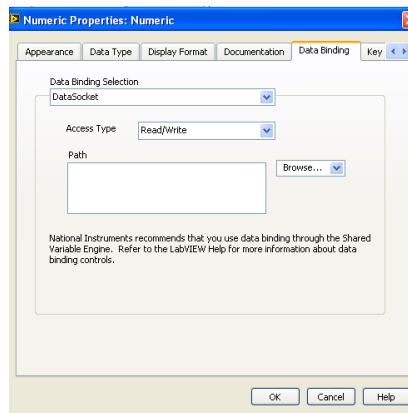


Figura 3.34 Selecci3n del OPC para la comunicaci3n entre elementos en espacio de memoria



La figura 3.35 muestra el despliegue de la ventana al selección SELECT URL, esta ventana tiene las características a partir de la creación del tópico en RSLINX y por consecuente el tipo de comunicación, esta utilidad crea la vinculación con los elementos booleanos (numéricos) para enlazar las salidas especificadas que se convierten en entradas dentro del programa en escalera (RSLOGIX5000). A partir de una entrada (analógica) convertida en digital en LabView a una salida digital de tipo booleano convertida a numérica e interpretada en la programación en escalera como entradas para actuar sobre un programa y tener salidas digitales FISICAS.

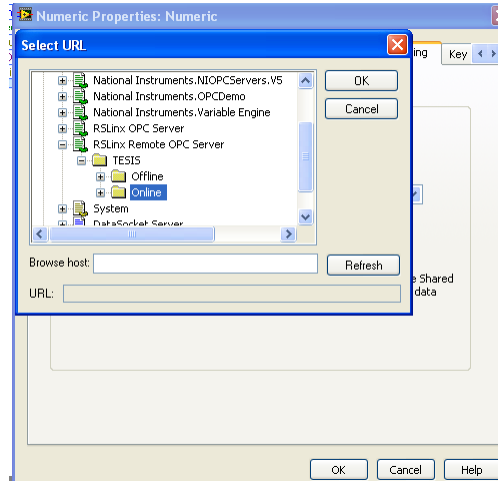


Figura 3.35 Ubicación de los estados de memoria a partir de tópico por medio de OPC Server

Para generar la vinculación con ambos programas es necesario crear un espacio de memoria en RSLOGIX5000; se vinculan y se habilitan ambas comunicaciones. El programa RSLOGIX5000 tiene la facilidad de crear únicamente los elementos que se utilizan para el proceso; espacios de memoria llamados TAGS, estos tags constan de todos los elementos útiles para la programación en escalera. Ubicados en el árbol desplegado de lado izquierdo en RSLOGIX5000 y selecciona la opción de CONTROLLER TAGS. En este apartado se crean dichos espacios de memoria, la figura 3.36 muestra todos los apartados agregados para el programa en escalera.

Los 4 indicadores ubicados en la figura 3.36 muestran los espacios de memoria para crear la vinculación. Trabajando en el análisis de 4 huevos; se crean 4 salidas booleanas y numéricas en Labview® y 4 entradas en la programación en escalera de tipo binarias (bit's), con estas cuatro ubicaciones se genera el enlace para analizar una respuesta inmediata con un tiempo de arranque (Ver apéndice anexo A de la programación en escalera).

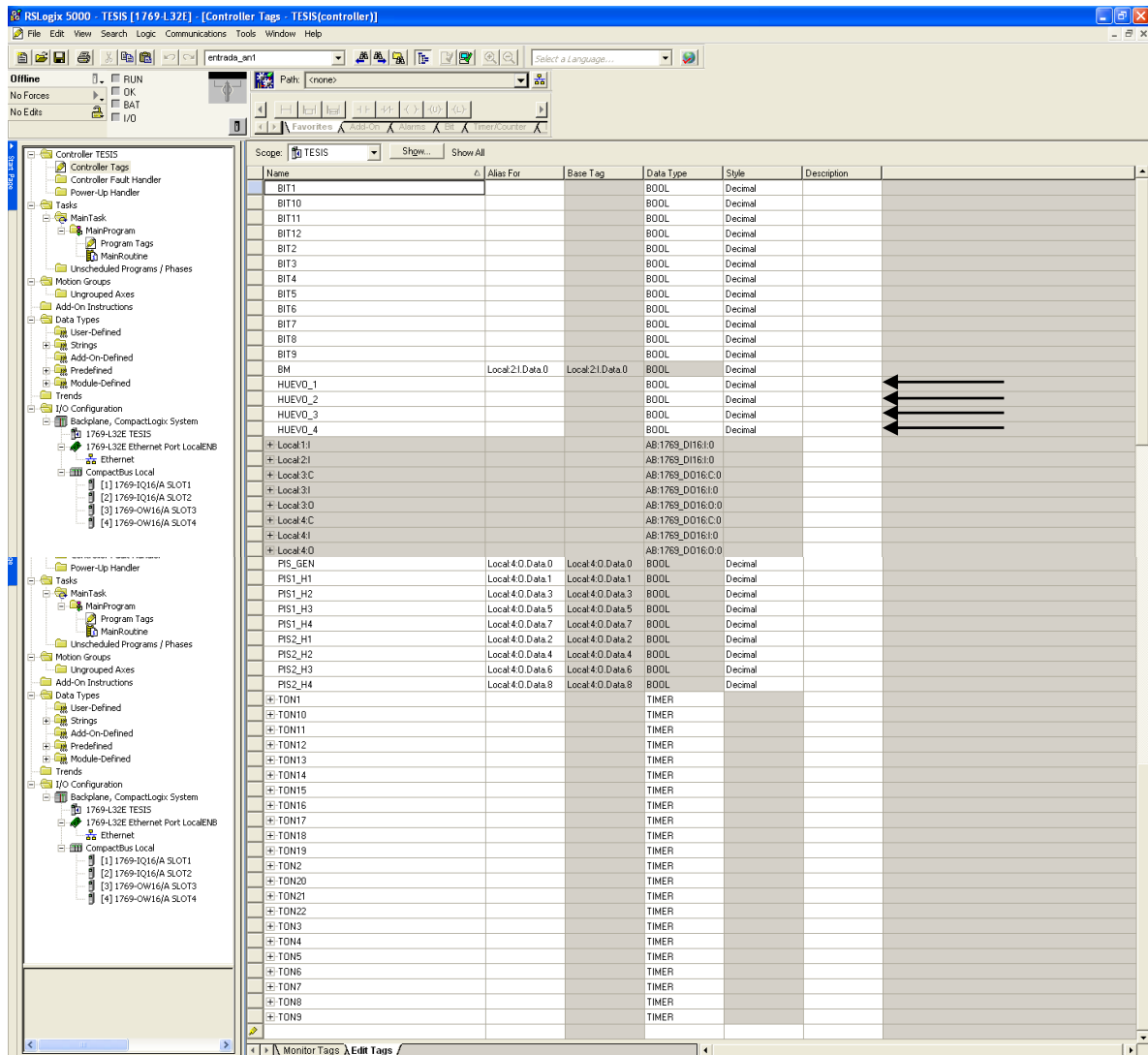


Figura 3.36 Tags generados en RSLOGIX5000

### 3.10 Generación del GRAFCET

#### - ECUACION FASE ESTADO

La ecuación fase estado es analizada a partir de los movimientos que se desean obtener de los pistones, se desarrolla de la siguiente manera debido a que se involucran 3 pistones para la inyección de un huevo.

**A+** representa la activación del pistón general

**B+** representa la activación del pistón secundario

**C+** representa la activación del pistón que deposita la vacuna

**C-** representa el retorno o desactivación del pistón que deposita la vacuna

**B-** representa el retorno o desactivación del pistón secundario

**A-** representa el retorno o desactivación del pistón general

De esta manera obtenemos la siguiente ecuación de fase-estado.

$$|A+|B+|C+|C-|B-|A-|$$

- DIAGRAMA FASE ESTADO

Este diagrama (figura 3.37) demuestra el momento de activación y retorno de los pistones inmersos en la vacunación, de los cuales se obtienen las 6 etapas requeridas para este proceso así como las condiciones que se deben tomar en cuenta para el desarrollo del programa en escalera que permitirá que el proceso se efectúe automáticamente.

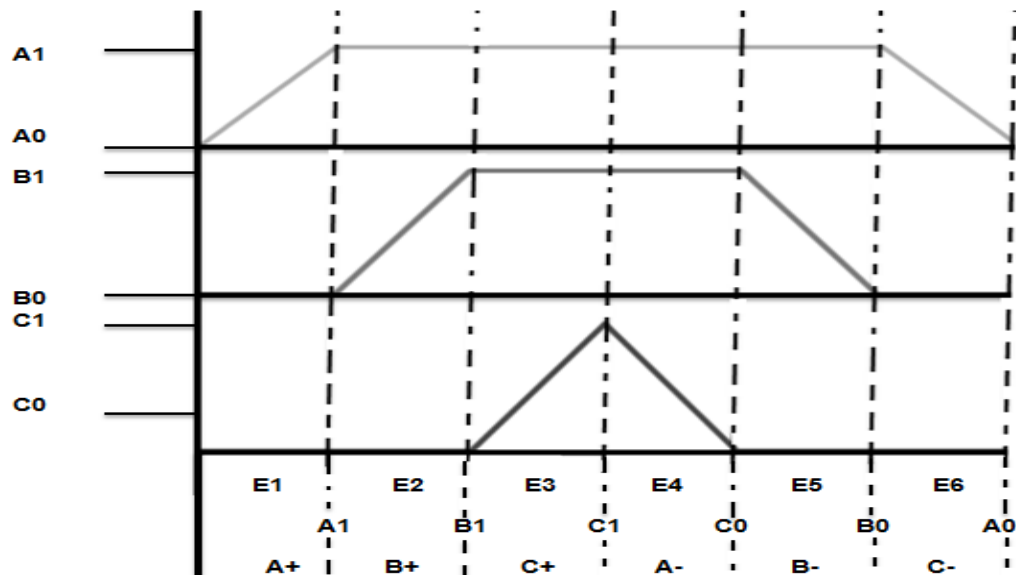


Figura 3.37 Diagrama Fase-Estado

- ETAPAS DEL GRAFCET

El grafcet (figura 3.38) representa de manera simplificada los datos obtenidos del diagrama fase estado. En este se visualiza de manera ordenada la activación de las etapas, quienes a su vez activan el movimiento de los pistones, también se visualizan las condiciones de activación para el cambio de etapa.

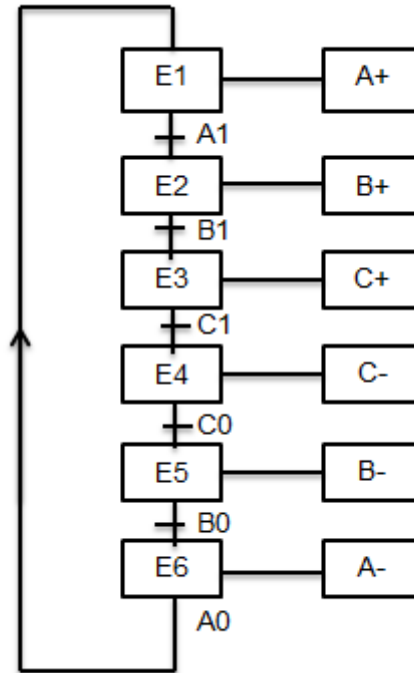


Figura 3.38 GRAFCET

Con base a este grafcet se desarrolla el programa en escalera necesario para poder enlazar al PLC MicroLogix1100 utilizando RSLogix500 (ver apéndice anexo B), de esta manera se comprueba la efectividad del software desarrollado. Sin embargo esta comunicación no se realizó ya que la computadora del laboratorio requiere un driver para poder crear la comunicación hacia Festo Fluid Sim. Es por esto que se decidió utilizar el PAC L32E en conjunto con el tablero de entradas y salidas del mismo.

# CAPÍTULO IV

---

## COSTOS, PRUEBAS Y RESULTADOS

El desarrollo de un proyecto nos lleva a hacer una serie de pruebas en las que podremos obtener resultados positivos o negativos, sin embargo estos últimos nos van guiando para mejorar poco a poco aquellas fallas que impiden obtener los resultados esperados. En el capítulo 4 se mencionan algunas de las pruebas y errores que se obtuvieron durante el desarrollo del software de vision, la comunicación y la programación del PAC, además se estiman los gastos generales útiles para el diseño de la ingeniería y se generan algunas recomendaciones para mejorar la calidad de respuesta del software de vision.

### 4.1 Pruebas iniciales

Para haber generado los resultados, previamente se realizó un análisis con patrones dibujados en una hoja blanca, esta hoja contenía 4 círculos dibujados formando un cuadrado simulando 4 huevos. Los círculos dibujados están a la misma distancia que la charola utilizada. Además de una cámara web de baja resolución tipo **GL**. La imagen 4.1 muestra la toma de la primera figura configurada con la cámara de baja resolución y los patrones dibujados.

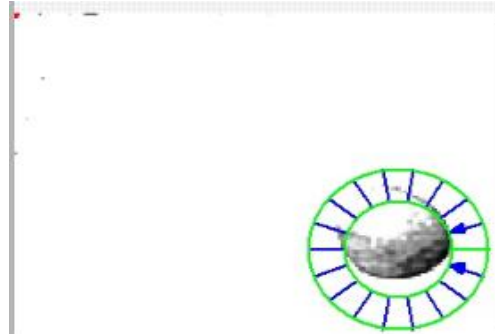


Figura 4.1 Muestra 1 Generando un umbral básico

La imagen 4.1 demuestra las primeras perturbaciones generadas por la iluminación externa. La iluminación externa se involucró de tal manera que no permitía ubicar ninguna región de interés en base a los patrones dibujados, la inestabilidad de la cámara no dejaba tener una imagen constante, esta perturbación se alteraba por el movimiento externo de la cámara. Cada toma se almacenó como imagen para tener una base de dichas perturbaciones.

Generado el software base de detección de elementos se observaron algunos errores causados por los siguientes factores:

- Iluminación exterior
- Inestabilidad de la cámara
- Baja resolución de la cámara
- Umbrales generados sin margen de error
- Fallas en la comunicación
- Fallas en los drivers de comunicación

### 4.2 Pruebas reales

Para eliminar los problemas anteriormente descritos en las primeras pruebas se armó una cámara ovoscópica. Esta cámara ovoscópica consta de cuatro paredes de madera pintadas de negro en sus caras interiores, con lo cual se eliminó el problema de la iluminación exterior, en una de sus caras internas se empotro una

cámara web de alta resolución con lo que se resolvieron los problemas de inestabilidad y baja resolución de la cámara web, además, la cámara cuenta con un compartimiento en donde se introduce la charola con los huevos que serán analizados este compartimiento se cubre con una tapa para evitar la entrada de luz exterior. En su interior en la parte inferior, se encuentra un circuito realizado con tiras de leds que se conecta a una fuente de alimentación de 12 VCD cubierto por una charola de madera con cuatro orificios que permiten el paso de la luz hacia el huevo, todo lo anterior fue hecho con la finalidad de recrear el proceso ovoscopico, en la figura 4.2 se observa su composición.

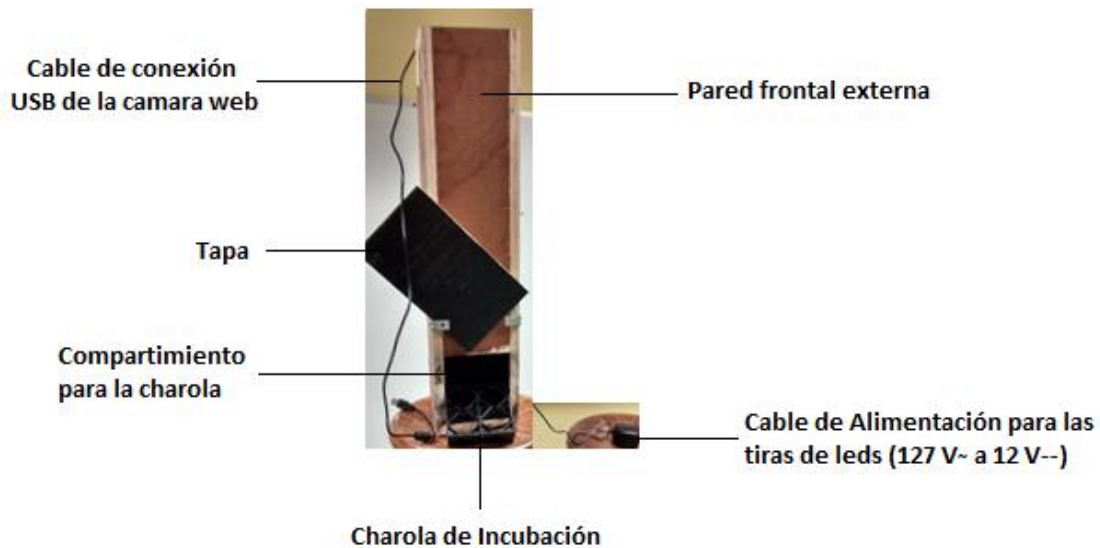


Figura 4.2 Cámara ovoscópica y sus componentes

Después de dar solución a algunos de los problemas identificados con anterioridad, se presentó un nuevo problema, la tonalidad del cascaron de los huevos producía diferentes intensidades de iluminación al aplicar la ovoscopia, por esto fue necesario añadir filtros y modificar las condiciones de vision adquisición y asistente de visión como resolución de la cámara y morfologías para delimitar zonas y tomar en cuenta las diferentes tonalidades de los cascarones de los huevos.

### 4.3 Detalles de la comunicación

Una vez que se obtuvieron los patrones de referencia en Labview se generaron pulsos de salida para enviarlos a entradas asignadas en RS Logix 500 por medio de puertos de comunicación Ethernet, lo que hizo necesario el uso del programa RS Linx.

RS Linx brinda la oportunidad de crear tópicos utilizados para poder comunicar programas externos con los programas de la familia de Rockwell, de esta manera, la comunicación de Labview con Logix 500 fue efectuada.

Para esto se utilizó un PLC Micrologix 1100, las salidas se generaron correctamente sin embargo, las salidas no eran suficientes para generar una secuencia de tres pistones, se podrían agregar módulos externos pero por falta de presupuesto se excluyó esa opción.

En este proceso se involucró el programa hecho en RS Logix 500 para así generar una simulación en Festo Fluidsim, pero nos encontramos con un problema más; Festo Fluidsim requería trabajar con un driver de fábrica. El driver de fábrica útil para realizar la comunicación no era compatible con la máquina por tanto no se pudo hacer la comunicación, por esta razón se decidió cambiar a un PAC y así vincular las salidas a los módulos. Es necesario mencionar que esto fue únicamente demostrativo.

Debido a los problemas antes mencionado, la decisión de trabajar con un PAC también hacia necesario el cambio de elección de un desarrollador para la programación en escalera puesto que el PAC L32E no es compatible con la paquetería de RS Logix 500, es por esto que al final se decidió hacer dicha programación con el programa RS Logix 5000. Otro inconveniente surgió al tomar en cuenta la programación en escalera con RS Logix 5000, pues se desconocía la programación en este nuevo desarrollador y de igual manera se desconocía los pasos para obtener la comunicación con Labview.

Efectuando una serie de investigaciones y pruebas de programación y enlace en RS Logix 5000 se consideró que la programación se hace de manera distinta al inicio, pues se deben de dar de alta los elementos a utilizar en el programa en escalera asignándoles un nombre y un tipo de dato, mientras que la comunicación era similar a lo hecho anteriormente con RS Logix 500, con base en estas investigaciones la programación se pudo desarrollar y la comunicación pudo ser establecida.

#### **4.4 Análisis de resultados**

Las imágenes que requieran ser tomadas tienen la condición de generarlas en tiempo real para así obtener una respuesta inmediata; para ello se utiliza una cámara web de alta resolución, el procesador del programa desarrollado tiene la capacidad de modificar los pixeles, el tipo de toma, la ubicación de una región específica y el número de tomas. Para ello el desarrollo de VI (instrumento virtual)



utilizado para dicha selección se utiliza bajo un rango de utilidad cómoda para trabajar. El VI ayuda a tener una primera toma de entrada ubicada en un panel frontal. Este VI se llama *adquisición de imagen*, las especificaciones vienen dadas con la conectividad de la PC.

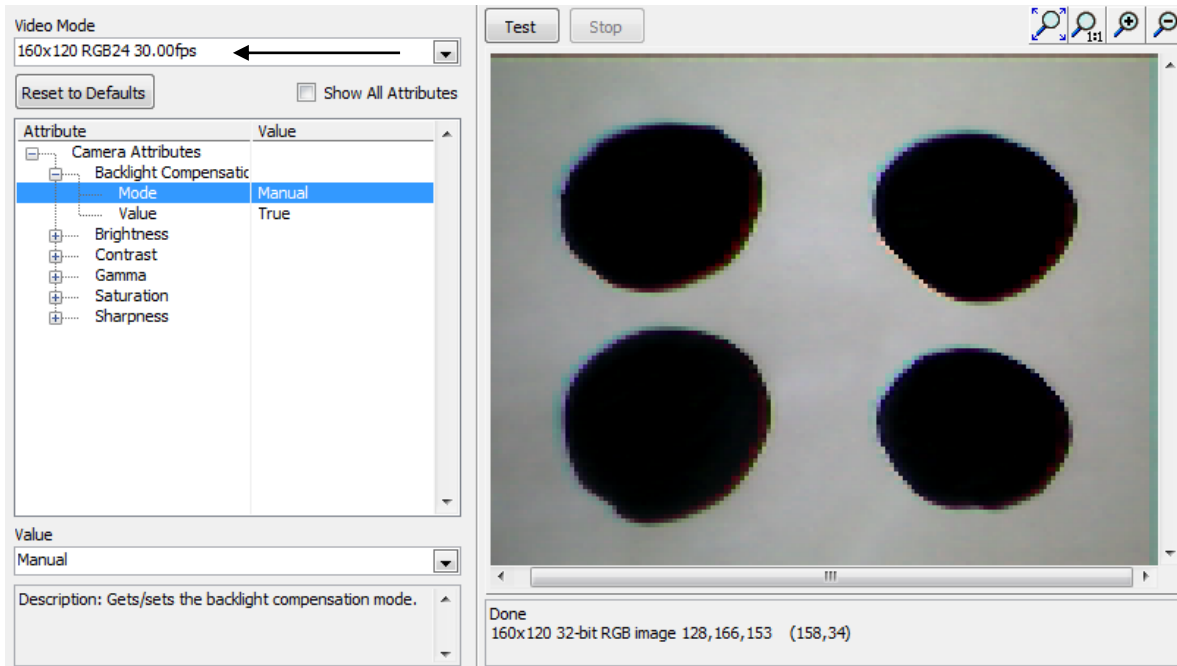
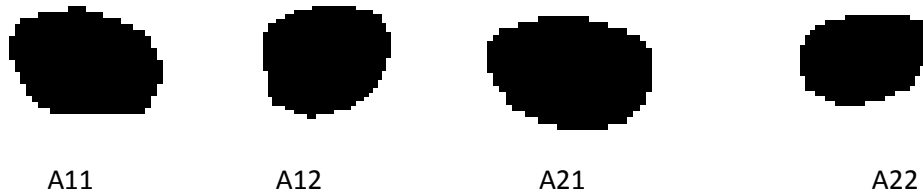


Figura 4.3 Selección del tipo de imagen

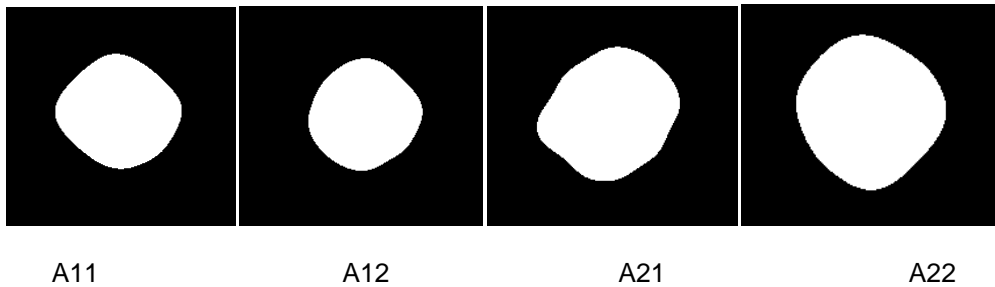
Para generar esta primer imagen 4.3, se toma en cuenta un nivel medio de iluminación para que no existan perturbaciones del ambiente y para ello se ocupa un patrón de imagen dibujada en 10cmX10cm de una hoja blanca con 4 círculos oscuros; esto se ve interpretado como **160x120 RGB24 30.00 fps**: escala de 160x120 pixeles de tipo RGB (rojo, verde y azul) en la escala básica de color a 30.00 fotogramas por segundo. La imagen de prueba son únicamente cuatro círculos dibujados en tonalidad de negro (cero absoluto) simulando los huevos con embrión, la elección de estas condiciones permite que el programa tenga una mayor eficiencia y un margen de error nulo. El procesamiento de imágenes se ve interpretado bajo un ciclo *while loop* el cual nos da el compilado del programa bajo el tiempo que el usuario requiera y pueda detenerlo cuando este lo desee.

Como ya se mencionó, el uso de esta resolución aumenta la calidad de la imagen a procesar para no afectar al programa con márgenes de error, dado que; se necesita procesar únicamente zonas de interés en este caso un número pequeño de pixeles dentro de la zona oscura, la iluminación del exterior es la única que debemos mantener constante y sin perturbaciones del exterior.

La figura 4.4 hace un comparativo de las figuras dibujadas en la hoja de papel con baja resolución y las tomas hechas con huevos infértiles dentro de la cámara ovoscópica y la cámara web de alta resolución.



Patrones generados en hoja de papel con cámara de baja resolución con perturbaciones del exterior.

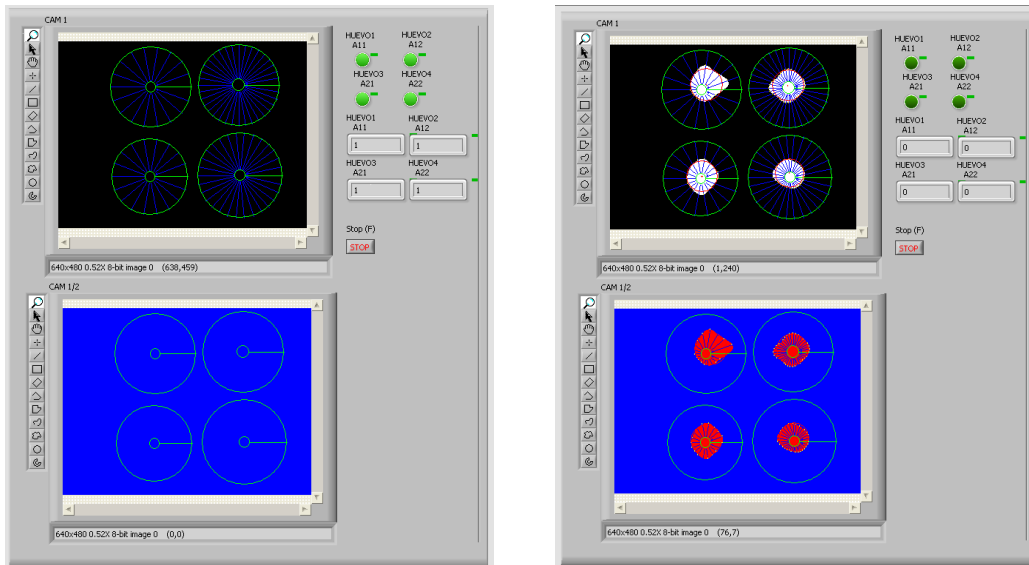


Patrones generados a partir de huevos infértiles con cámara de alta resolución sin perturbaciones del exterior

Figura 4.4 Comparativo de las pruebas iniciales y las pruebas finales

Los resultados anteriores se muestran en una interface gráfica: humano – máquina, que se procesa a partir de las operaciones mencionadas, esta interface permite visualizar los esquemas que están en operación. La figura 4.5 a y 4.5 b hacen una comparación de la detección de elementos (huevos) que contienen y carecen de embrión.

Por su claridad, los huevos sin embrión son detectados con ayuda de la sección de ubicacion de circulos, es por esto que los huevos infértiles envian una señal a la salida, se adiciona un operador inversor con la finalidad de transmitir una señal inversa a la que este recibe, de esta manera los huevos fértiles activan una luz indicadora en la HMI, contrario a la accion que emitiran los huevos infertiles. En la figuras 4.5 (a) y 4.5 (b) se puede apreciar visualmente lo antes mencionado.



(a) Interface hombre – máquina, resaltando los elementos detectados que deben inyectarse.

(b) Interface hombre – máquina, resaltando los elementos detectados que no deben inyectar.

Figura 4.5 Interface Humano-Maquina (HMI)

#### 4.5 Recomendaciones

A continuación se describen algunas recomendaciones de uso para la máquina de inyección In Ovo y se sugieren algunas condiciones ambientales en la planta de incubación para obtener mejores resultados a beneficio del productor.

1. En este proyecto se utilizó una cámara ovoscópica para la aplicación del software, sin embargo la vacunación no se realiza dentro de una cámara similar a esta, es por esto que el proceso de vacunación debe desarrollarse en un ambiente oscuro pues el software de vision requiere de la ausencia de iluminación exterior para poder interpretar de manera precisa las imágenes con las que opera, en las plantas de incubación existen cuartos oscuros contruidos para llevar a cabo la ovoscopia manual, estos cuartos pueden ser una opción para aplicar la vacunación In Ovo propuesta.
2. Para obtener resultados más exactos se recomienda que la vacunación se realice a los 18 días de edad del huevo, ya que en este periodo el embrión se ha desarrollado casi por completo, lo que permitirá que el software ejecute un mejor reconocimiento de los huevos con embrión y los huevos sin embrión.

3. Se recomienda utilizar una fuente de voltaje continuo, ya que la variación de la iluminación puede afectar las lecturas que la cámara registrara.
4. El uso del PAC L32E únicamente fue con la finalidad de llevar a cabo la demostración de la efectividad y el funcionamiento del hardware desarrollado, sin embargo se recomienda utilizar un PLC Micrologix 1100 adicionándole los módulos (Rac's o slots) de salidas digitales necesarios para el programa, pues su costo es menor al de un PAC, al que también se le deben adicionar módulos de entradas y salidas digitales.
5. La cámara web que se propone en este proyecto es de gama media, con ella se obtienen buenos resultados, si se requiere una mayor resolución se puede implementar una cámara web de gama alta que proporcione lecturas más específicas y por tanto resultados aún más confiables.
6. Es importante llevar a cabo el proceso de vacunación en un ambiente no mayor a los 39° C y no menor a los 37° C, ya que, a pesar de que la temperatura no es un factor influyente en la maquina in ovo, se hace mención a esta condición de temperatura para el cuidado del embrión, pues si este se expone a cambios radicales de temperatura puede morir.

#### 4.6 Costos y presupuesto

El presupuesto contempla todas las características útiles para llevar a cabo el diseño de ingeniería, dentro de ello están contemplados: tiempos, licencias y programas, gastos extras, gastos de equipos, diseño de programas.

Para estimar el costo del proyecto de ingeniería debemos partir del estimado de una **máquina de ovoscopia e inyección**, este costo fue valorado por la empresa **CEBA** quien proporcionó esta información.

##### Costo estimado de la maquina

---

|  |                    |
|--|--------------------|
| Máquina de ovoscopia e inyección con<br>máquina de transferencia | \$1.6 millones MXN |
|--|--------------------|

---

Los siguientes costos establecen un estimado del equipo útil para el desarrollo del proyecto.

**Tabla 4.1 Costos estimados de equipos**

| Equipo   | Costo                            |
|--|----------------------------------|
| Software de diseño Labview 2013. Licencia activa <i>NATIONAL INSTRUMENT.</i>   | <b>\$4,000.00 MXN</b>            |
| Complementos Vision and Motion   | <b>LC. \$19,115.00 MXN</b>       |
| Cámara de media resolución tipo: CASPER 10xzoom camera f 1.8 f 4.8 mm-5g   | <b>\$300.00 MXN</b>              |
| RSLogix5000, 500.  | <b>PAQUETERÍA \$3,000.00 MXN</b> |
| RSLinux v2.0   |                                  |
| BOOTP/DHCP<br>FACTORYTALK  | <b>LC. \$11,120.00 MXN</b>       |
| Cable UTP Categoría. 5 NORMALIZADO, conectores RJ45 8 bits   | <b>\$500.00 MXN</b>              |
| Controlador Automata programable PAC 1769L43E Compact Logix  | <b>\$30,000.00 MXN</b>           |
| Interface hombre - máquina (HMI). Allen Bradley 10.4in TFT LCD Touch-Screen Display. Panel view c1000 colour 640X480px.<br>Ethernet rs232 USB RJ45 | <b>\$13,320.00 MXN</b>           |

TOTAL DE EQUIPO: **81,355.00 MXN**

Las características de costos mencionados anteriormente están valoradas a trabajar con un lote de 150 huevos, la tabla 5.2 realiza el estimado de trabajo al diseño.

**Tabla 4.2 Costo de mano de obra**

| Concepto                                  | Semanal                | Costo total por concepto |
|---|------------------------|--------------------------|
| <b>Diseño de ingeniería</b>               |                        |                          |
| <b>Diseño de software labview</b>         | <b>\$10,390.00 MXN</b> | <b>\$207,800.00 MXN</b>  |
| <b>Diseño de programación en escalera</b> |                        |                          |
| <b>Técnico operario y supervisor</b>      | <b>\$3,000.00 MXN</b>  | <b>\$60,000.00 MXN</b>   |

Costo total por concepto de 20 semanas

TOTAL DE MANO DE OBRA: **267,800.00 MXN**

La siguiente tabla 4.3 muestra los gastos estimados que se utilizaron durante el diseño de ingeniería, esta tabla la mencionaremos como gastos secundarios para hacer un subtotal del costo de diseño.

**Tabla 4.3 Costo Adicionales**

| <b>Concepto</b>          | <b>Costo (Mensual)</b> | <b>Costo total por concepto</b> |
|--------------------------|------------------------|---------------------------------|
| <b>Consumo eléctrico</b> | <b>\$4,500.00 MXN</b>  | <b>\$1,600.00 MXN</b>           |
| <b>Papelería</b>         | <b>\$1,500.00 MXN</b>  | <b>\$1,500.00 MXN</b>           |
| <b>Costos varios</b>     | <b>\$2,000.00 MXN</b>  | <b>\$2,000.00 MXN</b>           |
| <b>Equipo de computo</b> | <b>\$5,000.00 MXN</b>  | <b>\$5,000.00 MXN</b>           |

**TOTAL DE COSTO POR CONCEPTO: \$10,100.00 MXN**

**COSTO DE PROYECTO: \$500,000.00 MXN**

El resultado obtenido satisface las necesidades planteadas desde un inicio, la versatilidad de nuestro programa junto con su utilidad, reduce el costo a un 50% en comparación de un sistema de gran escala para empresas muy grandes. Con estos resultados demostramos que cualquier tipo de empresa puede obtener el mismo resultado, el programa junto al equipo utilizado lo pueden adquirir empresas de pequeño y mediano rango, al invertir los resultados de ganancias y eficiencia se comprende véanse ganancias aproximadamente después de un año.

## CONCLUSIÓN

En comparación a otras plataformas de diseños de software para vision artificial, Labview facilita el procesamiento de imágenes con sus diferentes métodos de vision, mostrando diversas opciones de filtrado, manipulación, morfología, binarización, detección de umbral, extracción de imágenes en RGB plano monocromático, etc. Los filtros utilizados atenúan la imagen por medio de matrices binarias para una interpretación en escala de grises, mientras que las opciones de binarización y morfologías dan un enfoque más preciso de las zonas de interés a estudiar. Se pueden realizar HMI's básicas dentro del mismo programa, esto con la finalidad de hacer más sencilla la interacción entre la máquina y el usuario.

Uno de los problemas más difíciles a tratar fué la tonalidad de los huevos, se pudo resolver gracias a las funciones internas de vision assistant; con esto, los huevos con tonalidades oscuras que denotaban una ausencia de embrión en su interior y poca reflexión de luz envían valores negativos impidiendo que sean vacunados y descartados.

Entre otras cosas, la comunicación se realizó satisfactoriamente gracias al estudio previo de los controladores de la familia Rockwell y sus diversas opciones de enlace Ethernet. Para efectuar el enlace de comunicación entre Labview y Logix 5000 se llevan a cabo los mismos pasos que con Logix 500, de esta manera la comunicación no ocasionó problemas mayores.

Aunque la comunicación que se esperaba obtener con el programa Fluid Sim no fue realizada debido a la falta de un driver (OPC Serever 2.0) en la computadora que se estaba utilizando, los resultados obtenidos fueron satisfactorios, se pudieron visualizar las salidas en un tablero de lámparas conectado a las salidas digitales del PAC, enfatizando que este procedimiento únicamente se realizó con efecto de demostrar el accionamiento y retorno de los pistones que se implementaran a la máquina de inyección.

Ya que el costo obtenido de este software de vacunación in ovo es, en efecto, menor al costo de diversas tecnologías existentes, pequeñas, medianas y grandes empresas, pueden obtenerlo a un precio accesible y más bajo, beneficiando su producción y obteniendo mejores resultados a los que se puede obtener sin la ayuda de esta tecnología.

Con todo lo anterior se concluye que el sistema de visión artificial aplicado al proceso ovoscópico en la vacunación in ovo es capaz de definir la fertilidad de los huevos de incubación y tiene la habilidad de ser flexible, esto quiere decir, que se

puede ajustar dependiendo al lote de huevos al que se deee aplicar y de acuerdo a los datos que obtiene, vacunar a los huevos fértiles de forma automatizada a un precio mas accesible para las pequeñas y medianas empresas comprobando que este proyecto de tesis es funcional y capaz de ser aplicado en las maquinas de inyección in ovo de industria avícola.



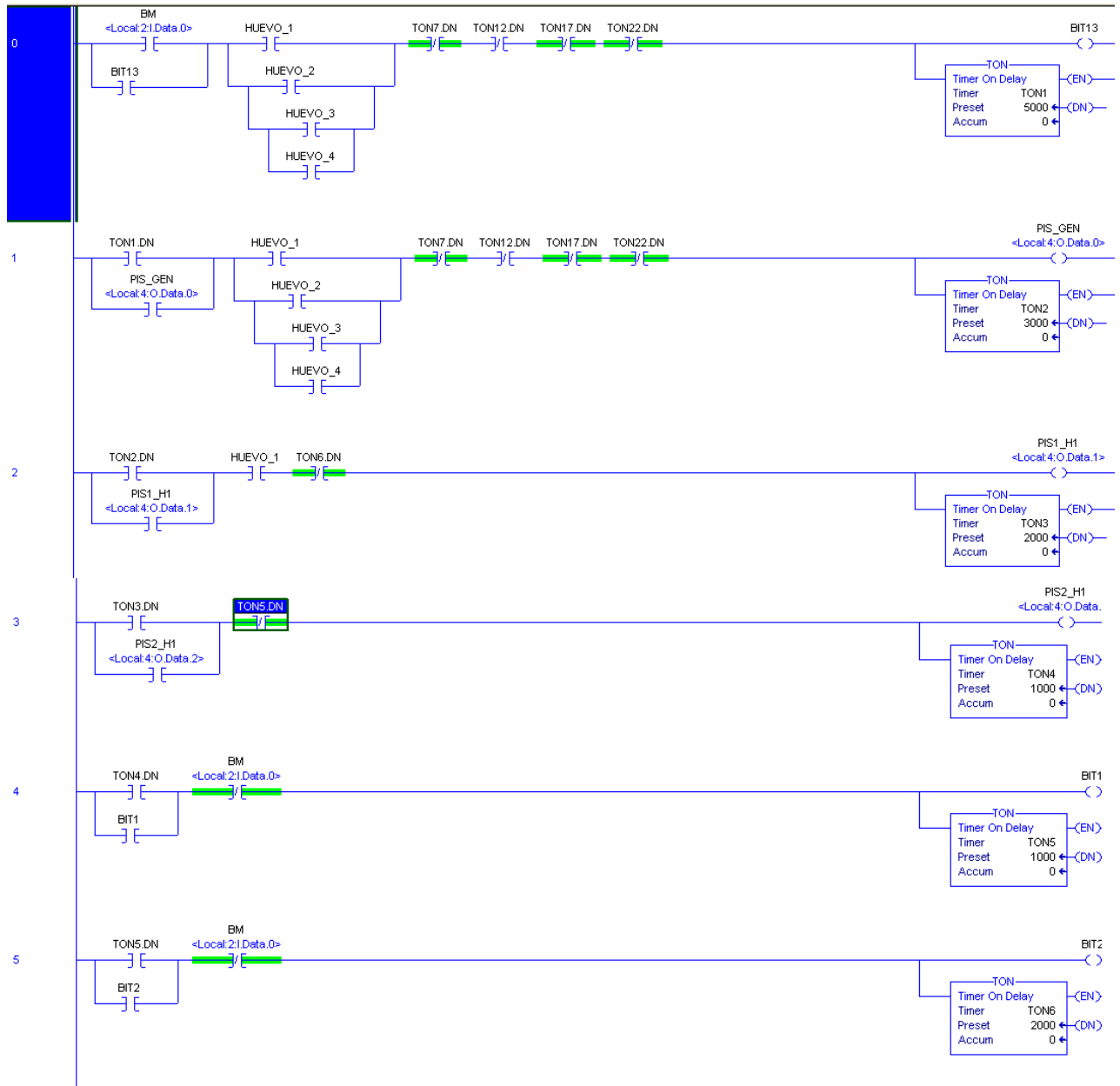
# APÉNDICE

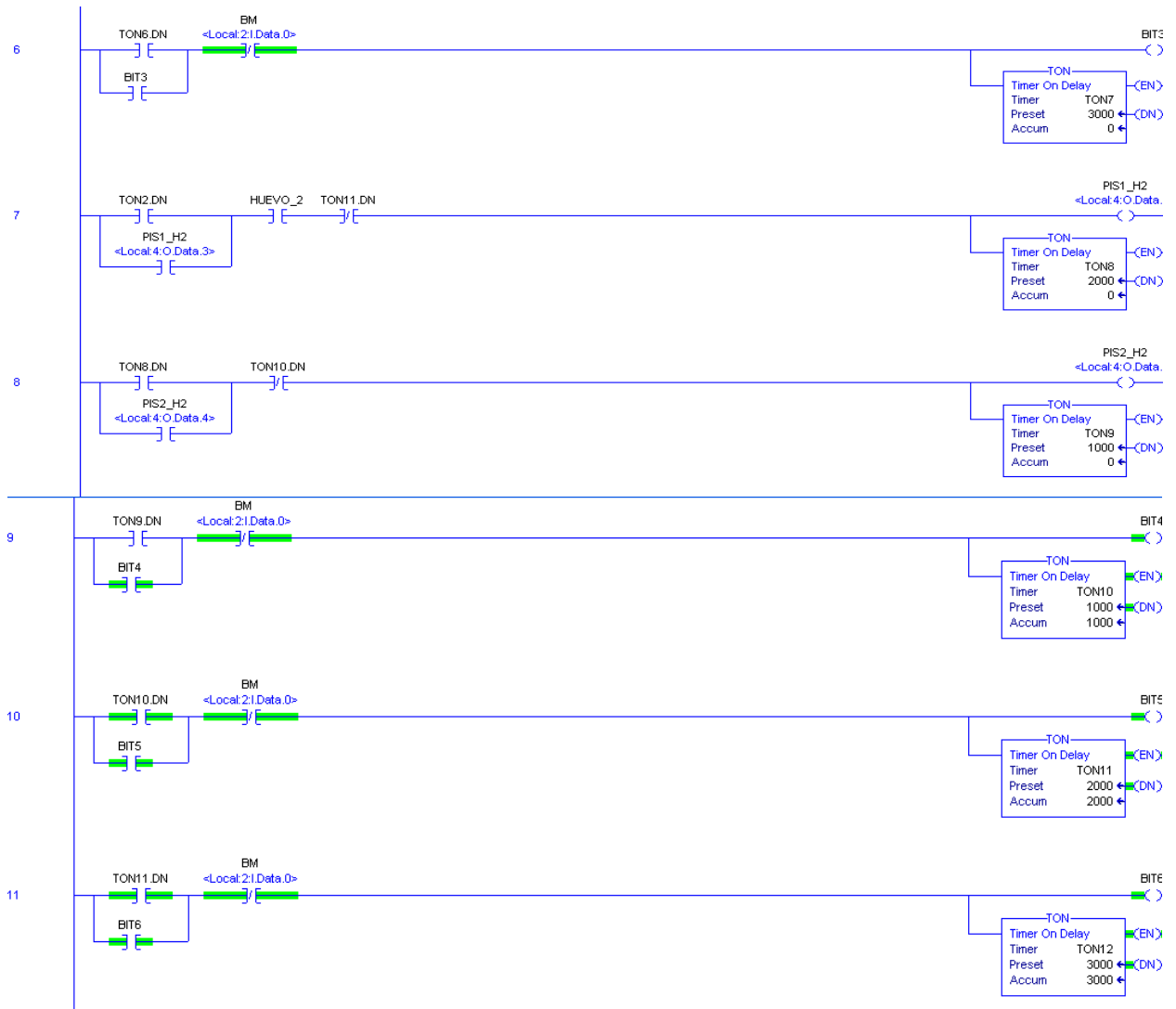
---

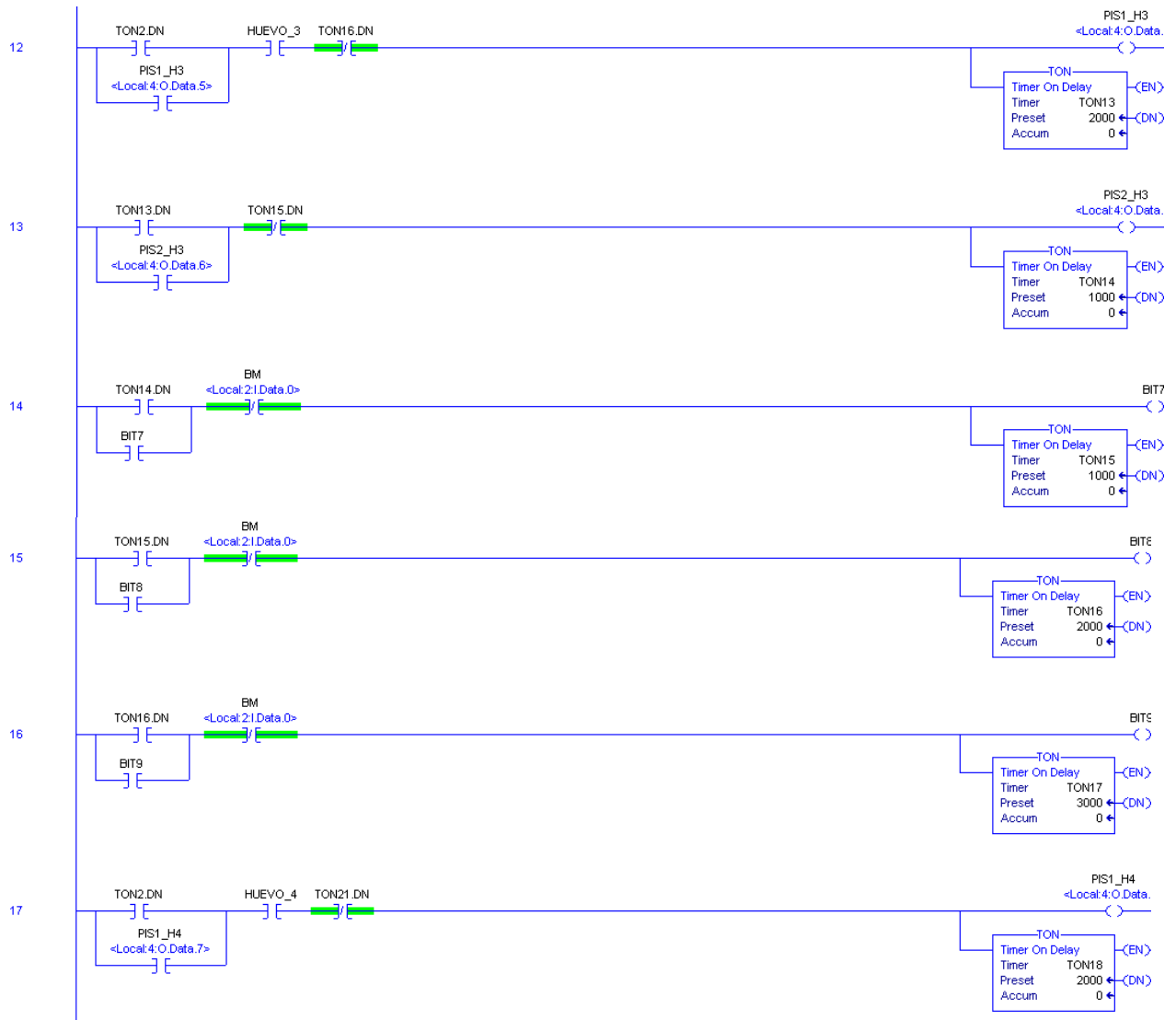
---

APÉNDICE A.

PROGRAMACION EN ESCALERA RSLOGIX5000 ROCKWELL AUTOMATION





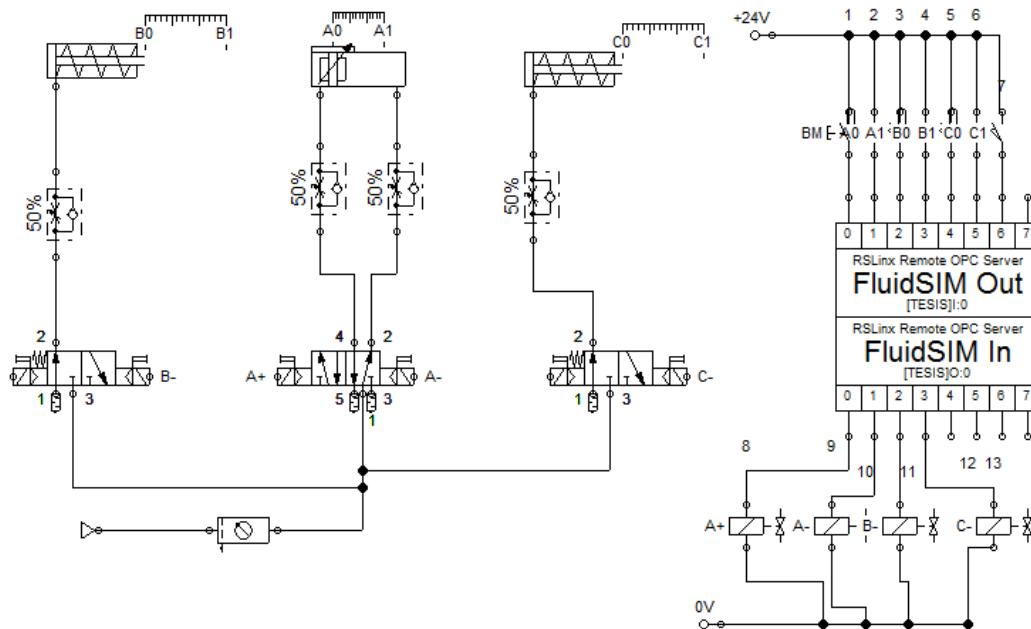




## APÉNDICE



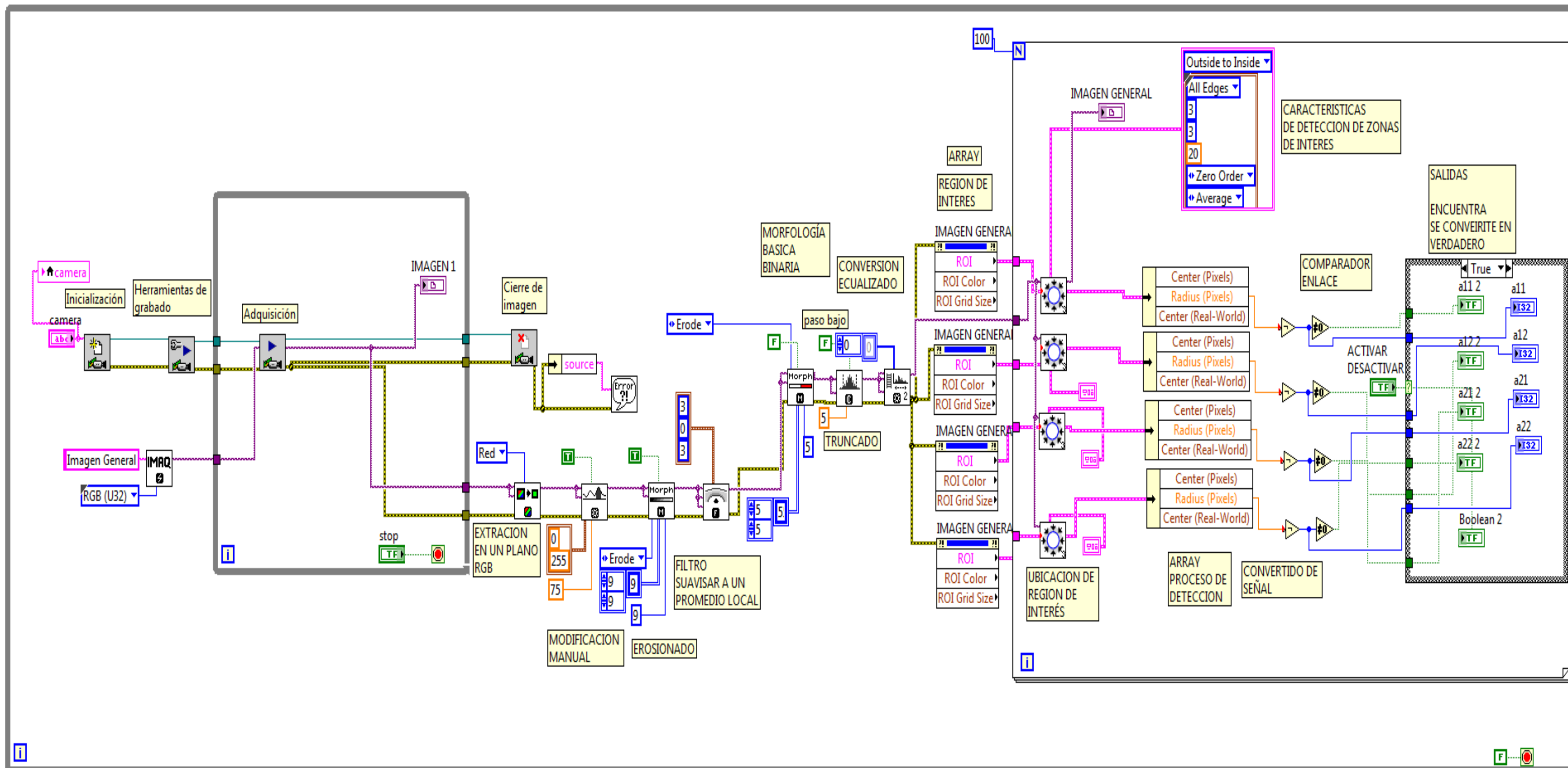
Programa desarrollado para el análisis de **un solo** huevo, respuesta para la salida simulada neumática.



Simulación desarrollada para la respuesta a un solo huevo (detección de embrión), vinculación a rslogix500.

APENDICE C.

DISEÑO DEL SOFTWARE



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Libro Reproducción de Incubación en Avicultura de la Real Escuela de Avicultura
- [2] VISION POR COMPUTADORA imágenes digitales y aplicaciones *Alfaomega González Pajares Jesús M. de la Cruz*
- [3] LABVIEW: ENTORNO GRÁFICO DE PROGRAMACIÓN. José Rafael Lajara Vizcaíno, José Pelegrí Sebastián 2012
- [4] Patente ES 2 222 68 T3 Aparato de inyección automatizada *in ovo*
- [5] NORMAS T568A Y T568B TIA/EIA INSTITUTO DE NORMALIZACIÓN AMERICANA
- [6] Revista Avinews, Artículo Instalación de un sistema de vacunación in-ovo en la planta de incubación, Desarrollada por Zoetis, Octubre 2013.
- [7] Revista Selecciones Avícolas Artículo “Entrevista a Tarsiso Villalobos” Realizada por Marisa Montes.
- [8] Revista Tecnología *In Ovo* Poultry Health Division Pfizer
- [9] Guía de procedimientos para vacunación, Servicios Veterinarios del Equipo Mundial de Soporte Técnico de Cobb-Vantress.
- [10] [www.avicultura.com](http://www.avicultura.com); Fecha de consulta: Febrero del 2015
- [11] <http://www.una.org.mx/>; Fecha de consulta: Marzo del 2015
- [12] [www.embrexbiodevices.com](http://www.embrexbiodevices.com) ; Fecha de consulta: Marzo del 2015
- [13] <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/9149/1/AC-ESPEL-MEC-0030.pdf> ; Fecha de consulta: Febrero del 2015
- [14] <http://www.engormix.com/MA-avicultura/genetica/articulos/desarrollo-programa-computo-automatizacion-t3670/103-p0.htm> ; Fecha de consulta: Febrero del 2015
- [15] <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/22107/Capitulo4.pdf> ; Fecha de consulta: Marzo del 2015