



**ESPE**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA  
AUTOMÁTICA CONTADORA DE ALEVINES PARA  
OPTIMIZAR EL TIEMPO Y LA FIABILIDAD DE LA  
PRODUCCIÓN PARA LA EMPRESA ACUIMAGG DE LA  
PARROQUIA “MANUEL CORNEJO ASTORGA” EN LA  
PROVINCIA DE PICHINCHA.**

**AUTOR: CHRISTIAN XAVIER ORTIZ MALUSIN**

**DIRECTOR: MS. C. ANDRES GORDÓN GARCES**

**LATACUNGA**

**2018**



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, **“Diseño e implementación de una máquina automática contadora de alevines para optimizar el tiempo y la fiabilidad de la producción para la empresa Acuimagg de la parroquia “Manuel Cornejo Astorga” en la provincia de Pichincha.”** realizado por el señor **Christian Xavier Ortiz Malusin**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **Christian Xavier Ortiz Malusin** para que lo sustente públicamente

Latacunga, 09 de febrero del 2018

Atentamente,

Ing. Andres Gordon Garcés

**DIRECTOR**



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

### **AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo **Christian Xavier Ortiz Malusin**, con cédula de identidad N° **1804434338** declaro que este trabajo de titulación , **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA CONTADORA DE ALEVINES PARA OPTIMIZAR EL TIEMPO Y LA FIABILIDAD DE LA PRODUCCIÓN PARA LA EMPRESA ACUIMAGG DE LA PARROQUIA “MANUEL CORNEJO ASTORGA” EN LA PROVINCIA DE PICHINCHA.”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 09 de febrero del 2018

**Christian Xavier Ortiz Malusin**

**C.I.: 1804434338**



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

### **AUTORIZACIÓN**

Yo, **Christian Xavier Ortiz Malusin**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA CONTADORA DE ALEVINES PARA OPTIMIZAR EL TIEMPO Y LA FIABILIDAD DE LA PRODUCCIÓN PARA LA EMPRESA ACUIMAGG DE LA PARROQUIA “MANUEL CORNEJO ASTORGA”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga, 09 de febrero del 2018

Una firma manuscrita en tinta azul sobre una línea horizontal.

**Christian Xavier Ortiz Malusin**

**C.I.: 1804434338**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios que es el centro de mi vida y después a mi familia que ha estado siempre apoyándome.

A mi mami Mariana Malusin por el gran sacrificio que hizo de madre y padre en el hogar y no hacernos faltar nunca nada.

A mi hermano Ítalo Ortiz por siempre estar ahí apoyándome, desde muy pequeños, siempre hemos compartido grandes momentos y hasta final lo seguiremos haciendo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Dios por ser el motivo de seguir cada día y por adoptarme como su hijo.

Al haber culminado el presente proyecto de investigación le agradezco a mi tutor de Tesis el Ingeniero Andrés Gordon por su tiempo, paciencia y conocimiento brindado.

De igual manera agradecer a la Empresa Acuimagg del Ecuador y a su gerente Ingeniero Antonio Villavicencio por auspiciar el proyecto de investigación, no se hubiese logrado este desafío si no fuera por su apoyo, GRACIAS.

Agradecer a Maquinarias Barona, al Ingeniero William Barona por la hospitalidad, consejos y apoyo brindado, no se hubiese logrado este objetivo si no hubiese contado con ustedes, DIOS LES BENDIGA.

Agradecer a mis grandes amigos que me apoyaron siempre en el transcurso de la carrera y fueron hermanos en tiempos de angustia, Ivan, Jossbell, Gaby, Eder, Sofía, Diego, David.

## INDICE DE CONTENIDOS

CARATULA.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....	iii
AUTORIZACIÓN .....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS .....	vi
INDICE DE CONTENIDOS.....	vii
INDICE DE FIGURAS.....	xii
INDICE DE TABLAS .....	xvi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT .....	xviii

## CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y MARCO TEÓRICO .....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.1.1 Formulación del problema.....	1
1.2. Antecedentes .....	1
1.3. Justificación .....	2
1.4. Importancia .....	3
1.5. Objetivos .....	3
1.5.1. Objetivo general.....	3
1.5.2. Objetivos específicos .....	3
1.6. Piscicultura.....	4
1.6.1. Historia.....	4

1.6.2.	Definición .....	5
1.6.3.	Importancia de la piscicultura .....	6
1.6.4.	Piscicultura en Ecuador.....	6
1.7.	Conteo de alevines .....	7
1.7.1.	Métodos de conteo de alevines.....	9
1.7.2.	Tecnologías aplicadas al conteo de alevines .....	13
1.8.	Equipos en la automatización de la piscicultura .....	14
1.9.	Estado del arte .....	15
1.10.	Equipos Mecatrónicos empleados para la piscicultura. ....	16
1.11.	Sistemas embebidos .....	17
1.12.	Cámaras para visión artificial .....	19
1.13.	Selección de lenguaje de programación.....	20
1.14.	Librería de visión artificial Opencv.....	21

## **CAPÍTULO II**

<b>DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES .....</b>	<b>24</b>	
2.1.	Parámetros de diseño generales.....	24
2.2.	Diseño del sistema mecánico.....	24
2.2.1.	Alternativas y selección del material para la elaboración.....	24
2.2.2.	Diseño preliminares de la estructura .....	31
2.2.3.	Componentes y partes de la estructura.....	33
2.2.4.	Selección de método para trasladar alevines. ....	39
2.2.5.	Diseño de la Superficie para deslizamiento de alevines .....	41
2.2.6.	Alternativas y selección de vertiente hidráulica. ....	42
2.3.	Diseño del sistema electrónico .....	44
2.3.1.	Sistemas embebidos en visión artificial .....	44
2.3.2.	Alternativas y Selección de la cámara para visión artificial .....	48

2.3.3.	Criterios de selección de cámara para visión artificial .....	49
2.4.	Diseño de Software .....	58
2.4.1.	Selección lenguaje de programación.....	58
2.4.2.	Procesamiento de imágenes. ....	60
2.5.	Materiales, Componentes y Software seleccionados. ....	60

### **CAPÍTULO III**

#### **CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN .....**

**62**

3.1.	Introducción .....	62
3.2.	Construcción de la parte mecánica .....	62
3.2.1.	Construcción de la Estructura Global. ....	62
3.2.2.	Fases de conteo.....	70
3.4	Construcción de Pod Reforzado.....	73
3.5	Diseño Mecánico total .....	74
3.6.	Montaje de la parte Eléctrica y Electrónica.....	74
3.6.1.	Configuración de Nvidia Jetson TK1 .....	75
3.6.2.	Conexión de la cámara a Jetson Tk1 .....	76
3.6.3.	Montaje y Acondicionamiento de Luz. ....	78
3.6.4.	Montaje del monitor para visualización.....	79
3.7.	Desarrollo de software .....	80
3.7.1.	Tareas específicas de librerías y programas. ....	80

### **CAPÍTULO IV**

#### **DESARROLLO DEL ALGORITMO PARA CONTEO .....**

**82**

4.1.	Procesamiento digital de imágenes.....	82
4.2.	Estructuración de Algoritmo con 2 clases.....	86
4.3.	Acondicionamiento y procesamiento .....	88

4.3.1.	Pre-procesamiento digital.....	89
4.3.2.	Sustracción de Fondo .....	89
4.3.3.	La transformación morfológica .....	91
4.3.4.	Segmentación .....	92
4.4.	Detección de blob y rastreo por Filtro Kalman .....	92
4.4.1.	Detección de blobs.....	93
4.4.2.	Parametrización de blobs.....	93
4.4.3.	Rastreo con filtro Kalman .....	94
4.5.	Conteo de alevines .....	98
4.5.1.	Conteo desde el filtro Kalman .....	99
4.6.	Interfaz usuario máquina (HMI). .....	101
4.7.	Ejecución de la máquina contadora de alevines.....	102

## **CAPÍTULO V**

<b>PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>104</b>	
5.1.	Pruebas de Procesamiento, detección y conteo.....	104
5.2.	Pruebas de Conteo de alevines. ....	105
5.3.	Feedback de verificación.....	106
5.4.	Pruebas de funcionamiento.....	107
5.5.	Conteo tradicional vs conteo automático .....	109
5.6.	Validación de la hipótesis.....	111
5.7.	Coste de la máquina contadora de alevines.....	115

## **CAPÍTULO VI**

<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>118</b>	
6.1.	Conclusiones .....	118
6.2.	Recomendaciones .....	119

<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>120</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>124</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Contador tipo rodela. ....	10
Figura 2. Conteo por resbaladera. ....	11
Figura 3. Máquina contadora de alevines .....	11
Figura 4. Muestra principal para un conteo de alevines .....	12
Figura 5. Conteo manual .....	13
Figura 6. Alimentación con sistema mecatrónico. ....	16
Figura 7. Sistema mecatrónico Oxímetro.....	17
Figura 8. Características de Opencv.....	22
Figura 9. Fibra de vidrio en bruto. ....	25
Figura 10. Perfiles de acero inoxidable. ....	26
Figura 11. Fase de regeneración del acero inoxidable.....	30
Figura 12. Acabados de aceros inoxidables.....	30
Figura 13. Diseño con varias piezas de soporte .....	31
Figura 14. Diseño Uniforme de la de estructura. ....	32
Figura 15. Diseño de estructura base .....	33
Figura 16. Diseño de cara lateral .....	34
Figura 17. Diseño de tapa trasera de la estructura base.....	34
Figura 18. Tapa superior de la estructura base.....	35
Figura 19. Tapa de la estructura bases.....	35
Figura 20. Relieve interno.....	36
Figura 21. Superficie con pendiente inclinada.....	36
Figura 22. Pared de fuente en cascada .....	37
Figura 23. Eje y Bisagras para la tapa superior .....	37
Figura 24. T generadora de cascada .....	37
Figura 25. Soporte lineal deslizante. ....	38
Figura 26. Soporte de 2 grados de libertad. ....	38
Figura 27. Bomba de trasvase. ....	39
Figura 28. Funcionamiento de una bomba de trasvase. ....	40
Figura 29. Alevines por pendiente inclinada.....	40
Figura 30. Angulo para la superficie resbaladiza de alevines.....	42
Figura 31. Hilos para vertiente .....	42

Figura 32. Cascada de agua de acero inoxidable. ....	43
Figura 33. Raspberry y visión artificial. ....	45
Figura 34. Visión Artificial y Jetson TK1. ....	46
Figura 35. Rendimiento del procesador Cortex A-15. ....	46
Figura 36. GPU con tecnología Kepler. ....	47
Figura 37. Partes del sistema embebido TK1. ....	47
Figura 38. Cámara See3CAM_CU30 y lente M12. ....	51
Figura 39. USB 3.0 tipo C. ....	51
Figura 40. Lente M12. ....	53
Figura 41. Ángulos de interés para cámara. ....	54
Figura 42. Ubicación de la cámara. ....	56
Figura 43. Angulo de campo de visión horizontal (HFOV). ....	56
Figura 44. USB3.0 en la See3CAM_CU30. ....	57
Figura 45. Puerto de entrada usb 3.0 de la JetsonTK1 ....	58
Figura 46. etapas de procesamiento de visión artificial. ....	60
Figura 47. Estructura Global de la contadora de alevines ....	62
Figura 48. Corte de las Caras Laterales mediante una Moladora ....	63
Figura 49. Limado y pulido de los cortes para soldadura TIG ....	63
Figura 50. Equipo de Soldadura TIG. ....	64
Figura 51. Soldadura TIG de caras laterales. ....	64
Figura 52. proceso de limpieza con el ácido H500- L1 ....	64
Figura 53. Filtro de Alevines. ....	65
Figura 54. Fresado de soportes manualmente. ....	66
Figura 55. Maquinado del eje. ....	67
Figura 56. Material para construcción de soportes. ....	67
Figura 57. Modelo de soporte terminado. ....	67
Figura 58. Carcaza de cámara impresa en 3D. ....	68
Figura 59. Placa de luz led ....	68
Figura 60. Montaje de los soportes en la máquina. ....	69
Figura 61. Bomba sumergible conectada hacia la "T". ....	69
Figura 62. Pintado externo e interno de la máquina. ....	70
Figura 63. Depósito para ingreso de alevines ....	71
Figura 64. Fase de llevadero y filtrado de alevines ....	72
Figura 65. Fase de conteo de alevines. ....	72

Figura 66. Desfogue para alevines. ....	73
Figura 67. Construcción de pod de acero inoxidable .....	73
Figura 68. Pod terminado para contener dispositivos electrónicos.....	74
Figura 69. Construcción finalizada .....	74
Figura 70. Esquema de conexión .....	75
Figura 71. Diagrama de conexión para flasheo.....	76
Figura 72. Conexiones para flasheo de Tarjeta. ....	76
Figura 73. Implementos de la cámara SeeCam CU30 .....	77
Figura 74. Conexión de extensor Usb 3.0.....	77
Figura 75. Condicionamiento de luz.....	78
Figura 76. Diferencia de luz central y las 3 luces incorporadas.....	79
Figura 77. Montaje de monitor como panel de control. ....	79
Figura 78. HDMI Jetson para conexión de monitor .....	80
Figura 79. Etapas del procesamiento digital de imágenes usado.....	82
Figura 80. Algoritmo background subtraction .....	83
Figura 81. Distribución del código con 2 clases .....	87
Figura 82. Distribución con 2 clases en QtCreator. ....	87
Figura 83. Incluir 2 clases al archivo principal.....	87
Figura 84. Grupo de etapas para un acondicionamiento previo. ....	89
Figura 85. Conversión a escala de grises. ....	89
Figura 86. Sustracción de fondo en el procesamiento de imagen .....	90
Figura 87. Aplicación sustracción de fondo tipo MOG.....	90
Figura 88. Aplicación de sustracción de fondo tipo MOG2.....	91
Figura 89. Operaciones morfológicas aplicadas. ....	91
Figura 90. Contorno y relleno de contornos .....	92
Figura 91. Detection blob y Reconocimiento.....	93
Figura 92. Parámetros de Blobs detectados .....	94
Figura 93. Enumeración de blobs detectados .....	95
Figura 94. Trazo de distancias euclídeanas entre blobs. ....	95
Figura 95. Distancia euclídeana en el intérprete principal .....	96
Figura 96. Distancia vertical para comprobación de dirección .....	97
Figura 97. Rastreo de blobs mediante filtro Kalman.....	97
Figura 98. Línea guía trazada en el intérprete principal. ....	98
Figura 99. Detección de cruce de línea para los blob .....	98

Figura 100. Síntesis de conteo. ....	100
Figura 101. Conteo de alevines en el intérprete principal .....	100
Figura 102. Partes del HMI. ....	101
Figura 103. Ingreso del nombre de proceso .....	102
Figura 104. Registros de conteo .....	102
Figura 105 .Ingreso de alevines a la máquina.....	108
Figura 106. Filtrado de alevines.....	108
Figura 107. Pantalla del panel de control.....	109
Figura 108. Test de mejora de error .....	110
Figura 109. Tasa de mejora en el tiempo de conteo de alevines .....	110
Figura 110. Tabla de chi-cuadrado .....	114

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Selección del material para la estructura de la máquina .....	28
Tabla 2. Selección de diseños de estructura.....	32
Tabla 3. Selección del método de depositorio para contar alevines .....	41
Tabla 4. Método de selección de Vertiente de cascada en superficie .....	43
Tabla 5. Diferencia de los fotogramas por segundo .....	49
Tabla 6. Resoluciones de las cámaras .....	50
Tabla 7. Características de cámara SeeCam cu_30 en USB2.0 .....	52
Tabla 8. Características de cámara SeeCam cu_30 en USB 3.0 .....	52
Tabla 9. Representación de los ángulos de campos de visión .....	54
Tabla 10. Ángulos que proporciona la cámara See3CAM_CU30.....	56
Tabla 11. Selección del lenguaje de programación.....	59
Tabla 12. Principales algoritmos usados.....	85
Tabla 13. Prueba de procesamiento, detección y conteo.....	104
Tabla 14. Datos del conteo realizados de forma manual. ....	105
Tabla 15. Datos del conteo automático.....	106
Tabla 16. Datos con Feedback de verificación.....	107
Tabla 17. conteo manual vs conteo tradicional .....	109
Tabla 18. Efectividad de tiempo y fiabilidad .....	112
Tabla 19. Resultados de Frecuencias observadas .....	112
Tabla 20. Resultados de Frecuencias esperadas .....	113
Tabla 21. Resultados de chi-cuadrado.....	114
Tabla 22. Cotización del sistema .....	115
Tabla 23. Cotización del Sistema Electrónico .....	116
Tabla 24. Costos Generales del proyecto .....	117

## **RESUMEN**

La automatización industrial en la actualidad está en auge por sus grandes beneficios, el presente proyecto se enfoca en la parte de la agroindustria específicamente en la piscicultura, siendo los alevines (cría de trucha) una especie principal en este campo, el proceso de cultivo y comercio de alevines es importante para los piscicultores hoy en día; una función importante es el conteo de alevines para su comercio y se hace en forma manual, siendo un punto de subdesarrollo de este campo por el tiempo que conlleva y la inexactitud. Para lo cual se presenta la implementación de una máquina automática contadora de alevines para optimizar el tiempo y la exactitud del conteo de la producción de alevines, el proyecto de investigación se compone de 3 subsistemas: el sistema de visión artificial que se encarga del conteo automático a través de una serie de algoritmos en un lenguaje de programación de alto nivel con un robusto procesamiento de imágenes gracias un sistema embebido como es Jetson TK1 de NVIDIA; la estructura base, la cual se compone de una pendiente que sirve como superficie fija para una corriente de agua, creando así un plano deslizante para que los alevines puedan ser contados y por último el panel de control para que el operario pueda visualizar el conteo a través de una interfaz didáctica simple, la cual proporciona registros de procesos para un mejor control de conteo de la producción y verificación de tiempo. La implementación de este proyecto beneficia a los piscicultores para optimizar el tiempo y la exactitud del conteo de la producción de una forma automática.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **VISIÓN ARTIFICIAL**
- **PISCICULTURA**
- **PROCESAMIENTO DE IMÁGENES**
- **AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

## **ABSTRACT**

Industrial automation is currently booming for its great benefits, this project focuses on the part of the agro-industry specifically in fish farming being the fry (species of trout) a major strength in this field, the process of cultivation and trade of fry is important for fish farmers today, an important function that is the counting of fry for their trade is done manually by being a point of underdevelopment of this field for the long time involved and inaccuracy. For which the implementation of an automatic fry counter machine to improve the time and reliability of the production is presented, the research project consists of 3 subsystems: the artificial vision system that is responsible for automatic counting through a series of algorithms in a high-level programming language with high image processing thanks to a high-end embedded system as provided by NVIDIA; the base structure, which consists of a slope that serves as a fixed surface for a stream of water, creating a sliding plane so that the fry can be counted and finally the control panel so that the operator can visualize the count to Through a simple didactic interface, which provides records of counts for a better production control and time verification. The implementation of this project benefits fish farmers to improve reliability and production time in an automatic way.

### **KEYWORDS:**

- **ARTIFICIAL VISION**
- **PISCICULTURA - ALEVINES**
- **IMAGE PROCESSING**
- **AUTOMATIC COUNTING**

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y MARCO TEÓRICO

### 1.1 Planteamiento del problema

La automatización enfocada a la acuicultura ha estado en auge los últimos años en el mundo, desarrollándose muy pocos y diversos artefactos para optimizar este trabajo, especialmente lo que es el cuidado y comercialización de peces. Considerando este asunto se ha decidido crear más herramientas de trabajo automático que ayude a los piscicultores, pero se ha visto un gran problema en la acuicultura del Ecuador ya que todas las funciones de trabajo se lo realizan de forma artesanal y trae consigo un lento desarrollo para esta forma de trabajo.

#### 1.1.1 Formulación del problema

Una de las actividades más difíciles de realizar debido a su complejidad es el conteo de alevines que es una función dentro del cuidado y comercialización, pues se realiza de forma artesanal, se lo hace con siete personas, contando cien mil alevines en el transcurso de tres días, siendo la mayoría de veces inexactos y tardando mucho tiempo en sus pedidos, haciendo que la comercialización de alevines no sea un recurso óptimo para la empresa y el Ecuador.

El gran problema es el conteo, el cual se lo hace de forma manual, tardando así mucho tiempo en la comercialización de estos especímenes la máquina contadora de alevines vendrá a suplir esta gran necesidad implementando una herramienta automática de conteo.

### 1.2. Antecedentes

Como una actividad multidisciplinaria la Acuicultura compone una empresa provechosa que utiliza los conocimientos sobre ramas de la ciencia como la

biología, ingeniería y ecología que sirve para ayudar a mejorar el problema nutricional, y según los tipos de especies que se cultivan, existe una gran variedad pero el más desarrollado es la piscicultura o también llamado cultivo de peces (MONDRAGÓN, 2002)

En el Ecuador el origen de la acuicultura se remonta a partir del año 1932 cuando en la Sierra se introdujo la trucha o también llamado *Salmo gairdneri* y así obtener una repoblación de los lagos y ríos, en la actualidad se cuenta con varios criaderos y uno importante es el de Chirimachay en la provincia del Azuay que cuenta con nueve piletas de incubación y siete de alevinaje con una producción de cien mil alevines al año. (Galvez, 2010).

Muchos de los piscicultores aplican técnicas aprendidas de sus padres o vecinos, técnicas que son buenas, pero que si no se actualizan perderán ventas contra la competencia en el mercado. La tecnología en la piscicultura permite un mejor cuidado de los peces, logrando inclusive una automatización en el proceso de cultivo, por ejemplo en la temperatura correcta de la piscina, alimentación automática, oxígeno indicado, entre muchas cosas más.

### **1.3. Justificación**

El Ecuador carece de automatización de procesos en varios sectores como lo es, la acuicultura; es por estas razones que el país no alcanza un gran desarrollo tecnológico en este sector productivo y especialmente enfocándose en el cuidado y comercialización de alevines. Para el año 2011, la producción de tilapia representó el 65,21% de la piscicultura, la cachama 21,44%, la trucha 7,58% y las especies nativas con 5,62% tomando en cuenta estos datos se ha visto la necesidad de actuar con innovación.

En varios países se han desarrollado sistemas automáticos para el conteo de peces pero su costo es altamente elevado, por esa razón las empresas nacionales de acuicultura que tienen como función el conteo de alevines y otros especímenes no lo adquieren; es ahí donde entra la implementación de la primera máquina de conteo automático de alevines en el Ecuador, que será innovación e impacto para este sector productivo.

## **1.4. Importancia**

Es indispensable la implementación de la primera máquina de conteo de alevines en el Ecuador para empresas dedicadas a la acuicultura y sus derivados y así que ayude de gran manera al cuidado y comercialización de estos especímenes.

Con la implementación de esta máquina el desarrollo de este mercado se verá favorecido en tiempo y fiabilidad de procesos de conteo, siendo la primera máquina a un costo favorable para una ágil comercialización de primera mano, además identificándose por una manera fácil de operación que cualquier operario lo podrá hacer.

Lo más importante de la primera máquina contadora de alevines es que se incorpora a través de visión artificial con un sistema de luz obteniendo un enfoque definido, el conteo de alevines será muy exacto tomando en cuenta los mecanismos para transportar del alevín que dotan de todos los cuidados y favorecerá al trabajo en la acuicultura.

La empresa Acuimagg del Ecuador que se dedica a estas actividades está decidida a ser la primera en acoplarse a estos sistemas innovadores de gran ayuda y beneficiará mucho sus funciones de comercialización en tiempo y fiabilidad, convirtiéndose así en una empresa flexible que optimizara recursos de gran manera.

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo general**

- Diseñar e implementar una máquina automática contadora de alevines para la empresa ACUIMAGG.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Investigar acerca de herramientas y sistemas de control para el conteo de peces automático.

- Diseñar e implementar el sistema de conteo de alevines mediante el método de visión artificial.
- Diseñar e implementar un controlador para la supervisión e interacción del operario con la máquina durante el proceso de conteo de alevines.
- Diseñar y construir una estructura de forma compacta para sostén de los componentes y ayude a un proceso de conteo efectivo.
- Realizar pruebas de funcionamiento del conteo de alevines de la máquina en la empresa Acuimagg.

## **1.6. Piscicultura**

### **1.6.1. Historia**

La piscicultura es una de las actividades consideradas más antiguas en trabaja humana, los registros más antiguos son aproximadamente de 500 A.C en el continente Asiático teniendo como más influencia en China, donde, se dio a conocer primera función de la piscicultura fundamentado en el cultivo del pez carpa y en esa misma época cabe destacar el cultivo de ostras de parte de los Romanos.

Por su parte en Francia en el siglo XIV se desarrolla el cultivo de un pez de agua dulce llamado trucha arcoíris, donde se obtiene la fecundación de huevos de los mismos el cual da un impulso grande al cultivo en la piscicultura. Para el siglo VXIII estas funciones logran contribuir a un asentamiento grande alevines.

En el siglo XX, cuarenta países practicaban la acuicultura como tal, tomando en cuenta q se dedicaban a un contexto general de la misma, es decir a todas las especies marinas pero con ella la Piscicultura en el cultivo de Tilapias, Carpas y una variedad de moluscos como base principal en este desarrollo y así se logró una comercialización de gran alcance en el mundo.

La Piscicultura tuvo un auge a partir de los años 60 y 70 en el cual se desarrolló un ámbito científico y tecnología en estos campos , cabe mencionar los datos de la FAO () en 2008 de la producción en la acuicultura aumento de un 3.9% en 1970 a un 32.4% en 2004 esto en producción total

en peso y al cabo de dos años a partir del 2004 con un peso de 59.9 millones de toneladas en producción acuícola al 2006 con 66.7 millones de toneladas generando un valor de 78.8 millones de dólares.

En los últimos años el continente Asiático es el que más contribuye con la producción en la acuicultura, mientras que Latino América y parte del Caribe han cursado un crecimiento muy acelerado, apoyando con un 2.3% de la producción global en la acuicultura y los países con la mayor producción en Latino América son Chile, Brasil, México y Ecuador respectivamente.

La Piscicultura como base principal de la Acuicultura van acompañadas de una serie de disciplinas, la cual ha provocado el desarrollo mundial en el transcurso de todos estos años y ahora es considerada como un gran recurso natural de desarrollo para cualquier país donde haya la disponibilidad de implementación.

### **1.6.2. Definición**

La piscicultura es una rama de la acuicultura y la más importante, ya que la acuicultura se dedica a la producción, el cuidado y el comercio de todos los organismos acuáticos mientras que la piscicultura se dedica exclusivamente al cuidado, comercio y producción solamente de peces.

Esta producción de peces se basa en una variedad de medios hídricos ya sea de forma natural o compuesta controlados. Esta actividad se adhiere a una mano de obra familiar ya que todos sus integrantes llegan a ser económicamente activos pues así realizaran funciones básicas en el cultivos de peces, por ejemplo los integrantes de tercera edad pueden realizar tareas muy simples y así contribuir activamente, siendo este un punto de vista para beneficio social de cómo se puede desarrollar la piscicultura de forma sencilla siempre tomando en cuenta que el entorno de implementación sea el correcto.

Como ayuda económica la piscicultura brinda de forma rápida una vuelta del capital invertido, siempre y cuando se considere una variedad del cultivo, un claro ejemplo es la PRODUCCIÓN DE ALEVINES para su

comercialización, así como el engorde de los alevines pre adultos hasta ser considerados en el mercado. Estas especies de peces

### **1.6.3. Importancia de la piscicultura**

La piscicultura es importante porque brinda una serie de ventajas, entre ellas están el brindar una proteína de buena y alta calidad, es un claro ejemplo de la empresa Acuimagg de la provincia de Pichincha que ofrece las truchas salmonadas, así ofreciendo una buena proteína. También mencionar acerca del aprovechamiento de tierras fértiles aptas para el desarrollo de la piscicultura y así incentivar al desarrollo del país a través de los recursos naturales.

Se ha tomado mucha importancia a la piscicultura porque es un nuevo campo de desarrollo país y que no se ha estado entregando énfasis y se parte desde esta importancia para incentivar al desarrollo, cabe destacar que recursos hídricos no utilizados vendrán a ser explotados sinérgicamente con la piscicultura y además se puede varias con otras actividades agropecuarias en fase de desarrollo.

Otra ventaja por la cual hay que considerar la piscicultura es que el cultivo de peces no contamina el medio y por efecto de realimentación se puede reutilizar el agua, además ofrece un alto ingreso económico para los piscicultores.

### **1.6.4. Piscicultura en Ecuador**

La piscicultura como tal o producción de peces inicia en el Tahuantinsuyo, donde los antiguos de la sierra se alimentaban con peces de lagos y ríos y a partir de la época republicana crece el interés sobre estas actividades, según Eduardo Moscoso en su módulo de piscicultura indica datos cronológicos del desarrollo de la piscicultura en el Ecuador.

En 1873 gracias a un permiso de la legislatura del país se obtiene un permiso de cultivar peces en la laguna de Colta en Chimborazo, en la actualidad se desconocen los resultados pero en el lugar se puede apreciar especies de peces de agua dulce.

En 1881 en la provincia de Pichincha sector Valle de los Chillos se introduce aproximadamente 30000 especies de pez carpa de agua dulce y se distribuyeron en varios ecosistemas del país, un ejemplo es la Laguna de San Pablo en Imbabura.

Uno de los más importantes hechos y que brinda un campo extenso de la piscicultura es del Sr. Jorge Ubidia que importó aproximadamente 60000 ovas de trucha desde EE.UU y en un proceso de incubación los alevines fueron sembrados en el Río Machangara de la ciudad de Quito, además montó zonas de incubación en Otavalo, Cotopaxi, Azuay y con estos avances en la piscicultura se forman grupos y clubes de caza y pesca que ayudaron al cultivo de truchas en los ríos y lagos.

En la actualidad el país cuenta con aproximadamente 260 criaderos establecidos principalmente en la Regiones de Sierra y Oriente, se estima que por años la producción denota 3000 ton/año; destacando que casi toda las actividades son artesanales

### **1.7. Conteo de alevines**

El conteo de alevines como función de la piscicultura siempre se lo realizó de forma manual o artesanal, desde tiempo inmemorables se ha venido desarrollando esta función, pero hay que mencionar que esta actividad es muy importante en la piscicultura ya que da a conocer a los piscicultores un conocimiento del número de especies que se está cultivando y así tomar medidas necesarias en varias operaciones en el desarrollo de este cultivo.

La característica fundamental del conteo de alevines es poder brindar un proceso lo más rápido posible, pero la mayoría carece de esta principal característica ya que el proceso es manual y da por resultado un proceso lento e inexacto, esto se ha venido dando por años y los piscicultores han buscado varios métodos para adquirir la característica fundamental y con pocos resultados han conseguido en un porcentaje bajo de un conteo rápido y exacto.

En el cultivo un control básico del número de especies que se tiene es necesario para un manejo correcto de tanques, condiciones de agua y otros datos necesarios, los piscicultores tienen una ardua actividad diaria de observación y con el transcurso del tiempo cada vez más se vuelven empíricamente expertos en detectar en masa un número aproximado de alevines u otras especies similares, esto se conoce más como una maniobra de cultivo de peces como es la densidad y cantidad de siembra.

La densidad de siembra hace referencia a la cantidad de ejemplares por unidad de área que integraremos al estanque, dependiendo este número del sistema de cultivo (URUGUAY. Dirección Nacional de Recursos Acuáticos, 2010)

El conteo es tan importante el proceso de cultivo, por ejemplo en el proceso de alimentación y saber cuánto alimento suministrar diariamente a una cantidad de alevines. Esto radica en tomar muestras de un determinada población, para lo cual se necesita contar un cierto número de ejemplares para estar al tanto de alimento a proveer y una buena cosecha requiere de procesos exactos como este para lo cual se necesitara suministrar el porcentaje adecuado según corresponda.

Así como todas las funciones en la piscicultura el conteo de alevines es muy importante para una buena comercialización y también para el cultivo de los mismos y como efecto generando desarrollo en la matriz productiva, y para esto como todos lo pueden ver es una simple tarea de conteo pero esto influye mucho, pues desde lo más pequeño empieza el gran emprendimiento, es por eso que se ha visto la necesidad de análisis en esta función.

En empresas de acuicultura Y piscicultura del Ecuador la actividad de conteo de especies y más aun de ejemplares de peces es muy necesaria y se lo realiza en todas las empresas, un claro ejemplo es la empresa Acuimagg del Ecuador que se dedica al cultivo de alevines y el conteo de alevines se lo hace de forma manual y lo definen como una actividad esencial para el comercio y también para procesos de alimentación y cultivo.

### 1.7.1. Métodos de conteo de alevines

Los métodos de conteo de alevines son muy diversos, pero hay que mencionar que son manuales

- Conteo por peso en seco y agua
- Conteo en batea
- Conteo por pendiente
- Conteo de máquina
- Conteo por simple inspección de masa
- Conteo por unidad

#### a. Conteo por peso en seco

Este método se caracteriza por utilizar una balanza y por preferencia electrónica para una mayor exactitud, esta técnica tiene como ventaja una gran velocidad de conteo, ya que se lo realiza en masa y esta es considerada por el piscicultor a su criterio ya pueda ser en gran manera o en poca pero por conveniencia se lo hace en gran masa.

Esta técnica se ha venido dando desde tiempos donde la balanza sobresalió a nivel mundial y se la empleo en esta función, muchas veces teniendo buenos resultados. Hay que mencionar que así también como es un método de alta velocidad tiene una desventaja muy grande la cual es la exactitud de conteo, esto es muy visible porque aun cuando más se quiere determinar un cierto número de ejemplares hay probabilidades muy pequeñas que sea exacto. Al decir que se cuenta en seco es cuando una determinada cantidad de alevines se los pesa en la balanza y de ahí se va ajustando empíricamente las siguientes cantidad e igualando la cantidad que muestra la balanza.

#### b. Conteo en batea

Esta técnica hace de la piscicultura un trabajo forzoso y retardatario ya que se lo realiza entre varias personas en donde primeramente se instala la batea dentro del tanque donde se encuentran los alevines y se

va contado de 5, 10,15 y otras veces de 50 ejemplares, como ventaja de esta técnica es brindar a la persona que cuenta una mayor concentración ya que la primera persona que cuenta dentro de la batea lo hace con una cierta cantidad específica.

La segunda persona pasa esta cantidad de un tanque a otro tanque y ahí es donde se encuentra otra persona la cual va tomando apuntes de esta cantidad con dispositivos de cuenta tipo rodela la mayoría de veces, pero también con dispositivos digitales, así ofrece una exactitud considerable pero igual con fallas muchas veces, lo que hace defectuosa esta técnica es el tiempo en el que se emplea, pues se tarda mucho en el conteo, y además usa varias personas y no ofrece nada de flexibilidad en otras funciones de la empresa, en la figura 1 se observa el instrumento de pesaje para contar en el método batea.



**Figura 1 Contador tipo rodela.**

Fuente: (Lagos, 2007)

### **c. Conteo por pendiente**

El conteo por pendiente o también llamado conteo por resbaladera, en esta técnica lo que se hace es instalar una mesa con una pendiente considerable de acuerdo a la velocidad que se quiera obtener, y es un método mediante conteo por golpe y también de vocea como el anterior, entonces, se instala un flujo de agua constante de 15 litros por segundo, por consecuente por esta resbaladera caerán los peces de acorde al flujo y por contadores de golpe serán contados, en la figura 2 se observa un conteo por pendiente.



**Figura 2 Conteo por resbaladera.**

**Fuente:** (Lagos, 2007)

#### **d. Conteo por máquina**

Gracias a la preocupación de desarrollo de esta función de conteo se implementó una máquina contadora mediante escáner de luz y caída, lo que hace esta máquina es en una especie tolva acumular una gran cantidad de ejemplares y mediante un hoyo con un tamaño específico al del alevín caen y en el transcurso de caída cortan un haz de luz y eso marca como cuenta en un pantalla principal, en pocos países de poseen esta máquina, pero algunas desventajas que posee es el tiempo de conteo ya que cuenta de uno en uno y también el tiempo en que puede permanecer el alevín sin turbidez del agua, en la figura 3 se puede observar la máquina que trabaja mediante escáner de luz.



**Figura 3. Máquina contadora de alevines**

**Fuente:** (ACUITEC, ACUITEC, 1999)

#### **e. Conteo por simple inspección.**

Este conteo se lo realiza visualizando una determinada cantidad de ejemplares, primeramente se toma una muestra contada, esto se lo hace juntando las dos mano para que mediante el tacto se puede definir bien una cantidad y se lo ubica en un tanque por preferencia de color blanco de forma redonda, después de la muestra principal empíricamente de manera visual se van analizando una cantidad aleatoria y tratar de mostrar una similar a la muestra principal, como una gran desventaja es la inexactitud porque existen mínimas posibilidades de ser exacto mediante esta técnica y además genera pérdidas al momento de comercializar porque se puede enviar más ejemplares y así existe perdida de alevines en la figura 4 se muestra la forma de contar por simple inspección.



**Figura 4. Muestra principal para un conteo de alevines**

Fuente: (Ciudadano, 2010)

#### **f. Conteo por unidad**

Esta técnica se practica en la mayoría de las empresas Piscicultoras, caracterizada por involucrar a varias personas en el proceso, esta técnica tiene como efecto que si se involucra a varias personas, el conteo es de gran velocidad, pero como desventajas es que no es exacto en gran manera, pues las primeras cuentas de alevines se las puede realizar correctas pero después la persona q cuenta se aturde siendo inexacta y causando cansancio y generando pérdidas de conteo, en la figura 5 se observa como es el conteo de forma manual con varias personas.



**Figura 5. Conteo manual**

Fuente: (FAO, 2001)

### **1.7.2. Tecnologías aplicadas al conteo de alevines**

La idea de implementación de tecnología es muy fundamental para este sector productivo como es la actividad de la piscicultura como un sector agropecuario, la implementación de nuevas técnicas basadas en tecnología ayuda a una mejora de rendimiento que tiene como ventajas de reducir costos en varios aspectos, uno de ellos es la mano de obra para funciones simples como el conteo de alevines e implementaciones de tecnología en este ámbito hace un mejor manejo más sostenible de la cría y comercialización de peces.

Existen varias tecnologías aplicadas en el conteo de alevines de las cuales han destacado:

- Conteo por sensores infrarrojos
- Conteo por visión artificial

#### **a. Conteo por sensores infrarrojos**

El conteo de alevines mediante sensores ha trascendido en tecnologías para el conteo de alevines, uno de los más importantes es el método por sensor infrarrojo el cual un alevín tiene que cortar el haz de luz para ser tomado cuenta. La forma como opera este proceso muchas veces es de forma inalámbrica y así enviar datos de conteo, el rango de trabajo tiene un cierto límite debido al sensor ya que si pasan dos peces o más no son tomados en cuenta ya que el sensor infrarrojo trabaja de forma

directa o como mejor se puede llamar un sensor ON/OFF, para lo cual en esta tecnología que sirve en muchos casos los alevines de cierta manera deben proceder a una organización de trasvase de forma lineal para ser contados.

### **b. Conteo por visión artificial**

Es un método de última generación que tiene un gran auge por su amplio campo de aplicación, esto ayuda a una gran automatización en la industria, en este caso se aplicó al conteo de alevines, por la mayor parte como prototipos y pocos como centro de trabajo y lanzados en la industria.

Este método se dio en los últimos años gracias a la creación de software y también librerías de desarrollo en visión artificial para trabajar en tiempo real ya sea con video recopilados o con cámaras de alta velocidad para el conteo de alevines; gracias a este desarrollo en la parte de visión se crearon herramientas de trabajo para la industria y un claro ejemplo es en el campo de la acuicultura.

Uno del software más conocidos y aplicados para el desarrollo de visión artificial es bajo LABVIEW que ayuda al desarrollador a utilizar herramientas de procesamiento y análisis de imágenes y video

## **1.8. Equipos en la automatización de la piscicultura**

Los equipos utilizados en sistemas automáticos son varios en diferentes áreas, pero en su totalidad no cubren a todas las industrias de acuicultura y piscicultura, debido a falta de recursos para poder adquirir, se debe mencionar que el beneficio de la automatización hoy en día tiene un costo alto pero con el tiempo genera más productividad a la empresa, es por esa razón que se debe optar por estos beneficios, entre los equipos automáticos se tienen los siguientes

- Detección de condiciones del agua para peces
- Clasificadores de peces por tamaño
- Alimentadores automáticos de peces
- Control y llenado automático de piscinas de peces

### 1.9. Estado del arte

El desarrollo de la tecnología en los últimos años ha permitido que se puedan crear máquinas autómatas que ayudan a mejorar la productividad en la industria y de esta manera llevándola a otro nivel.

A continuación se muestra una serie de proyectos relacionados a la función de conteo de alevines que están en vigencia.

**a. TEMA:** Propuesta de sistema de conteo de alevines de tilapia roja de bajo costo usando técnicas de Visión Artificial

**AUTORES:** Rubén Darío Vásquez Salazar, Ahmed Alejandro Cardona Mesa, Leidy Yohana Ocampo Osorio.

**UNIVERSIDAD:** Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid

**AÑO:** 2015

**b. TEMA:** Un sistema de detección de peces para escala de hendidura vertical utilizando tecnología láser y técnicas de visión artificial

**AUTORES:** Rico-Díaz, A.J., Rabuñal, J.R., Puertas, J., Pena, L., Rodríguez, A.

**UNIVERSIDAD:** Universidad de Coruña (España)

**AÑO:** 2015

**c. TEMA:** Automated Fish Fry Counting and Schooling Behavior Analysis Using Computer Vision

**AUTORES:** R. T. Labuguen and E. J. P. Volante, A. Causo, R. Bayot, G. Peren, R. M. Macaraig, N. J. C. Libatique, G. L. Tangonan.

**UNIVERSIDAD:** Ateneo de Manila University Philippines

**AÑO:** 2012

**PUBLICACIÓN:** 2012 IEEE 8th International Colloquium on Signal Processing and its Applications

**d. TEMA:** Automated Acoustic Method for Farmed Fish Counting and Sizing during Its Transfer Using DIDSON

**AUTORES:** Jun Han, Naoto Honda, Akira Asada y Koji Shibata.

**UNIVERSIDAD:** Université de Sherbrooke

**AÑO:** 2009

### **1.10. Equipos Mecatrónicos empleados para la piscicultura.**

Los equipos Mecatrónicos ayudan a mejorar la productividad de la industria piscicultora, empresas como la de ACUITEC desarrolla equipos mecatrónicos.

#### **a. Sistemas de alimentación de peces**

Este sistema de alimentación automático consta de un autómata o PLC como su centro de control, y en la parte mecánica mediante sistemas neumáticos que ayudan a distribuir el alimento en seco, el sistema es mecatrónico por su automatización, también formado de una parte electrónica ya que consta de un PLC que ayuda al control del sistema de alimentación. En la figura 6 se observa una distribución de alimento.



**Figura 6. Alimentación con sistema mecatrónico.**

**Fuente:** (ACUITEC, 2006)

#### **b. Oxímetros.**

Se considera como un equipo mecatrónico debido a cumple la función de automatizar mediante control, lo que hace este autómata en la piscicultura es memorizar más de 25 medidas y además ayuda a la

medición de temperatura, teniendo como principal objetivo la exactitud, y una de ellas es la corrección de la salinidad y de la presión atmosférica, su estructura fue diseñada para manejar en ambientes donde el agua puede estar en contacto y no obteniendo fallas.



**Figura 7. Sistema mecatrónico Oxímetro**

Fuente: (ACUITEC, 2006)

Existen varios sistemas automáticos de los cuales se ha destacado dos de la empresa ACUITE, pero existen una alta variedad de sistemas mecatrónicos y a continuación se mencionan algunos importantes:

- Sistemas de Oxigenación y control
- Bombas automáticas de trasvase para transporte de peces
- Generadores Automáticos de oxígeno.
- Clasificadores de tamaño macro y micro por la empresa VAKI.
- Escáner contador de salmones para una cuencas de ríos.

### **1.11. Sistemas embebidos**

Hoy se vive rodeado de estos sistemas y son muy necesarios para cumplir funciones específicas, no hay que confundirse en su significado ya que un sistema embebido no es una computadora de escritorio ni una estación de trabajo, al contrario, un sistema embebido es todo sistema que cumple específicamente una sola función o pocas con una sola finalidad

que es la de optimizar en gran detalle para mejorar parámetros como es dimensión, consumo, confianza y desempeño que están compuestos de determinado software y hardware. Una característica específica de los sistemas embebidos es que en un solo chip o microcontrolador incluyen un procesador, interface, memoria de almacenamiento y otros parámetros de procesamiento.

Unos claros ejemplos de sistemas embebidos hoy en día son:

- En la parte automotriz los navegadores mediante GPS o también pilotaje de forma automática y demás funciones que brindan un trabajo de mayor optimización
- En la parte de la ingeniería en telecomunicaciones los clásicos repetidores que con la función de extender la red ayudan a una mejor capacidad de optar por internet, así como los celulares que ayudan en la función de comunicación.
- En los hogares se puede encontrar varios de estos sistemas como puede ser las refrigeradoras, los clásicos microondas, aspiradoras.

En un sistema embebido se puede determinar varias dependientes o parámetros como es la capacidad de procesar suficiente información y aún más cuando se debe cumplir el objetivo de una sola función por lo que se trabaja en solo mejorar, para ello existe parámetros importantes como los lenguajes de programación de alto nivel que influyen en gran manera, así también como los sistemas operativos que brindan una capacidad de interactuar con el sistema, otro parámetro que da un sistema embebido es el funcionamiento a través de una serie de diagramas, así también como la información y un código de forma automática, finalizando con una simulación de todo el sistema para brindar seguridad y fiabilidad.

Pero hay que tomar en cuenta que un sistema embebido necesita de un buen equilibrio comercial y personal en todas las áreas, pues si se va a optimizar para mejorar también se debe crear sistemas embebidos accesibles a cualquier usuarios si este lo necesita por lo que se ha decidido determinar un precio viable, por ejemplo un microondas como sistema embebido no puede costar más de 5000 dólares excepto que tenga muchas

más funciones a lo cual no vendría a ser un sistema embebido y por eso es necesario un buen precio y también ahí entra lo que es la disponibilidad de poseer este servicio o sistema, otro parámetro de equilibrio es el soporte, que tal sistema debe tener para que llegar al objetivo que es una optimización para mejorar.

### **1.12. Cámaras para visión artificial**

Para el desarrollo de un trabajo con visión artificial lo importantes es la cámara y dependerá de varios factores como son los objetos con los que van a interactuar, la correcta luz de la escena y quizás la temperatura ya que todo dependerá de la aplicación a desarrollar.

Es importante saber que las cámaras para la automatización industrial en el campo de visión capturan detalles de la imagen en concreto y envían a la máquina sin comprimir, esto hace ver que la calidad de la imagen no sea buena, en comparación con los teléfonos celulares es de esperarse una imagen de excelente definición pero no brindan de un gran manera en una lectura de características importante para el análisis de visión artificial, en cambio las que están destinadas para funciones en concreto de visión artificial en el campo industrial brindan un mayor análisis y lecturas en detalle de códigos de la imagen.

Pues el centro de todas las funciones de visión artificial lo conforma las cámara y son muy concretas en el tipo de aplicación, existen cámara con diversas funciones, un claros ejemplos son:

- Cámaras de alta velocidad
- Cámaras 3D
- Cámara inteligentes
- Infrarrojas
- Espectrales

### 1.13. Selección de lenguaje de programación.

No se conseguiría explicar en concreto algún software específico para visión artificial ya que se lo aplica en diferente software o entornos de programación como puede ser:

- Python
- C++
- Visual Studio
- Labview etc.

Y así no se lograría listar todo el software para implementar la aplicación de visión artificial pero se mencionó los más significativos; lo más importante para montar una aplicación con visión artificial es la librería que viene a formar parte del entorno de software, ya sea, ésta programación gráfica o en código.

#### a. C++ en el campo de visión artificial

Se hace mención a este lenguaje de programación base para el desarrollo de visión artificial, este entorno fue diseñado por Stroustrup en los años 80, ya que su objetivo principal fue la de una prolongación del lenguaje C para una función de objetos.

Es muy flexible en el campo de visión artificial, mediante la librería de OpenCV que más adelante se explica, como bien se sabe hasta el año dos mil las aplicaciones que se usaban Visión Artificial se programaba en lenguajes de bajo nivel sin tener grandes avances y desarrollos, ya que de igual manera la programación y los algoritmos usados para una aplicación de este tipo demandan de un cálculo muy extenso y complejo.

Los lenguajes de alto nivel como C++ proporcionan ventajas para un algoritmo de visión artificial muy eficiente, efectivamente estos desarrolladores proporcionan de librerías compactas para crear aplicaciones, como por ejemplo, sin lenguajes de alto nivel la programación era muy extensa y compleja sin embargo con librerías implementadas en estos lenguajes con una sola llamada a una función de la librería de visión

artificial se obtiene una dinámica corta de algoritmo pero con el mismo efecto.

#### **1.14. Librería de visión artificial Opencv**

El significado de su nombre en inglés es The Open Computer Visión Library que viene a ser un librería de visión artificial y los más beneficioso es que se caracteriza por ser un código abierto, esta librería ayuda hoy en día al desarrollo de aplicaciones mediante visión artificial trabajando en tiempo real, así también como la estructuración de datos y otros detalles importantes como el análisis y procesamiento de video e imágenes.

Opencv fue creado un 13 de Junio del 2000 por Intel Corporation donde proporciona una amplia gama de estructuras y funciones para el campo de visión artificial a nivel alto y a nivel medio, cabe destacar que nació bajo la licencia BSD (free software) y fue considerada una API ya que contenía aproximadamente de 320 funciones.

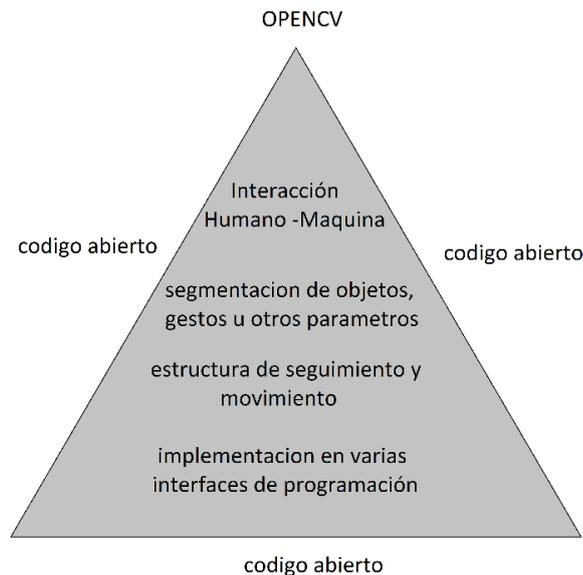
Esta librería de visión artificial es muy flexible al momento de trabajar porque además de ser código libre brinda al usuario una facilidad de uso, la necesidad de uso de esta librerías ha sido consideradas en varias universidades del mundo por ser dinámica y brindar un amplio campo de trabajo en el desarrollo de aplicación de tecnología, ya que se puede implementar a cualquier entorno de programación y especialmente utilizar en los sistemas operativos más utilizados hoy en día que es Windows y Linux.

#### **CARACTERISTICAS**

Las características más importantes de Opencv son:

- Es un software libre y puede o no ser usado comercialmente
- Carece de utilización de librerías externas, pero en algunas aplicaciones rara vez desarrolladas lo podrá hacer
- Posee acople con interfaces de programación muy variadas así como C++, Matlab, Python etc.

Opencv ofrece al usuario desarrollador de aplicación en tiempo real utilizando esta librería utilizar una cámara que ayuda a un marco de trabajo muy alto, ofreciendo al usuario crear su propio método de estructuración. En la figura 8 se puede observar una serie de características que son consideradas en Opencv.



**Figura 8. Características de Opencv.**

### **Aplicaciones**

Gracias a su flexibilidad de trabajo la librería de Opencv ofrece una gama alta en desarrollo de aplicaciones:

- En la producción de cine se puede utilizar la librería Opencv para una segmentación o variación de bordes para dar el efecto de 3d, así también como el seguimiento de formas para un movimiento de cámara automático
- En la robótica se puede utilizar para el movimiento de robots, gracias a la segmentación de objetos el robot puede realizar un movimiento adecuado en el espacio y así llegar a su objetivo donde realizar un adecuada operación ya sea de transporte o trabajo sobre el objeto detecto gracias a la segmentación
- Detección de objetos por aire, hoy en día esta aplicación está en auge ya que mediante el pilotaje de drones y una cámara incorporada se puede realizar un seguimiento de personas, así

también como análisis de terreno desde aire para detección de cualquier novedad.

- En la parte industrial hay una infinidad de aplicaciones entre las más importantes esta un lector de retina o detección de rostro para la entrada y salida de los trabajadores mientras que profundizando más se puede aplicar en máquinas como clasificadoras de productos, control de calidad etc.

## **CAPÍTULO II**

### **DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES**

#### **2.1. Parámetros de diseño generales**

Los parámetros de diseño de forma general son muy importantes para que la máquina de conteo de alevines pueda cumplir su función de conteo de manera precisa y óptima.

El objetivo más importante y al que está enfocado la investigación es la implementación de la máquina y que pueda realizar un conteo de alevines donde optimice el tiempo y la exactitud del conteo en la empresa Acuimagg.

Como parámetros y funcionalidades de este diseño se tiene las siguientes:

- Implementación de una estructura compacta, uniforme de fácil mantenimiento que ayude al conteo de alevines.
- Implementar un sistema embebido de alta eficiencia que brinde las posibilidades exactas de conteo.
- Desarrollar un algoritmo de visión artificial mediante lenguajes de alto nivel y que sea implementado junto a un controlador que ayude al control de conteo de alevines y sea didáctico para el operario.

#### **2.2. Diseño del sistema mecánico.**

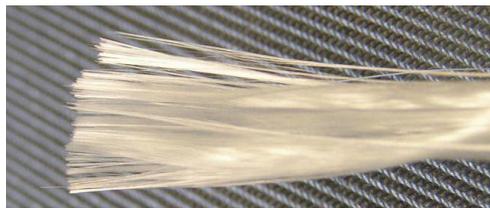
La máquina contadora de alevines como sistema mecatrónico consta de un sistema mecánico el cual cumple funciones de transporte de alevines de un lugar a otro y así ayudar al conteo de alevines.

##### **2.2.1. Alternativas y selección del material para la elaboración.**

Los materiales considerados para la estructura deben ser de carácter duradero y que a pesar de un funcionamiento constante con el agua puedan cumplir las funciones requeridas para lo cual se ha considerado dos materiales posibles, que son la fibra de vidrio y el acero inoxidable.

### a. Fibra de vidrio

La fibra de vidrio es un material compuesto de varias filamentos de vidrio que están aglomerados o también conocido como hilo de vidrio, al momento de unir estas fibras y que se puedan entrelazar mediante resinas especiales, esto da lugar a un material muy fuerte que sirve como estructura muy eficaz y para un acabado especial se realiza un pulido con discos especiales tomando en cuenta cualquier colores personalizado. En la figura 9 se puede observar la fibra de vidrio en su estado natural antes de ser procesada.



**Figura 9. Fibra de vidrio en bruto.**

**Fuente:** (Alemany, mimbrea, 2012)

Las propiedades más importantes de la fibra de vidrio son las siguientes:

- Posee una resistencia química muy considerable, con el tiempo este material no se pudre ni se deteriora, esta propiedad de resistencia química evade ácidos muy fuerte y que se diga del agua q con mucha fiabilidad podría resistir
- En su acabado final, y en su proceso la propiedad de masa es que posee un peso muy ligero con respecto a otros materiales y esto ayudara para fáciles maniobras e instalaciones.
- En cuestiones de mantenimiento es un ahorro a través del tiempo, pues no necesita de ningún tipo especial de mantenimiento
- Otra propiedad importante es que es un buen aislante eléctrico para lo cual en aplicaciones donde va a estar el contacto eléctrico no hay de que preocuparse.

## b. Acero inoxidable

Es un material muy fiable en el campo de la industria, pues resiste a la corrosión a diferencia del hierro, en otras palabras es un material que no se oxida al pasar del tiempo y es muy duradero y fuerte, como aplicaciones importantes se ha considerado este material con gran fuerza en la industria alimenticia por su contacto que no perjudica a las sustancias alimenticias. Como los principales elementos aleantes se tiene al molibdeno y el níquel. En la figura 10 se puede observar algunos perfiles de acero inoxidable.



**Figura 10. Perfiles de acero inoxidable.**

**Fuente:** (HIERROS ALFONSO, S.A., 2009)

Algunas de las propiedades consideradas en la selección del material para la estructura son las siguientes:

- Gracias a su alto contenido de cromo y el mismo que genera una capa de óxido de cromo de hace resistente a la corrosión y se restaura cada vez que sufre deterioros
- Este material resiste temperaturas demasiadas extremas sin pasar por ningún daño y los humos que puede generar no son para nada tóxicos.
- Su acabado es muy elegante y lúcido, pues no solo presume su exterior ya que en sí, el material brinda dureza eficaz, una elasticidad considerable y una muy buena ductilidad.

## **SELECCIÓN DEL MATERIAL**

Para seleccionar el material adecuado en la elaboración de la estructura se ha pensado en parámetros fundamentales como:

### **a. Resistencia a golpes y ralladuras**

Está muy importante para que la máquina pueda resistir todo tipo de movilidad, existirá casos donde el operario pueda golpear la estructura y lo que importa es que no pueda sufrir daños

### **b. Durabilidad con el tiempo.**

De igual manera la duración de la estructura al pasar el tiempo es importantes para ofrecer garantía de funcionamiento.

### **c. Acople a cualquier medio sin sufrir daño**

La máquina contadora de alevines estará en contacto con diferentes medios por lo cual la seguridad de acople sin sufrir ningún deterioro es fundamental.

### **d. Contacto permanente al agua.**

Siendo una de las características fundamentales porque la mayor parte de tiempo pasara en contacto con el agua se desea evaluar este parámetro.

### **e. Fácil mantenimiento**

Para un buen funcionamiento el progresivo funcionamiento es muy importante para lo cual el material debe cumplir con la pronta facilidad de un mantenimiento.

### **f. Riesgos en manufactura.**

De igual manera al momento de la elaboración y diseño de la estructura se pretende cuidar la salud, como por ejemplo si está en contacto con químicos tóxicos, expuesto a cortes etc.

### g. Resistencia a la corrosión.

Siendo una de las más importantes, porque como va a estar en contacto con el agua, el material no debe sufrir oxidación ni daños a un futuro.

### h. Fácil de adquirir.

La facilidad de adquisición en nuestro país es importante, para la elaboración, porque no serviría que la idea disponga de una material especial y 100% optimo, pero si no se encuentra la facilidad de conseguirlo en nuestro país, no serviría de nada, por lo tanto es importante hallar un material con tanta recurrencia en nuestro país. A continuación se evalúa las alternativas de materiales con respecto a una ponderación sobre cinco, siendo cinco bueno y uno malo.

**Tabla 1**

### Selección del material para la estructura de la máquina

Características	%	FIBRA DE VIDRIO		ACERO INOXIDABLE	
		Evaluación	Porcentaje	Evaluación	Porcentaje
Resistencia	10%	3	6%	5	10%
Durabilidad con el tiempo	10%	4	8%	5	10%
Acople a cualquier medio	5%	2	2%	4	4%
Contacto al agua	10%	1	2%	5	10%
Fácil mantenimiento	10%	3	6%	5	10%
Riesgos en manufactura	5%	5	5%	4	4%
Resistencia a la corrosión	10%	3	6%	5	10%
Fácil de adquirir	40%	2	16%	5	40%
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>23</b>	<b>51%</b>	<b>38</b>	<b>98%</b>
¿Desarrollar?		<b>NO</b>		<b>SI</b>	

Se ha considerado al acero inoxidable como material más ventajoso para realizar la estructura de la máquina contadora de alevines y por facilidad de lucro en nuestro país se consideró un tipo de acero inoxidable 304 2B ideal para este tipo de aplicaciones, a continuación se explica en detalle las características de este tipo de acero inoxidable.

### **Acero inoxidable 304 2B.**

Para la selección del material, se ha considerado el acero inoxidable por varias razones de industria y por la facilidad de costo, según las especificaciones de la contadora de alevines.

A continuación se listan una serie de diferencias en torno a la selección del acero inoxidable con respecto a la fibra de vidrio.

- Ideal para el contacto constante de agua, pues con la pendiente de acero inoxidable donde resbalaran los alevines se encontrara en constante vertedero, mientras que la fibra de vidrio con el contacto en el agua por mucho tiempo tiende a dañarse y la superficie lisa de contacto se verá afectada.
- Acople selectivo, para lo cual la contadora de alevines va estar en constante movimiento y acoplada en varios entornos, quizás pueda sufrir golpes y este material ayuda a cuidar la estructura ante tales casos, mientras que la fibra de vidrio con algún golpe o deterioro es dañada al instante y necesita de un proceso de restauración para conservar el diseño óptimo.
- Por sus características y campo de aplicaciones es un material adecuado para contacto con productos alimenticios y en este caso con vida animal como son los alevines, mientras que en la fibra de vidrio no es considerada para el contacto con sustancias alimenticias y vida animal.
- El costo de maquinaria y procesamiento para formación de estructura es accesible en el país, a diferencia de la fibra de vidrio que su proceso de diseño es costoso y no existe muchos en el país.

El acero inoxidable es una aleación de Hierro con un contenido mayor al 10,5% de cromo y contenido mayor de 1.2% de carbono, en la metalurgia

es uno de los más grandes avances tecnológicos por su alto contenido de cromo se crea una capa protectora de óxido de cromo q absolutamente impedirá que este oxígeno asimile el material y de esta manera evita la oxidación como en caso de otros aceros, también mencionar que esta capa ayuda en daños de tipo mecánico o químicos es autoregenerable en la figura 11 se puede observar la forma de autoregeneración del acero inoxidable.



**Figura 11. Fase de regeneración del acero inoxidable.**

Fuente: (Tecnología, 2006)

El acero inoxidable de la serie 304 es un acero para aplicaciones de tipo industrial alimenticia donde va estar en contacto constante con sustancias alimenticias y en mejor caso con vida animal. Según el acabado superficial el acero inoxidable seleccionado es el 2B que tiene un laminado en frío con tratamiento térmico. En la figura 12 se puede observar una serie de aceros inoxidables y la selección para la contadora de alevines.



**Figura 12. Acabados de aceros inoxidables.**

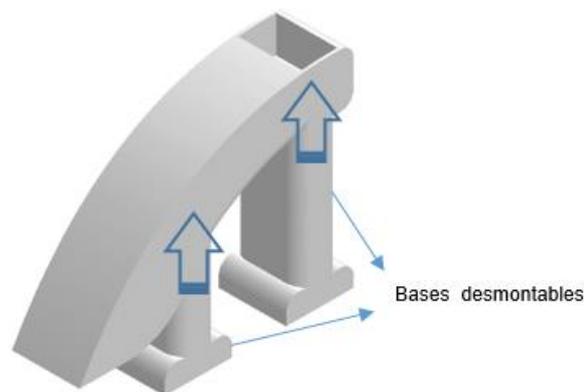
Fuente: (EURO INOX, 2015)

### 2.2.2. Diseño preliminares de la estructura

La estructura debe ser por lo general muy estable y adecuada para el conteo de alevines, en este caso se debe generar una pendiente de inclinación donde servirá de resbalin para que los alevines sean detectados, se planteó dos diferentes estructuras de diseño, ya sea un por parte y otro uniforme.

#### a. Diseño con facilidad de segmentación

En este diseño por partes, se plantea armar la estructura en el tiempo que el operario disponga, en este caso se compondrá de una pendiente y unas bases. Las bases serán incrustadas en la pendiente, tomando en cuenta que las bases formaran la pendiente adecuada para el resbalin de alevines, en la figura 13 se observa el diseño con piezas de fácil desmontaje.



**Figura 13. Diseño con varias piezas de soporte**

#### b. Diseño Global y uniforme

El diseño uniforme característico por ser una sola masa incorporando todos los componentes como cámara y sistema de iluminación, se ha creado este diseño pensando en la facilidad de mantenimiento para los operarios, este diseño ofrece la ventaja de maniobrar de mejor manera un contador de alevines, cumple el proceso

de ergonomía para los operarios en el hecho de no armar para un funcionamiento, sino al contrario solo conexión y ejecutado directo.



**Figura 14. Diseño Uniforme de la de estructura.**

### c. Comparación de Diseños

Entre los diseños categorizados se procede a una ponderación para selección el más óptimo, la ponderación de selección es sobre cinco.

**Tabla 2**

**Selección de diseños de estructura.**

Características	%	DISEÑO CON SEGMENTACIÓN		DISEÑO GLOBAL Y UNIFORME	
		Evaluación	Porcentaje	Evaluación	Porcentaje
Fácil Movilidad	20%	4	16%	5	20%
Compacto	10%	2	4%	5	10%
Ergonómico	10%	3	6%	4	8%
Facilidad De Instalación	20%	3	12%	5	20%
Estético	10%	3	6%	4	8%
Funcionalidad	30%	4	24%	5	30%
<b>Total</b>	100%	19	68%	28	96%
<b>¿Desarrollar?</b>		<b>NO</b>		<b>SI</b>	

Como se puede observar la selección más óptima en diseños de estructura es la de un sistema global y uniforme

#### d. Diseño Global y Uniforme

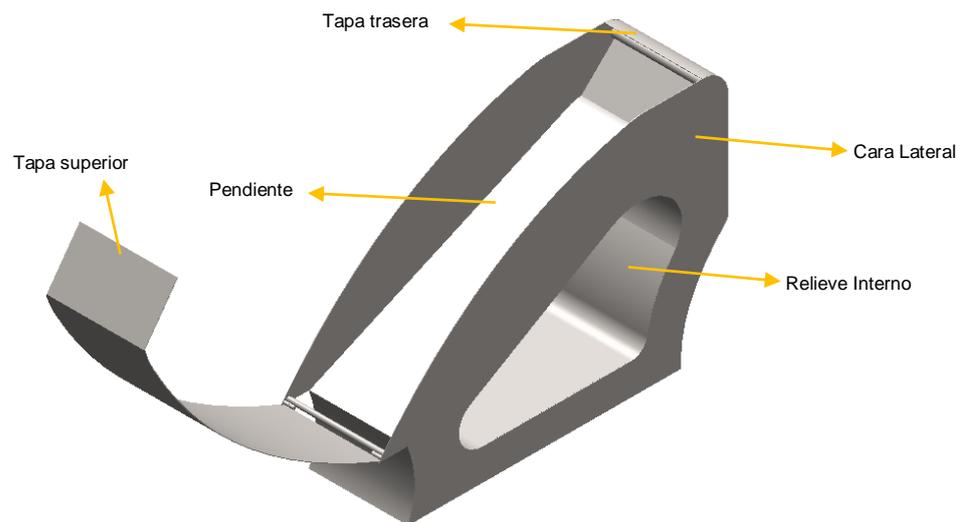
Al considerarse un diseño uniforme es porque la estructura está enfocada en una sola masa, con el objetivo de que pueda ser ergonómico para los operarios, con el propósito de evitar todo tipo de problemas en el aspecto de armado de estructura.

Un diseño uniforme es considerado muy importante en la industria, porque facilita a los operarios la manipulación, la movilidad, de manera muy eficiente sin tener que pasar por series problemas como:

- Que se desprendan partes de la estructura con facilidad.
- Fácil pérdida de componentes de la estructura.
- Difícil mantenimiento.

#### 2.2.3. Componentes y partes de la estructura

Mientras que en la figura 15 se observa la estructura base.



**Figura 15. Diseño de estructura base**

**Caras laterales.-** Las caras laterales brindan protección al interior de la estructura donde va estar ubicada la cámara y la luz led, tiene un forma

peculiar de cubrir principalmente la pendiente, y además tiene un corte centrar para ahorro de material.



**Figura 16. Diseño de cara lateral**

**Tapa trasera.-** La tapa trasera forma con las caras laterales una guía para las manguera que llega a formar la cascada, la tapa trasera brinda protección al depósito de alevines, con su curvatura superior ayuda a compactar la entrada de alevines



**Figura 17. Diseño de tapa trasera de la estructura base**

**Tapa inferior.-** Sirve como base para las caras laterales, tapa superior y tapa trasera brindando un equilibrio para ubicar la superficie deslizante de alevines y el relieve interno.



**Figura 18. Tapa superior de la estructura base**

**Tapa superior con pendiente resbaladiza.-** Es una parte muy importante porque encierra por completo la zona de la pendiente deslizante principal donde bajan los alevines y ayuda a formar un cámara oscura para que la luz directa ilumine por completo hasta el último rincón, trae consigo también la implementación otra pendiente en menor proporción resbaladiza para formar un depósito de alevines más compacto y así la entrada de alevines no sea un problema.



**Figura 19. Tapa de la estructura bases**

**Relieve interno de soporte.-** El relieve interno ayuda a que la estructura máquina contadora de alevines tenga una correcta estabilidad y equilibrio, trae consigo la ventaja de ahorro de material y da un detalle innovador, también se puede usar para ubicar objetos, ya sea contenedores de alevines u objetos en el proceso de conteo.



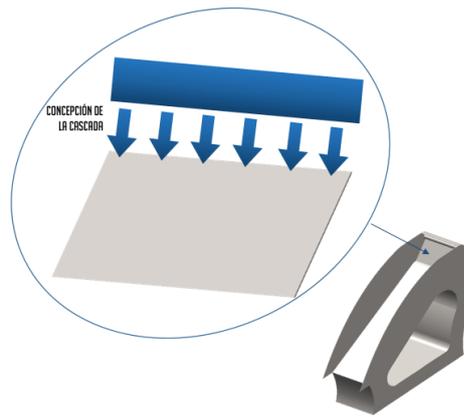
**Figura 20. Relieve interno.**

**Superficie con pendiente inclinada.-** Es la parte más importante de la estructura y como se vio anteriormente se evaluó un rango de ángulos óptimos para ubicar la pendiente dentro de la estructura y más que todo que cumpla la función de un superficie deslizante no muy inclinada para que no genere mucha velocidad del caudal y se corroboró que el ángulo fue menor a  $30^\circ$  y diferente a cero, esta pendiente se compacta en las caras laterales, tiene un doblez para formar el depósito de alevines horizontalmente, también se incrustó a las caras laterales con soldadura TIG.



**Figura 21. Superficie con pendiente inclinada**

**Pared para cascada.-** Se ubica en la parte superior tras el depósito y sirve como base para que la lámina de agua que sale de la T golpee y forme la cascada de bajada sobre la superficie.



**Figura 22. Pared de fuente en cascada**

**Eje y Bisagras.-** Las bisagras están hechas de acero inoxidable y se ubican en la parte del desfogue a un extremo apoyadas sobre un eje de acero inoxidable y soldadas en la tapa superior y permiten abrir adecuadamente para mantenimiento y ajuste de componentes internos.



**Figura 23. Eje y Bisagras para la tapa superior**

**T generadora de cascada.-** Está sobre la pared para cascada y cumple la función de generar el impulso de agua y crear el deslizamiento a través de su corte lineal de 1mm donde el agua sale en forma de lámina y golpea esta pared y baja sobre la pendiente principal.



**Figura 24. T generadora de cascada**

**Soporte lineal deslizante para cámara y luz.-** Este soporte se ajusta a una altura determinada de la pendiente principal y con unas bridas de ajuste se acopla en las caras laterales donde sirven de apoyo para un eje que sostiene el soporte de 2. Se implementó 2 de este tipo para la luz y la cámara



**Figura 25. Soporte lineal deslizante.**

**Soporte de 2 grados de libertad para luz y cámara.-** El soporte de 2 grados, uno alrededor del eje x y el otro alrededor del eje y ayuda a un calibración de la cámara y luz, tomando en cuenta que se tiene un ajuste lineal, para lo cual brinda una ventaja de 3 parámetros de calibración tanto de la cámara como de la luz. Cada una de estos soportes contiene unas placas que se ajustan mediante pernos.



**Figura 26. Soporte de 2 grados de libertad.**

**Filtro para abasto de alevines en la pendiente.-** Es necesario un filtro para abasto o abundancia de los alevines al momento que descienden en gran cantidad por la pendiente, el filtro se caracteriza por unas aberturas de un determinado tamaño formando canales de cincuenta centímetros de largo para que los alevines puedan pasar y ayuda a una mejor detección en el algoritmo y para un mejor conteo.

#### 2.2.4. Selección de método para trasladar alevines.

Algunos métodos para trasladar los alevines para poder ser contados son:

- Bomba de trasvase para transportar objetos mediante fluidos.
- Superficie deslizante con pendiente de inclinación mediante impulso de fuente de agua.
- Caída libre de alevines de un lugar a otro.

##### a. Bomba de trasvase para transportar objetos o fluidos afables

La bomba de trasvase es muy factible para el proceso de llevadero de alevines y los que se implementaría es un sistema donde cruce a través de este llevadero y cuente los alevines pero su costo es altamente elevado.



**Figura 27. Bomba de trasvase.**

Fuente: (AQUA-LIFE, 2007)

El funcionamiento de esta bomba es muy simple ya que trae consigo ventajas de control remoto y además puede operar a velocidad variable, todo esto lo hace que funcione como un lugar de incubación perfecto para todo tipo de peces, en la actualidad las empresas automatizadas en el área de la Piscicultura tienen manejo de esta bomba, en la figura 28 se observa el funcionamiento con alevines de trece centímetros aproximadamente.



**Figura 28. Funcionamiento de una bomba de trasvase.**

Fuente: (Matsusaka, 2015)

**b. Superficie deslizante con pendiente de inclinación mediante impulso de fuente de agua.**

Es una solución simple pero muy eficiente para un método de traslado de alevines de cualquier tipo ya sea peces, frutas, fluido etc. Lo que importa en la implementación y diseño de este método es un correcto ángulo de inclinación y en este caso para un deslizadero de alevines hay que considerarlo de gran manera debido al impulso de agua que va a recorrer a través de la superficie, esto influye en la velocidad de recorrido del alevín.



**Figura 29. Alevines por pendiente inclinada.**

Fuente: (AgrobrasiltV, 2017)

**c. Caída libre de alevines de un lugar a otro**

La caída libre para un conteo de alevines es de fácil implementación pero el conteo se hace en dos grados o más, es decir se necesita la implementación de dos cámara o más para captar todos los peces que caen

ya que hay que cubrir las tomas en trescientos sesenta grados, es factible si los peces caen de uno en uno pero el proceso se hace más lento, por lo cual es muy factible aplicar este método pero muy lento y con desventajas grandes para lo cual en esta aplicación no es necesario la implementación de este, pero es bueno mencionarlo para captar la dimensión de lo que se necesita en un contador de alevines.

**Tabla 3**

**Selección del método de depositorio para contar alevines**

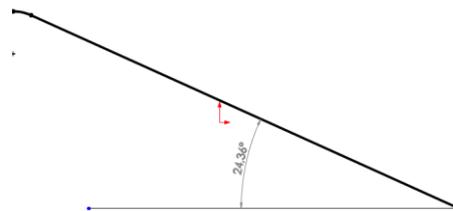
Características	%	BOMBA		PENDIENTE		CAIDA LIBRE	
		Evaluación	Porcentaje	Evaluación	Porcentaje	Evaluación	Porcentaje
Óptima en la empresa	10%	5	10%	5	10%	4	8%
Fácil Adquisición	50%	3	30%	5	50%	5	50%
Funcional en conteo	20%	5	20%	4	16%	3	12%
Seguridad para el alevín	10%	5	10%	5	10%	3	6%
Velocidad ajustable	5%	5	5%	3	3%	5	5%
compacta con la estructura	5%	5	5%	5	5%	3	3%
Total	100%	28	80%	27	94%	23	84%
¿Desarrollar?		<b>NO</b>		<b>SI</b>		<b>NO</b>	

**2.2.5. Diseño de la Superficie para deslizamiento de alevines**

Una superficie inclinada es óptima para un proceso deslizante de alevines y no es de muy fácil desarrollo, además es compacta a la estructura ya que no es un elemento individual, sino que va dentro de la

estructura y es funcional para la aplicación de contadora de alevines, pues por una área determinada pasaran los alevines formando un captura 2D con un grado de percepción de la cámara.

La superficie inclinada depende de un rango de ángulos que ayudan al deslizamiento de los alevines, los ángulos no deben ser mayores a treinta o igual a cero porque a más pendiente la caída es más rápida y hay que considerar que va a tener impulso de una vertiente de agua en forma de cascada que más adelante se va a explicar para lo cual se diseñó con un ángulo de  $24.36^\circ$ , en la figura se observa el ángulo para la pendiente deslizante.

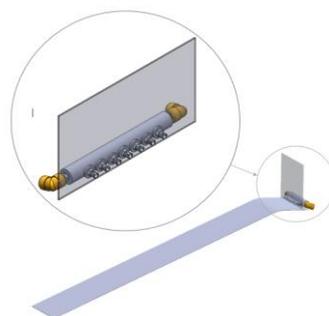


**Figura 30. Angulo para la superficie resbaladiza de alevines**

## 2.2.6. Alternativas y selección de vertiente hidráulica.

### a. Hilos múltiples de fuentes mediante bomba

Los hilos múltiples se componen de 5 espigas, las cuales ayudan a comparecer toda la superficie donde resbalaran los alevines, estas espigas son ubicadas en la parte del depósito donde ingresan los alevines. En la figura 31 se puede observar el diseño de esta vertiente hidráulica.



**Figura 31. Hilos para vertiente**

### b. Vertiente de cascada en superficie

La vertiente de cascada cubre toda la superficie inclinada, el objetivo de esta vertiente es crear una lámina de agua que baje por toda la pendiente, esto se realiza con el choque de agua en paredes o con una salida de agua por una abertura lineal, de tal manera que se acoplen a la superficie y formen un vertiente en forma de cascada, en la figura 32 se puede observar un claro ejemplo de la vertiente en cascada



**Figura 32. Cascada de agua de acero inoxidable.**

Fuente: (VidaXL, 2016)

Después de observar los diferentes métodos de vertiente que ayudan al deslizamiento de los alevines, se procede a la selección.

**Tabla 4**

#### Método de selección de Vertiente de cascada en superficie

Características	%	HILOS			
		MULTIPLES		CASCADA	
		Evaluación	Porcentaje	Evaluación	Porcentaje
Cubre toda la superficie	20%	3	12%	5	20%
Instalación	10%	3	6%	5	10%
Mantenimiento	10%	3	6%	5	10%

CONTINÚA 

<b>Ayuda al conteo</b>	30%	4	24%	5	30%
<b>Integridad del alevín</b>	10%	5	10%	5	10%
<b>Funcional</b>	20%	2	8%	4	16%
<b>Total</b>	100%	20	66%	29	96%
<b>¿Desarrollar?</b>			<b>NO</b>		<b>SI</b>

La selección más óptima es la cascada de agua debido a que los hilos hidráulicos no abastecen por completo la superficie y todos sus chorros no tienen un constante caudal, mientras que la cascada de agua abastece toda la superficie con un caudal constante creando una salida de agua lineal que llega hasta los rincones de toda la pendiente.

#### **2.2.6.1. Vertiente de cascada sobre la superficie.**

El diseño de la cascada de agua implementado en la superficie inclinada choca con una pared de acero inoxidable y forman una caída de agua lineal uniforme, creando así una superficie deslizante para los alevines.

### **2.3. Diseño del sistema electrónico**

El sistema electrónico es una parte fundamental de la contadora de alevines porque marca el proceso de conteo y ayuda a una exacta detección de alevines.

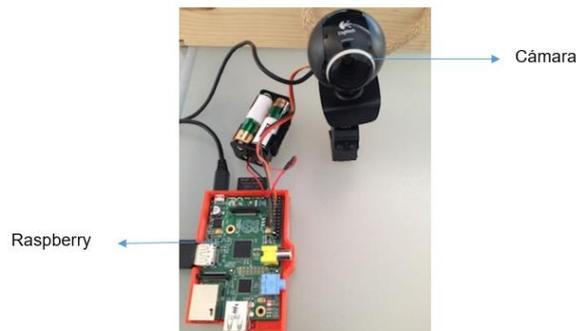
#### **2.3.1. Sistemas embebidos en visión artificial**

Los sistemas embebidos considerados para la aplicación de visión artificial son incontables, pero entre los más importantes y los que se consideró para la contadora de alevines se tiene los siguientes:

- Raspberry
- Nvidia Jetson

### a. Raspberry

Un sistema embebido desarrollado en la universidad de Cambridge, el software posee un código abierto y puede ser usado en diferentes aplicaciones, una de las más importantes son las de visión artificial. Es aplicable en la contadora de alevines pero existe una desventaja la cual no permite implementarla por completo en el sistema de conteo, es la velocidad de procesamiento, pues los peces pasan a gran velocidad en el enfoque de la cámara y no satisface el conteo a gran velocidad. En la figura 33 se puede observar un sistema embebido raspberry aplicado en visión artificial mediante una webcam.



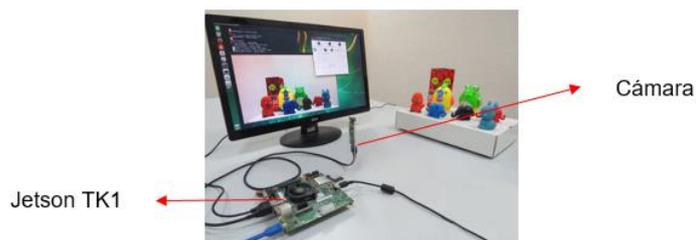
**Figura 33. Raspberry y aplicación de visión artificial.**

Fuente: (GerdsLabs, 2014)

### b. Nvidia Jetson tk1

Es un sistema embebido de los últimos tiempos, gracias a la tecnología Nvidia que desarrolla sistemas gráficos potentes en la serie de Nvidia Jetson TK1 específicamente está dirigido aplicaciones de visión artificial en el campo de la medicina, industria y robótica. Considerado con una fiabilidad de 100% para un conteo mediante visión artificial y especialmente en la contadora de alevines, que con su alto procesamiento se pondrá en marcha una visión artificial de alta velocidad gracias a su tecnología Kepler.

En la figura 34, se observa una aplicación de la Jetson TK1 con vision artificial mediante una cámara.



**Figura 34. Visión Artificial y Jetson TK1.**

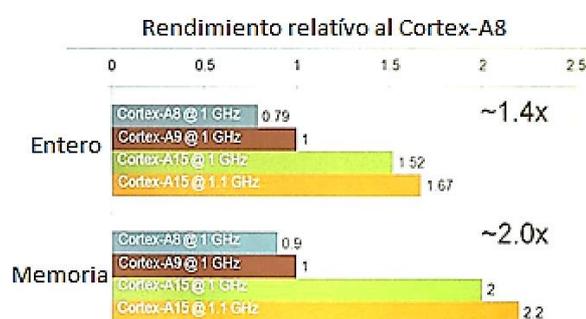
Fuente: (E-con Sytems, 2015)

### 2.3.1.1. Sistema embebido Nvidia Jetson Tk1

Es un sistema embebido de última generación que ayuda en la industria de la automatización, diseñada especialmente para el trabajo con visión artificial y programación paralela (CUDA).

Este sistema embebido es enfocado al desarrollador y cuenta con la tecnología de TEGRA K1 y es la primera generación que cuenta con esta tecnología, a continuación se lista unas características fundamentales de esta placa que son:

- Cuatro núcleos de procesador córtex A-15 Soc. (Sistema sobre un Chip) de 32 bits, esto quiere decir con un procesamiento hasta 2.5 GHz y un quinto núcleo Nvidia de bajo consumo.

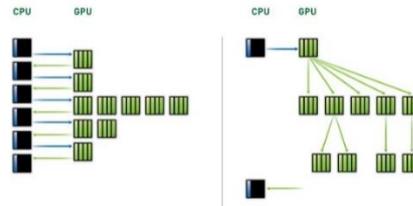


**Figura 35. Rendimiento del procesador Cortex A-15.**

Fuente: (ARM, 2010)

Procesador Quad-core, 4-plus-1 ARM que es un procesador basado en tecnología Kepler es una de las tecnologías más rápidas del mundo,

ayuda en la programación sobre la GPU y así pueda crear subprocesos de forma paralela sin depender de la CPU e incluye 2GB de memoria RAM y 16GB de memoria integrada eMMC para almacenamiento, en la figura 36 se observa la diferencia entre el trabajo de la CPU y la GPU.



**Figura 36. GPU con tecnología Kepler.**

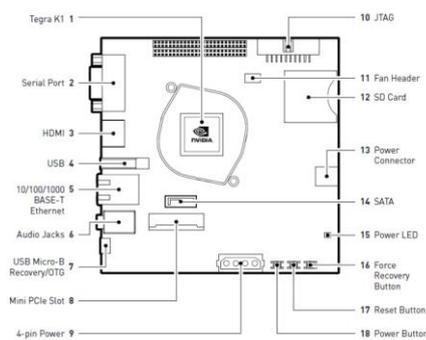
Fuente: (Nvidia, 2018)

## SLECCIÓN DE SISTEMA EMBEBIDO

Se selecciona el sistema Jetson Tk1 por su facilidad de manejo y por lo robusto en procesamiento grafico para estas aplicaciones de visión artificial.

### 2.3.1.2. Partes del sistema embebido JETSON TK1

Las partes del sistema embebido de Jetson Tk1 se pueden observar en la figura 37.



**Figura 37. Partes del sistema embebido TK1.**

Fuente: (Nvidia, 2018)

De las cuales en la máquina contadora de alevines se usaran las siguientes partes:

**a. Tegra K1 (1)**

Como parte más importante del procesamiento de imágenes, pues es el microchip que caracteriza a este sistema embebido.

**b. Puerto HDMI (3)**

Este puerto es esencial para conectar a la pantalla touch y el operario pueda manipular sin ninguna dificultad.

**c. USB (4)**

A través de este puerto actúa la visión artificial que es la cámara, con la característica que es puerto USB 3.0 y ayuda a un procesamiento mejor,

**d. Power connector (13)**

Para la alimentación del sistema embebido

**e. SD Card (12)**

Para el almacenamiento de información en el proceso de conteo. Para más detalle se presenta la guía de usuario en el Anexo A.

**2.3.2. Alternativas y Selección de la cámara para visión artificial**

La cámara es el centro del procesamiento o por decir el motor principal de la función de visión artificial para lo cual se consideró varios tipo de cámaras y tomando en cuenta que todas estas sean compatibles para el sistema embebido empleado.

**a. Webcams**

Las webcams tradicionales pueden ser de gran uso, tomando en cuenta las características que posean, obviamente como puede ser la resolución, fps (frames por segundo), protocolo de comunicación y protección. En comparación a otras cámaras poseen un bajo costo y son accesibles a los usuarios en cualquier parte del mundo.

**b. Cámaras especiales**

Existe una variedad de cámaras especiales que son compatibles con el sistema embebido Jetson TK1 y sus precios son muy altos, pero

contienen características excelentes para una aplicación de visión artificial el portal web que muestra la mayor parte de estas cámaras es e-con Systems.

E-con Systems es un pionero en el desarrollo de cámaras de alto rendimiento para los kits NVIDIA Jetson Developer. Muestra continuamente una serie de cámaras Jetson que utilizan la interfaz MIPI CSI-2 que actualmente disponen las plataformas de desarrollo de NVIDIA y usualmente a estas cámaras se las puede acceder mediante el uso de API V4L2 estándar.

### 2.3.3. Criterios de selección de cámara para visión artificial

Las especificaciones de la cámara que se va adquirir influye principalmente en los fotogramas por segundo (FPS) pues depende de esta característica el conteo óptimo de alevines.

#### a. Fotogramas por segundo

Considerada como la frecuencia de fotografías en un video, esta secuencia de fotografías por un estimado de tiempo es llamada cuadros por segundo y es muy necesaria al momento de especificar detalles en un video.

En la tabla 5 se puede observar una diferencia entre fps de una toma y al momento de congelar el video se puede observar una imagen clara o detallada.

**Tabla 5**

#### Diferencia de los fotogramas por segundo

FPS	EJEMPLO
15	
24	

CONTINÚA 



#### a) Resolución de cámara.

La resolución de una imagen generalmente es la cantidad de píxeles en una imagen y la proporción de detalles en la misma, ya sea, de mayor cantidad o menor, la resolución representa que tan nítida es la visualización de video o imágenes, es muy conocido que a una imagen que es nítida se le conoce como pixelada, pues una resolución mala dispone de una poca cantidad de píxeles mientras una imagen muy nítida dispone de una cantidad de píxeles de gran proporción en la tabla 6 se observa una comparativa de valores de las determinadas resoluciones digitales que se usan hoy en día en cámaras.

**Tabla 6**

#### Resoluciones de las cámaras

Resolución	H x V (Pixels)	Total Pixels
VGA (0.3 MP)	640x480	307200
720p HDTV	1280x720	921600
1.3 MP	1280 x 1024	1310720
2 MP	1600 x 1200	1920000
1080p HDTV	1920 x 1080	2073600
3.1 MP	2048 x 1536	3145728
5MP	2592 x 1944	5038848

#### 2.3.4. Cámara See3CAM\_CU30 de econ-systems.

Para la contadora de alevines se necesita de una cámara con características muy especiales, aunque se puede realizar con webcams convencionales pero los resultados no serán los mismos y es comprobable

por los fotogramas por segundo, hay que tomar en cuenta que los alevines se mueven rápidamente y se necesita que los fotogramas por segundo sean altos y además esta cámara debe ser compatible con el sistema embebido y gracias a los desarrolladores de econ-Systems se ha logrado adquirir este tipo de cámara que tanto en USB 2.0 como 3.0 los fotogramas son de 60fps en HD720p , en la figura 38 se observa la See3CAM\_CU30.



**Figura 38 Cámara See3CAM\_CU30 y lente M12.**

**Fuente:** (E-con Systems, 2015)

Esta cámara fue desarrollada por e-con Systems que son Ingenieros de la India que se encargan en el diseño de cámaras para sistemas embebidos y una parte específica de ellos está enfocada en plataformas Nvidia como puede ser Jetson TK1, TX1, TX2 etc.

Para la implementación de la contadora de alevines se selecciona la cámara de la serie CU\_30 que es una cámara súper rápida con protocolo de comunicación USB 3.0 de tipo C como se observa en la figura 39.



**Figura 39 USB 3.0 tipo C.**

**Fuente:** (BBC, 2015)

Mediante este protocolo de comunicación la cámara brinda grandes ventajas como su resolución, fotogramas por segundo etc. Esto siempre y cuando no se encuentre más dispositivos activos en la red de protocolo de comunicación USB. La cámara viene con un lente conocido como M12 y la mayoría de estas cámaras es proporcionado con uno de

estos, más adelante se explicara con más detalle sobre este Lente, en la tabla 7 se observa características esenciales de esta cámara con relación a sus protocolos de comunicación y formatos de video que brinda cada uno.

**Tabla 7**

**Características de cámara SeeCam cu\_30 en USB2.0**

<b>Resolución de la cámara</b>	<b>FORMATO UYVY</b>	<b>FORMATO MJPEG</b>
VGA	15 y 30 FPS	60 FPS
HD (720p)	8 y 16 FPS	60 FPS
Full HD (1080p)	4 y 8 FPS	60 FPS
3MP (2304x1536)	3 y 6 FPS	60 FPS
3.4 MP (2304 x 1536)	2.5 y 5 FPS	48 FPS
1920 x 1280	3 y 6 FPS	3 y 6 FPS
1152 X 768	9.5 y 19 FPS	9.5 y 19 FPS
1280 X 960	7 y 14 FPS	7 y 14 FPS
2048 X 1536	2.5 y 5 FPS	2.5 y 5 FPS

En la tabla se considera las características de la cámara pero con el protocolo de comunicación Usb 3.0 que presenta mejoras en la captura.

**Tabla 8**

**Características de cámara SeeCam cu\_30 en USB 3.0**

<b>Resolución de la cámara</b>	<b>FORMATO UYVY</b>	<b>FORMATO MJPEG</b>
<b>VGA</b>	30 y 60 FPS	30 y 60 FPS
<b>HD (720p)</b>	30 y 60 FPS	60 FPS
<b>Full HD (1080p)</b>	15,30 y 60 FPS	60 FPS
<b>3MP (2304x1536)</b>	15 y 30 FPS	60 FPS
<b>3.4 MP (2304 x 1536)</b>	12 y 24 FPS	48 FPS
<b>1920 x 1280</b>	25 y 50 FPS	50

CONTINÚA 

<b>1152 X 768</b>	30 y 60 FPS	60
<b>1280 X 960</b>	30 y 58 FPS	58
<b>2048 X 1536</b>	21 Y 42 FPS	50

Gracias a estas especificaciones se puede seleccionar el formato y la resolución con la que se trabaja en la contadora de alevines en la sección de pruebas se detalla con más precisión la resolución a la que trabaja el conteo. Los sistemas operativos con los cuales es compatibles la cámara son Windows 10, Windows 8, Windows 7, Linux.

La cámara no necesita de ningún driver al momento de la conexión a una plataforma, es más, existen aplicaciones para que pueda ser comprobada y verificar así los fotogramas por segundos y resoluciones de la misma, para más detalle de la cámara se dispondrá en el Anexo B.

### **2.3.5. Selección del lente.**

El lente es una de las piezas más importantes al momento de la implementación de la cámara pues brinda características ópticas de alta resolución teniendo en cuenta que la cámara posee un sensor de 1/3" proporciona un máximo campo de visión de 120 grados. Antes de seleccionar este lente se realizó lo siguientes cálculos para disponer del mismo.

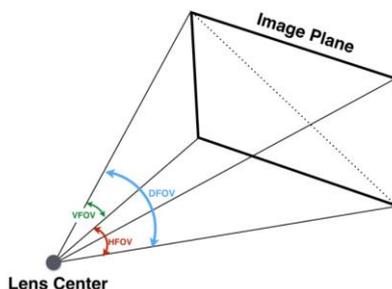


**Figura 40 Lente M12.**  
Fuente: (E-con Sytems, 2015)

#### **a. Selección de ángulo del campo visual**

El ángulo de enfoque o enfoque visual conocido por sus siglas como (FOV) que significa campo de visión es muy importante si la ubicación de

la cámara debe posicionarse de forma específica, en la figura 41 se muestra una representación de los campos de visión que son importantes al seleccionar un lente.



**Figura. 41 Ángulos de interés para cámara.**

Fuente: (MALLICK, 2016)

Para obtener estos ángulos de visión existen ciertas formulas las cuales dependen de longitudes que relacionan el ángulo en la tabla 9 se observa la representación de los ángulos de campos de visión y son las siguientes:

Donde:

*f* = distancia del lente a la superficie o cuerpo.

**Tabla 9**

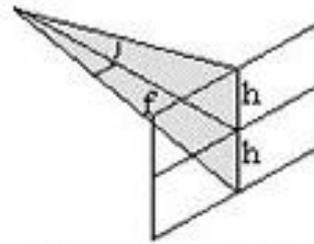
**Representación de los ángulos de campos de visión**

Formula del ángulo para campo de visión	Esquema
Angulo del campo de visión horizontal $HFOV = 2 \arctan\left(\frac{w}{f}\right)$	

CONTINÚA

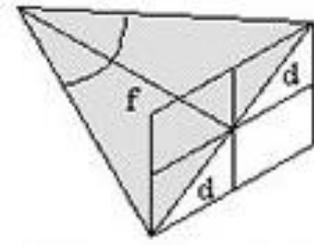
Angulo del campo de visión  
vertical

$$VFOV = 2 \arctan \left( \frac{h}{f} \right)$$



Angulo del campo de visión  
diagonal

$$DFOV = 2 \arctan \left( \frac{d}{f} \right)$$



En el caso de la contadora de alevines se necesita una que a una altura de 20 cm se pueda enfocar de forma horizontal 30 cm para lo cual se realizó el siguiente cálculo:

$$HFOV = 2 \arctan \left( \frac{w}{f} \right)$$

$$HFOV = w = 30cm = 300mm$$

$$f = 200 mm$$

$$HFOV = 2 \arctan \left( \frac{150}{200} \right)$$

$$HFOV = 73,73^\circ$$

Se halla el ángulo óptimo para ubicar la cámara a una altura de veinte centímetros y mediante el datasheet de la cámara que proporciona un ángulo por demás del valor hallado y con eso se comprueba que el ángulo para el campo de visión horizontal es muy suficiente.

Los ángulos que proporciona la cámara See3CAM\_CU30 con un sensor de 1/3" AR0330 de e-con Systems son los siguientes:

Tabla 10

## Ángulos que proporciona la cámara See3CAM\_CU30

FOV (Campo visual)	Grados de visión (°)
Diagonal(HFOV)	120°
Horizontal(HFOV)	103°
Vertical(VFOV)	70°

En el diseño de la contadora de alevines la cámara se ubica a una altura de veinte centímetros para que pueda enfocar horizontalmente treinta centímetros como se observa en la figura 42.



Figura 42 Ubicación de la cámara.

A continuación se representa conforme a la estructura de la contadora de alevines y la distancia que cubre el ángulo de enfoque horizontal (HFOV).

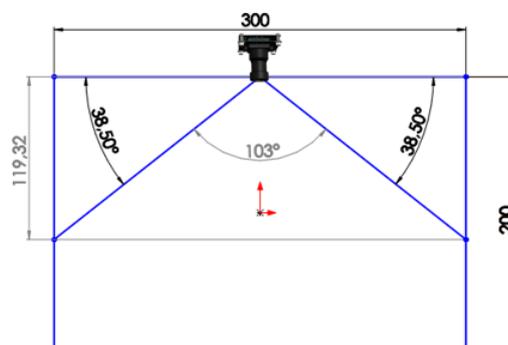


Figura 43. Angulo de campo de visión horizontal (HFOV)

### 2.3.5.1. Alternativas y selección del protocolo de comunicación.

Entre las alternativas de protocolos de comunicación de cámara See3CAM\_CU30 sobre el sistema embebido Jetson TK1 puede soportar son:

- PINES GPIO
- USB 2.0
- USB3.0

Entre los cuales el más óptimo para la aplicación de conteo de alevines es el protocolo de USB 3.0 por sus amplias características.

#### a. Protocolo de comunicación USB 3.0

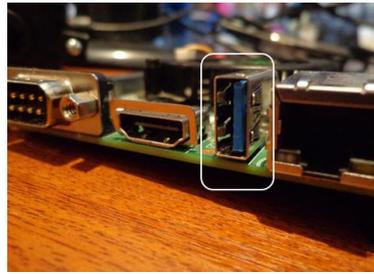


**Figura 44 USB3.0 en la See3CAM\_CU30.**

**Fuente:** (E-con Sytems, 2015)

El protocolo de comunicación más adecuado y que no presentan ninguna complicación es a través del puerto universal USB pero para mayor eficiencia a través de la comunicación 3.0, esto ayudara a un mejor procesamiento de imagen para visión artificial.

En el sistema embebido seleccionado para la aplicación de conteo de alevines posee un puerto USB 3.0 que se habilita mediante la terminal del sistema operativo para poder usar, brinda varios beneficios a la aplicación de conteo para que trabaje con mayor rapidez no solo con cámaras sino con dispositivos externos que se puedan conectar a través de este puerto. En la figura 45 se observa el puerto USB 3.0 del sistema embebido Jetson TK1.



**Figura 45 Puerto de entrada usb 3.0 de la JetsonTK1**

Las ventajas que brindan un puerto USB 3.0 son:

- Posee un transferencia de 4.8 GB máximas.
- Posee una doble transmisión que es enviar y recibir información.
- El consumo de corriente es de 900mA que permite dispositivos de alta gama y que sean más potentes.

## **2.4. Diseño de Software**

Es una de las partes más importante, considerado como centro de la investigación porque tanto la parte mecánica como la parte electrónica no servirán si el algoritmo de visión artificial no cumple la función de contar adecuadamente para lo cual es necesario la selección un lenguaje de programación y la librería adecuada.

### **2.4.1. Selección lenguaje de programación**

Se ha considerado lenguajes de programación de alto nivel para la aplicación de visión artificial, en la actualidad existen varios de estos lenguajes pero los más usados son:

- C++
- Python

Existen razones importantes para la selección del lenguaje de programación adecuado como son:

- Desarrollo de interfaces gráficas.
- Compatibilidad con Linux

- Software de interacción
- Facilidad de programación
- Proceso de instalación
- Licencia abierta

En la tabla 11 se evalúa los lenguajes de programación para el desarrollo del algoritmo de visión artificial, la ponderación se ajusta a una calificación sobre cinco siendo uno la calificación más baja y cinco la más alta.

**Tabla 11**

**Selección del lenguaje de programación**

Razones	Ponderación completa	C++	PYTHON
Desarrollo de GUIDES (interfaces graficas)	5	5	3
Compatibilidad con Linux	5	5	5
Software de interacción	5	4	3
Facilidad de programación	5	5	5
Proceso de instalación	5	5	4
Licencia abierta	5	5	5
Facilidad en el desarrollo de GUIDES	5	5	3
Total	35		
Seleccionar		<b>SI</b>	<b>NO</b>

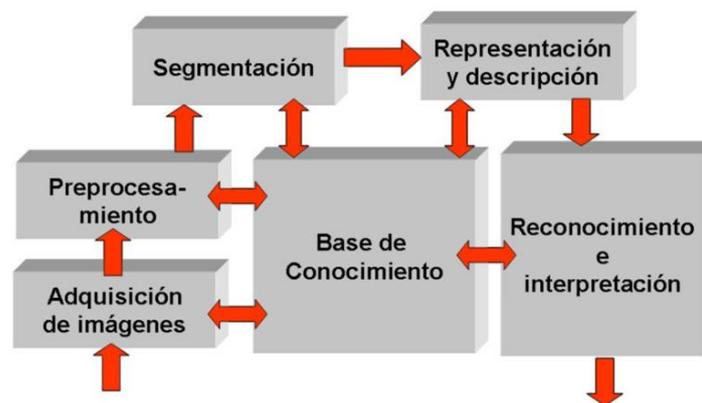
Con respecto a la aplicación de visión artificial existen librerías que se pueden incorporar en los lenguajes de alto nivel, muchos de las librerías son de código abierto mientras que otras no presentan su código y son pagadas, entre las más conocidas de código abierto se tienen:

- OpenCV
- Torch3vision
- VLX
- LTI-lib
- RAVL

Con respecto a la selección de la librería de visión artificial no hace falta la selección porque la más óptima y más conocidas, teniendo como más de 500 algoritmos de visión comparada a otros es OPENCV y es de fácil incorporación al lenguaje de alto nivel C++.

#### 2.4.2. Procesamiento de imágenes.

El procesamiento de imágenes es general para sistemas de reconocimiento y en la mayoría de casos se aplica un proceso consecutivo basado en adquisición de imágenes hasta el reconocimiento, el proyecto contadora de alevines se basa en este tipo de procesamiento, como se mencionó antes es general para sistemas de conteo.



**Figura 46. Etapas de procesamiento en visión artificial.**

Fuente: (openCV, 2016)

#### 2.5. Materiales, Componentes y Software seleccionados.

A continuación se presenta un resumen de los componentes usados en la máquina contadora de alevines y de la sinergia de las tres partes que lo componen que son:

**a) Sistema mecánico**

- Acero inoxidable
- Forma de estructura
- Superficie con pendiente
- Depositorio por cascada
- Bomba sumergible

**b) Sistema Electrónico**

- Nvidia Jetson Tk1
- Cámara See3Cam\_CU30
- Lente de cámara
- Protocolo de comunicación
- Controlador por monitor

**c) Sistema Software**

- C++
- Opencv

## CAPÍTULO III

### CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

#### 3.1. Introducción

Una contadora de alevines debe ser en la medida de lo posible una estructura resistente ante todo medio, pues se mantendrá en constante movilidad y en contacto poco proporcional con el agua, también se debe tomar en cuenta que el material de contacto con los alevines no debe dañar la integridad de esta especie. Consistirá en la entrada de alevines por una entrada de impulso de agua y como cuerpo principal una pendiente incrustada un filtro, seguida de la función de conteo mediante visión artificial y por último el desfogue exacto hacia un depósito.

#### 3.2. Construcción de la parte mecánica

En esta sección se especifica la construcción de la estructura global con láminas de acero inoxidable, así también como el impulso mediante un prototipo de cascada para la superficie con pendiente que combinado todos estos procesos brinda un desliz para que los alevines bajen por una superficie y sean contados.

##### 3.2.1. Construcción de la Estructura Global.

La estructura global está compuesta de láminas de acero inoxidable, pero cada parte tiene una función en específico.



**Figura 47 Estructura Global de la contadora de alevines**

### a. Corte de las láminas de acero inoxidable

Como se explicó en el diseño de la contadora de alevines, el material del cual se ha proporcionado a la contadora de alevines es Acero Inoxidable 304 2B por sus optimas características y además es esencial al momento de permanecer en contacto con los alevines, de tal forma que este material es considerado para alimentos y no se diga para contacto con peces por un estimado de tiempo considerable.

En la figura 48 se puede observar el trazado para los cortes del material, el cual se realiza mediante moladora y después su debido limado y pulido de detalles.



**Figura 48 Corte de las Caras Laterales mediante una Moladora**

Es importante pulir los cortes en acero inoxidable, porque al ser un material de alta durabilidad las limallas lastiman al momento de manipulación, de igual manera para la soldadura TIG se necesita que los contornos de corte estén lo suficientemente limados.



**Figura 49 Limado y pulido de los cortes para soldadura TIG**

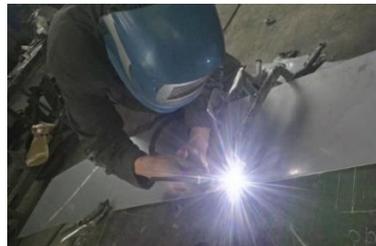
### **b. Soldadura de las láminas de acero inoxidable**

Para la soldadura TIG se usa el siguiente equipo



**Figura 50 Equipo de Soldadura TIG.**

La soldadura TIG es considerada como una de las soldaduras de más selección hoy en día para trabajos en acero inoxidable, tiene grandes beneficios en las diferentes aplicaciones, también por su resistencia y no es difícil de aplicarla, en la figura 51 se observa el proceso de la soldadura TIG.



**Figura 51 Soldadura TIG de caras laterales**

Al soldar láminas de acero inoxidable es importante pulir con la moladora y cubrir con ácido para obtener un resultado limpio, este proceso se observa en la figura 52.



**Figura 52 proceso de limpieza con el ácido H500- L1**

### c. Construcción de accesorio para filtro de peces

Para el filtro de peces lo que se realiza es una serie de canales de acrílico con una entrada deslizante para que los peces puedan caer en forma de flecha o verticalmente fijos, esto ayuda para que la detección sea más efectiva.



(a)



(b)

**Figura 53 Filtro de Alevines.  
(a) Construcción (b) Instalación.**

### d. Construcción de fuente de agua en forma de T.

Los materiales utilizados para construir la T es tubo de acero inoxidable de una pulgada, mediante un proceso de soldadura se da forma a una T con un corte de 1 mm para la salida de agua, esto ayuda para que pueda salir una lámina de agua y cubra toda la superficie de 30cm.



(a)



(b)

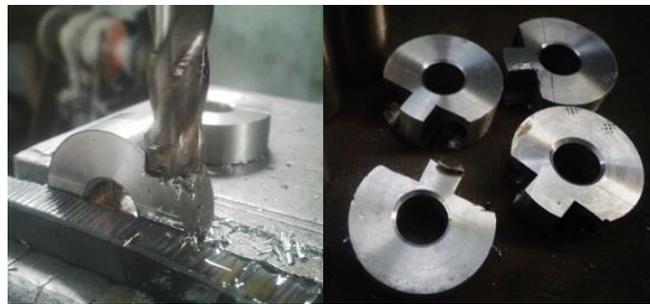
**Figura 53 "T" generadora de fuente  
(a) Salida en forma de "T", (b) Corte Linear de 1mm**



**Figura 54 Instalación de “T” en la máquina.**

**e. Construcción de los soportes base para cámara y luz.**

Para realizar los soportes ubicados lateralmente en el interior de la zona de conteo se procede a cumplir diseño en la fresadora de manual como se observa en la figura 54.



**Figura 54 Fresado de soportes manualmente.**

**f. Construcción del eje transversal.**

El eje transversal ayuda al movimiento de primer grado y va sostenido por los soportes base que estaban ubicados lateralmente y se lo construye con una superficie deslizante para ajustar posición de la luz y cámara, en la figura 55 se observa el maquinado del eje donde va ir los soporte de cámara y luz.



**Figura 55 Maquinado del eje.**

**g. Soportes de dos grados de libertad**

La construcción de los soportes de 2 grados de libertad se lo hacen a partir de una eje macizo de una pulgada y mediante soldadura TIG. Está compuesto por dos prisioneros para ajuste de movimiento, el primero es el que se ajusta en el eje ya antes mencionado y el segundo para rotacional contra la superficie.



**Figura 56 Material para construcción de soportes.**

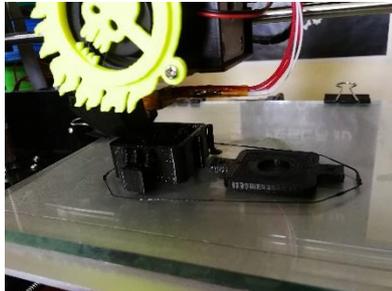
El soporte está compuesto de dos ejes macizos pero en el proceso de maquinado son perforados para incrustar un eje que sostiene la cámara e inmediatamente son ajustados por prisioneros en la parte del eje principal y del eje de la cámara, en la figura 57 se observa el modelo terminado.



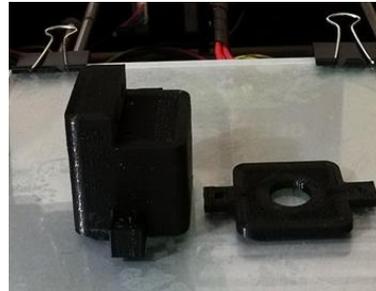
**Figura 57 Modelo de soporte terminado.**

### h. Construcción de carcasa para cámara.

Se optó de la impresión 3D para elaborar la carcasa de la cámara, ya que el proveedor de la cámara presenta el producto en circuito libre, la impresión ayuda a proteger de contacto con el agua y de esa manera evitar daños graves.



(a)



(b)

**Figura 58 Carcasa de cámara impresa en 3D**

**(a) Imprimiendo en 3D (b) pieza terminada**

### i. Placa en la luz led

Como se observa en la figura 59 la placa para la luz está hecha de acero inoxidable de espesor 3mm con taladrado a sus extremos y un eje de un centímetro de diámetro para ubicar en el soporte y obtener el segundo grado de movimiento.



**Figura 59 Placa de luz led**

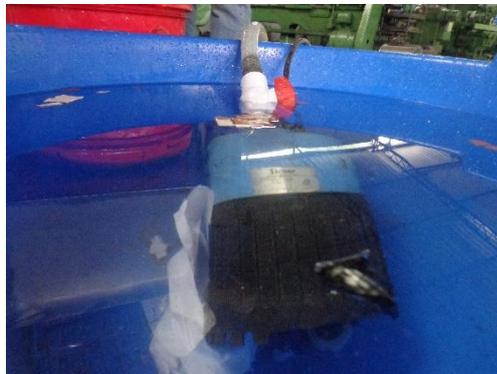
La Implementación de los 2 tipos de soportes con placa para la luz led de iluminación centro y la impresión 3D de la cámara se lo observa de la siguiente manera.



**Figura 60 Montaje de los soportes en la máquina.**

#### **j. Conexiones hidráulicas**

Las conexiones hidráulicas vienen compuestas de la bomba conectada con una manguera de una pulgada que va hacia la "T" donde proporciona la fuente de agua en forma de cascada.



**Figura 61 Bomba sumergible conectada hacia la "T".**

#### **k. Cubierta de Pintura en la máquina.**

La parte externa de la máquina se tiño de una pintura aluminio, mientras que la superficie para deslizamiento de los alevines e lo hace con una pintura especial llama pintura anticorrosiva blanco mate con catalizador epóxico y tiñer epóxico, esto ayuda a que soporte el contacto con el agua por 2 años, su debido mantenimiento se realizara a los dos años con su debido cuidado.



(a)



(b)

**Figura 62 Pintado externo e interno de la máquina**

**(a) Parte Interna (b) Parte Externa**

### 3.2.2. Fases de conteo.

Existen fases de conteo muy importantes en la contadora de alevines, se ha diseñado 4 fases de conteo que son:

- Depósito de alevines
- Llevadero
- Conteo
- Desfogue

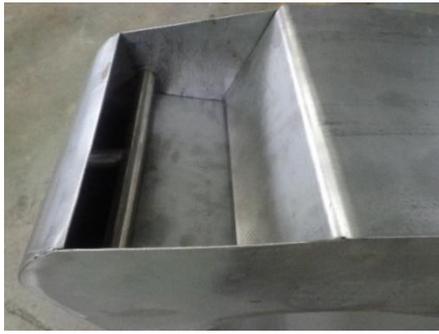
Se ha diseñado esto en base a que el conteo debe ser de forma ordenada y sistemática.

#### a. Depósito de alevines

El depósito de alevines es el inicio de conteo de alevines, esta fase fue diseñada para que el operario ingrese una determinada cantidad de estas especies, esta fase será caracterizada por el inicio del chorro o flujo de agua y los requerimientos que cumplen son:

- No detener a los alevines por mucho tiempo.
- Ser de tamaño adecuado para alojar una cantidad suficiente de alevines
- No atentar contra la integridad del alevín mediante el material que está diseñado
- No poseerá ningún filamento cortante para que perjudique a los alevines

- Superficie suficiente para el empuje mediante los 5 chorros de agua.



**Figura 63 Depósito para ingreso de alevines**

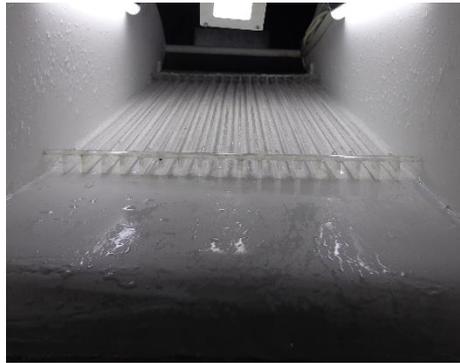
#### **b. Fase de Llevadero y filtrado**

El llevadero y filtrado considerado como una fase media y muy importante, al mencionar que es un llevadero es por la razón de que transporta por pendiente y la superficie es demasiada lisa siendo una ventaja, ya que el alevín posee una cierta viscosidad y eso ayuda a que con el acero inoxidable liso pueda resbalar sin problema.

En la parte de filtrado de se ha diseñado un accesorio por llamarlo el cual se ajusta en la parte de la pendiente como indica la siguiente figura.

Gracias al diseño de un filtro realizado de materia de nylon y adecuado para que no perjudique a la integridad del alevín, las funciones de este filtro son las siguientes:

- Separar alevines que llegan en conjunto.
- Crear un filtro uniforme con tamaño específico para distintos tamaños de alevines.



**Figura 64 Fase de llevadero y filtrado de alevines**

### **c. Fase de conteo**

Esta fase es una de las más importantes, ya que viene a ser el centro de funcionamiento y en si la que define a la máquina pues como su nombre lo indica, contadora de alevines.

Los componentes de esta fase son los siguientes:

- Cámara para la visión artificial
- Luz para enfoque.

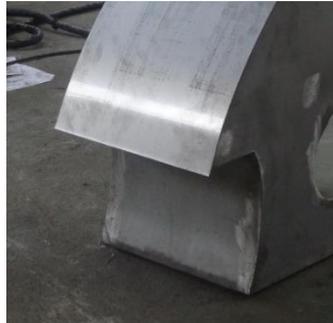


**Figura 65 Fase de conteo de alevines.**

### **d. Desfogue**

La fase de desfogue también es considerada como una de las más importantes, pues mediante esta etapa los alevines saldrán al depósito de contados, en esta última fase hay una serie de puntos importantes que brinda al desfogue de los alevines y son las siguientes:

- No detiene a los alevines después de ser contados.
- Direccionamiento exacto hacia el depósito final.
- Superficie secundaria que ayudara a un mejor desfogue.



**Figura 66 Desfogue para alevines.**

### 3.4 Construcción de carcasa reforzada.

En la figura 67 y 68 se observa una carcasa reforzada para elementos electrónicos para proteger la tarjeta Jetson y un router que sirve para acceso remoto y como tapa superior se construyó un vidrio el cual servirá de base para el teclado y mouse, esta implementación y diseño se indicó en el capítulo anterior.



**(a)**



**(b)**



**(c)**

**Figura 67 Construcción de pod de acero inoxidable**

**(a) Construcción de pod (b) Sin tapas laterales (c) Vidrio como base superior**



**Figura 68 Carcasa terminada para contener dispositivos electrónicos.**

### 3.5 Diseño Mecánico total

El montaje mecánico total incorpora dos elementos que es la estructura base donde se va a contar los alevines, segundo es el pod donde da cavidad a los elementos electrónicos.



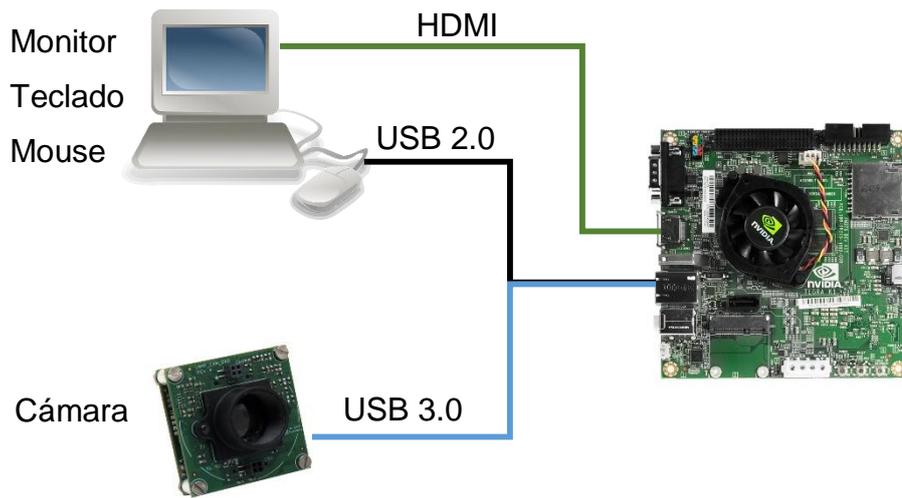
**Figura 69 Construcción finalizada**

En la figura 69 se observó la instalación en el área de conteo, donde un operario traslada los alevines de los tanques de cultivo, como se observa la zona de conteo no dificulta al operario para que pueda trabajar en la máquina.

### 3.6. Montaje de la parte Eléctrica y Electrónica

En este diseño se especifica los dispositivos electrónicos que se usan en la contadora de alevines, así como las configuraciones electrónicas y conexiones eléctricas.

El esquema de conexión es de la siguiente manera:



**Figura 70. Esquema de conexión.**

### 3.6.1. Configuración de Nvidia Jetson TK1

El sistema embebido Jetson TK1 está enfocado en desarrollar algoritmos robustos de visión artificial.

Este sistema embebido Jetson TK1 viene instalado de fábrica con el sistema operativo Ubuntu 14.04 con los controladores preconfigurados, este es llamado también Linux4Tegra que es una distribución de NVIDIA que viene por defecto.

#### a. Flashear NVIDIA Jetson TK1.

Para realizar un contador de alevines se desarrolla un software con un código base el cual realiza el trabajo de conteo y para construir un código de visión artificial y con soporte CUDA se debe instalar el Jetpack.

Al Flashear la tarjeta embebida se tiene acceso al uso de Cuda con OpenCV. Se instala el Jetpack Nvidia que en este caso será la versión 2, el Jetpack es una configuración de la tarjeta Jetson Tk1 que por defecto viene con CUDA 5.6 y Opencv 2.4.9 entre otros. De los cuales para la construcción de un código de vision artificial para conteo de alevines en este caso se va usar lo que es CUDA y OpenCV.

## b. Conexiones de Flashéo de Jetson Tk1



**Figura 71 Diagrama de conexión para flasheo.**



(a)



(b)

**Figura. 72 Conexiones para flasheo de Tarjeta.**

(a) Entrada micro USB JETSON TK1 (b) Conexión para Flashéo.

Después de realizar el flashear a la tarjeta el cual es muy simple porque solo se instala el Jetpack con todos los paquetes, una vez instalado se obtiene un ambiente de desarrollo de la tarjeta y listo para trabajar e instalar terceros que ayudaran a la máquina contadora de alevines

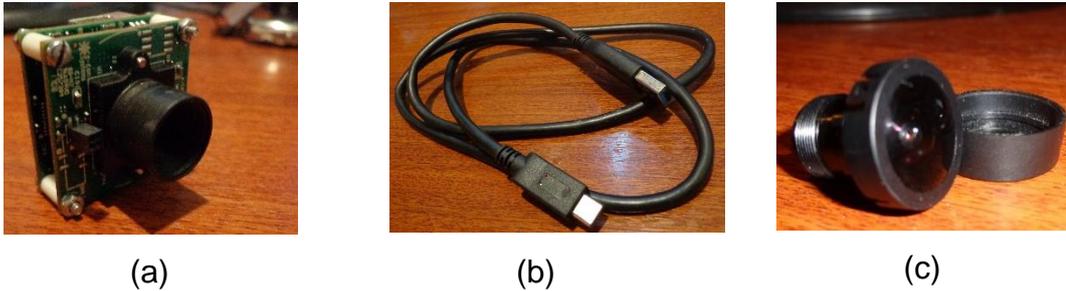
### 3.6.2. Conexión de la cámara a Jetson Tk1

#### a. Habilitación del puerto USB3.0.

La conexión de la cámara a la Jetson tk1 se lo hace a través del protocolo de comunicación USB 3.0. Antes de todo se debe habilitar el puerto usb porque por defecto viene en 2.0. Una vez habilitado el Usb 3.0 se procede a la conexión que es de los más simple a continuación se detalla los implementos de la cámara para su debida conexión

## b. Implementos y configuración de cámara

Los implementos de la cámara son 3, los cuales son el cable usb 3.0, el lente M12 y la cámara.



**Figura 73 Implementos de la cámara SeeCam CU30**  
**(a) Cámara (b) Cable USB3.0 (c) Lente M12**

A continuación se conecta la cámara a la tarjeta embebida, como la tarjeta viene por defecto solo con un puerto usb 3.0 lo que se hizo es proporcionar con extensor de Usb 3.0, en otras palabras lo que se hizo es proporcionar un extensor de USB en 3.0 de uno a cuatro, esto ayuda porque se necesita conectar un teclado y un mouse y quizás algún dispositivo para transferir o extraer archivos.



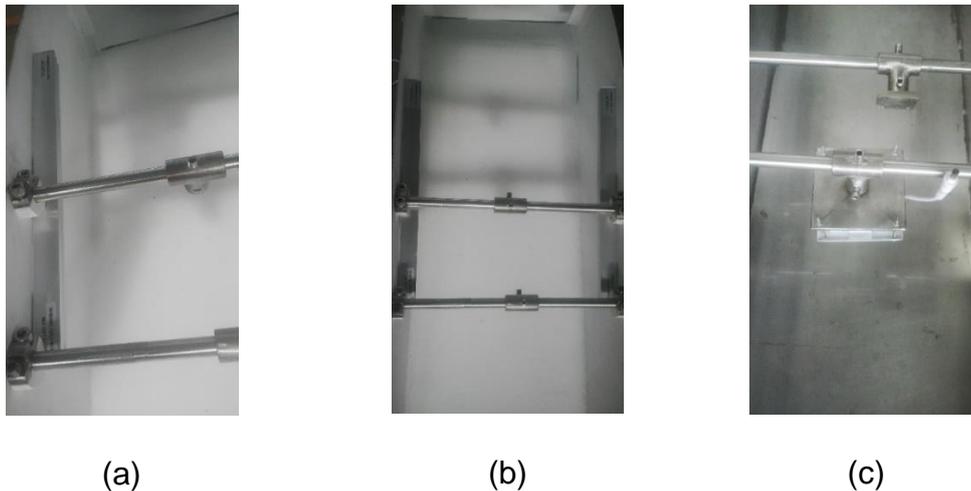
**Figura 74 Conexión de extensor Usb 3.0**

Después de la identificación de los implementos y acondicionamiento para conexión procedemos a conectar la cámara a la Jetson TK1. La cámara no necesita de ningún tipo de driver porque es compatible con Linux y Windows. Cuando la cámara es comprada el proveedor proporciona una aplicación para configuración de la cámara. Con la debida configuración se dispone a trabajar en la parte del desarrollo de

software pero antes de ese proceso lo que se hace es condicionar la luz para la cámara.

### 3.6.3. Montaje y Acondicionamiento de Luz.

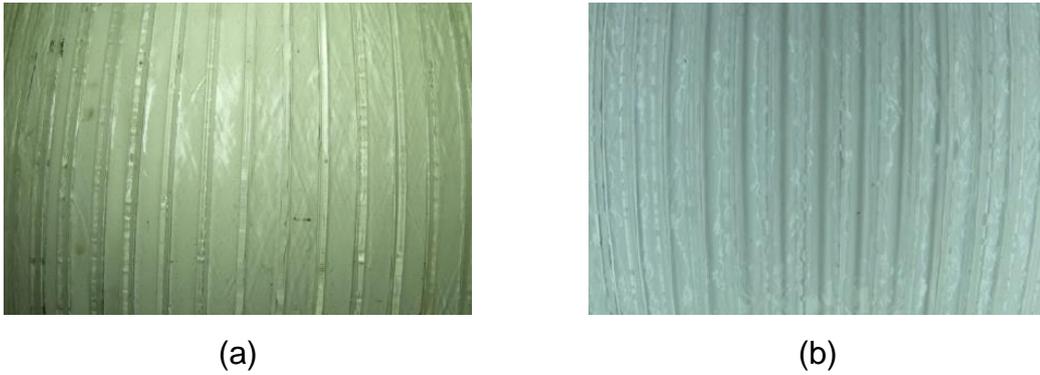
Debido al alto procesamiento la luz debe estar condicionada de manera adecuada para que alumbre hasta el último rincón. Para lo cual se usó dos luces led tubulares a los extremos y una luz central cuadrada de la siguiente manera.



**Figura 75 Condicionamiento de luz.**

**(a) Luz tubular lado izquierdo (b) Luces laterales montadas (c) Luz a cuadrada central**

Las ventajas de la luz lateral es muy importante para el enfoque de la cámara en el siguiente caso se puede observar las diferencias de usar solamente la luz central o las 3 luz incorporadas. Las pruebas de enfoque se realizaron en la Jetson Tk1 y así ver la fiabilidad de la cámara así como del acondicionamiento de la luz.

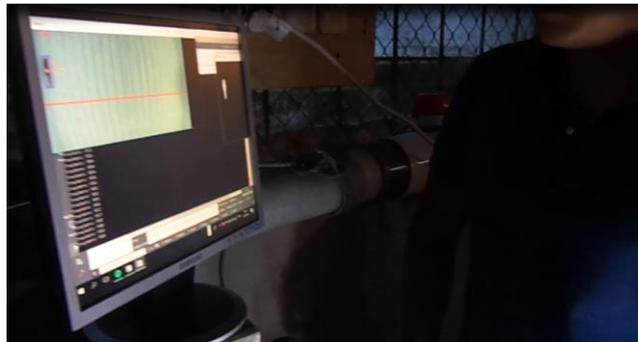


**Figura 76 Diferencia de luz central y las 3 luces incorporadas**

(a) Captura con luz central (b) Captura con 3 luces.

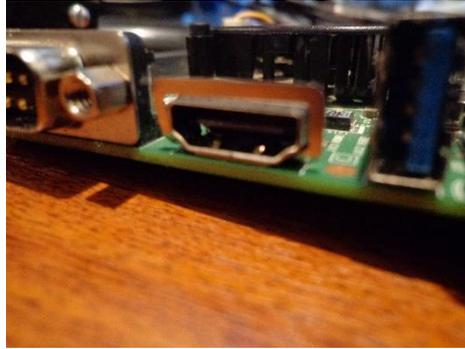
#### **3.6.4. Montaje del monitor para visualización**

El montaje del monitor es muy esencial para que los operarios puedan visualizar el conteo y la función principal es mostrar un panel de control sencillo de usar que se explicara en el siguiente capítulo.



**Figura 77 Montaje de monitor como panel de control.**

La conexión del monitor a la Jetson se lo hace a través del puerto HDMI, para lo cual se proporcionó un converso de VGA a Hdmi el cual ayuda a poder visualizar el sistema.



**Figura 78 HDMI Jetson para conexión de monitor**

### **3.7. Desarrollo de software**

En el desarrollo de software es importante los programas y librerías que se van usar, en este caso el desarrollo dependerá de:

- OpenCV 2.4.9
- Cuda 6.5
- QtCreator
- QtCam
- e-CAMview

#### **3.7.1. Tareas específicas de librerías y programas.**

##### **a. OpenCV 2.4.9**

Es una librería para vision artificial y es la más importante en el caso de la contadora de alevines, pues proporciona los algoritmos para conteo que se explicara más adelante.

##### **b. QtCreator**

Ayuda en el ambiente de programación con una interfaz amigable para el desarrollador y junto al lenguaje de programación de alto nivel C++ crea un ambiente de desarrollo estable y didáctico además que incorpora una sección para crear un HMI de manera fácil.

**c. QtCam**

Es la aplicación para calibración de la cámara, como son los parámetros de frames por segundos, frecuencia, ROI, efectos y procesamiento al gusto.

Al calibrar de esta manera la cámara se tiene una entrada fija en el conteo de alevines con los parámetros ajustados.

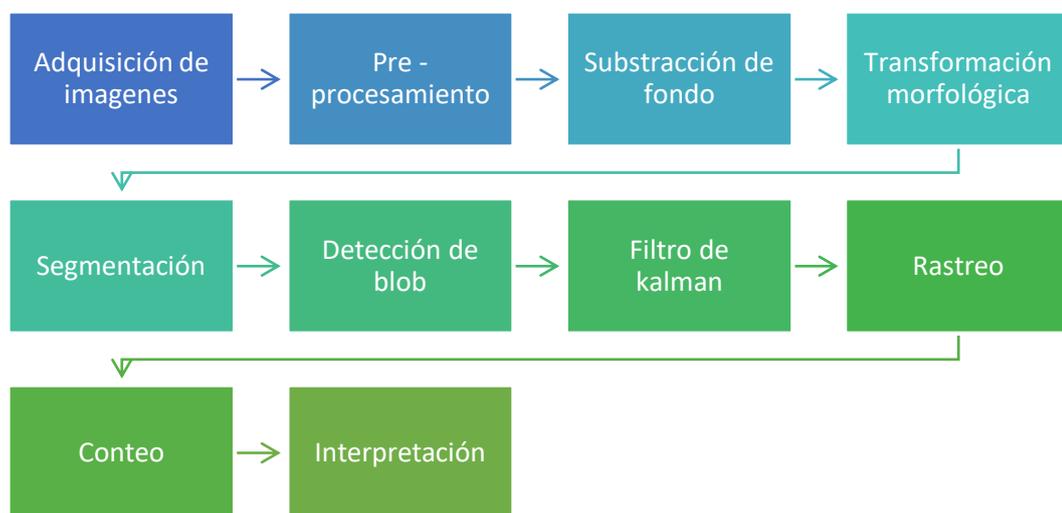
## CAPÍTULO IV

### DESARROLLO DEL ALGORITMO PARA CONTEO

Se ha dispuesto a estudiar un capítulo de la parte central de la contadora de alevines y así explicar detalladamente el conteo usando visión artificial.

#### 4.1. Procesamiento digital de imágenes.

El procesamiento de visión artificial es muy riguroso y abarca temas importantes acerca de filtros que se explicarán en los siguientes puntos



**Figura. 79 Etapas del procesamiento digital de imágenes usado**

##### a. Adquisición de imágenes

Es la entrada de forma digital de las imágenes que la cámara está detectando, esto se lo hace a través de algoritmos básicos de captura de la librería OpenCV.

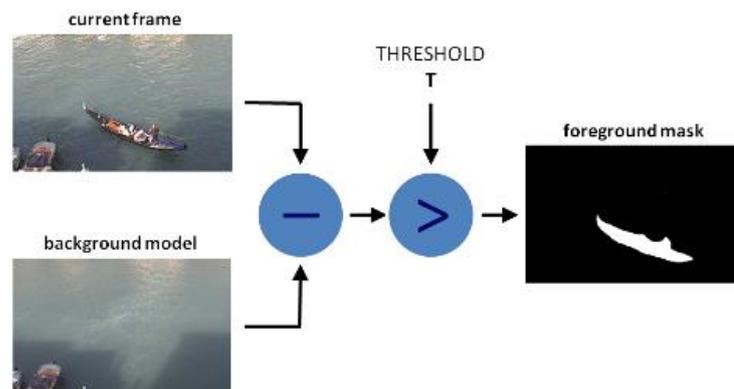
##### b. Pre – Procesamiento

El objetivo de esta etapa es comprimir partes de la adquisición digital que no interesan mucho: en esto se halla transformaciones a escala de grises, realce de algunos detalles o características de las imágenes en fin es una etapa de acondicionamiento que el desarrolladora deberá

ejecutar para tareas específicas con vision artificial, la mayor contenido de esta etapa se lo hace a través de algoritmos de la librería OpenCV.

### c. Substracción de fondo

Etapa después del acondicionamiento de las imágenes que ayuda a obtener un modelo de fondo y así comparar con modelos actuales de captura y mediante una segmentación se obtiene una máscara de primer plano, en otras palabras lo que se obtiene es una imagen binarizada de los objetos que se mueven.



**Figura 80 Algoritmo background subtraction**

### d. Transformación morfológica

La transformación morfológica se aplica después de la substracción de fondo para acondicionar la visibilidad de formas ya sea en dilatación o erosión, esto ayuda a que se pueda separar formas y darles un tamaño adecuado para una detección eficaz.

### e. Segmentación

La segmentación acondiciona resultados después de la transformación morfológica, en este caso las operaciones clave son las detección de bordes y el relleno de los mismos, ya que son parámetros esenciales para la siguiente etapa.

### f. Detección de Blob

Las detección de blob es una técnica de procesamiento de imágenes digitales que se ocupan en los últimos tiempos, es construido a través de

encabezados y archivos fuentes pues son diseñados por el desarrollador del algoritmos, sin embargo la librería de OpenCV brinda una herramienta parametrizada por defecto, en este caso se diseñó una estructura de blob para la detección de alevines.

#### **g. Filtro de Kalman**

En esta etapa la aplicación del filtro de Kalman es esencial para el conteo de alevines porque es un estimador asintótico que brinda un rastreo de los objetos, presentando al desarrollador parámetros como posición y velocidad de los objetos y por ende se obtiene predicción y actualización mediante puntos específicos.

#### **h. Rastreo**

Más conocido como Tracking, sin antes mencionar el filtro de Kalman dibuja trayectorias de los objetos a partir de los blob detectados y el rastreo acoge posiciones y velocidades que sirven como análisis para el conteo de alevines.

#### **i. Conteo**

Con los parámetros obtenidos del rastreo lo que se procede es a la lógica del conteo donde se analiza puntos del rastreo y que se encuentre en cruce por una línea horizontal para una respuesta afirmativa primeramente seguida con un contador.

#### **j. Interpretación**

Emulación de la cognición del procesamiento de imágenes digitales y consigo muestra el significado de todo el proceso. Los principales algoritmos que se usan para el conteo de alevines mediante OpenCV y Cuda son:

Tabla 12

## Principales algoritmos usados.

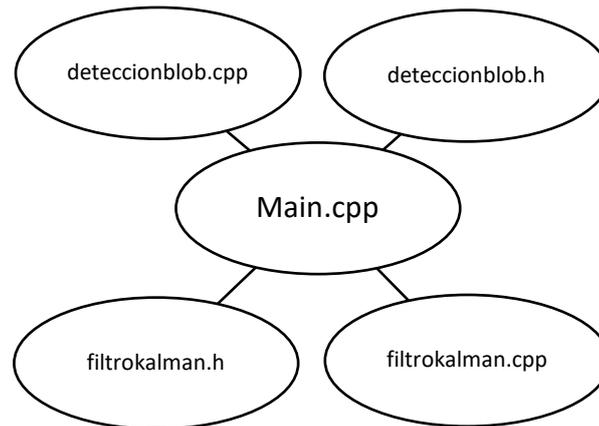
Algoritmo	Descripción
<b>VideoCapture</b>	Dar inicio a la cámara incorporada en el sistema de vision artificial
<b>CvtColor</b>	Transformación de los frames desde la toma original un ejemplo puede ser un conversión a escala de grises
<b>Imshow</b>	Muestra las imágenes en pantalla
<b>BackgroundSubtractor MOG</b>	Operador de sustracción de fondo, puede ser configurado en 2 modos que son: MOG (sin sombras) y MOG2 (con sombras)
<b>Erode</b>	Operación morfológica que en la binarización ayuda a la afinación de objetos es decir que se hagan más pequeños con un determinado kernel
<b>Dilation</b>	Operación morfológica que ayuda a que los objetos de en la binarización se hagan más grandes con un determinado kernel.
<b>Vector</b>	En este caso, crea un vector para almacenar ya sea posiciones u operaciones en específico.
<b>FindContours</b>	Encuentra los contornos de los objetos en la binarización
<b>ConvexHull</b>	Rellena los contornos hallados con findContours.
<b>Blob</b>	Creada por el desarrollador en este caso, ayuda a la detección de objetos, aplicándoles características en específico para convertirlas en burbujas y que sean fácilmente detectadas

CONTINÚA 

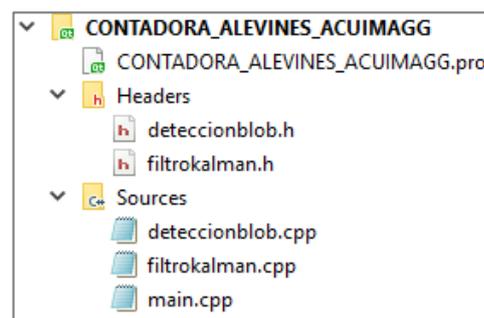
<b>Line</b>	Traza una línea en la interpretación para que sirva de guía para el conteo de alevines.
<b>Cout</b>	Escribe en la pantalla principal.
<b>waitKey()</b>	Función que muestra la imagen para un tiempo en milisegundos especificados por el desarrollador
<b>PutText</b>	Escribe en la interpretación de video, esta función es acondicionada a gusto por el usuario.
<b>Rectangle</b>	Traza un rectángulo en la interpretación de video, en este caso en la detección de alevines.
<b>DrawContours</b>	Dibujo los contornos de los objetos detectados (alevines) en la interpretación de video.
<b>KalmanFilter</b>	El filtro de Kalman es un interprete que ayuda al rastreo y predicción de objetos desde su centro de masas, proporcionando parámetros como posición y velocidad.
<b>Pushback</b>	En este caso regresa la posición penúltima de un punto o de un dato de algún proceso.

#### 4.2. Estructuración de Algoritmo con 2 clases.

En esta etapa lo que se trabaja con 2 clases que son encabezados y archivos fuentes que ayudan a la distribución en el desarrollo del código, una clase es un especificación que proporciona un servicio, en otras palabras es un plantilla donde en el encabezado existe una declaración de variables y el archivo fuente que es el cuerpo para la tarea específica, estos archivos combinados son llamados en el código fuente principal (Main.cpp) y ayudan a un código flexible y se arma de la siguiente manera:



**Figura 81 Distribución del código con 2 clases**



**Figura 82 Distribución con 2 clases en QtCreator.**

### a. Código principal Main.cpp

Es el archivo principal donde se encuentra la base del código así como el pre. Procesamiento, sustracción de fondo, segmentación, interpretación, conteo etc. Dentro de este archivo principal se llama a las dos clases como se observa el figura 83.

```

#include "deteccionblob.h"
#include "deteccionblob.cpp"
#include "filtrokalman.h"
#include "filtrokalman.cpp"
  
```

**Figura 83 Incluir 2 clases al archivo principal.**

#### **b. Encabezado deteccionblob.h**

El encabezado de la clase “deteccionblob” contiene declaraciones de variables que son el centro de masa de los objetos detectados y un rectángulo del rastreo de blobs entre otras operaciones básicas.

#### **c. Archivo fuente deteccionblob.cpp**

En el archivo fuente de la clase “deteccionblob” contiene las operaciones útiles para el conteo de alevines como era el centro de masa, intérprete de rectángulo sobre el blob detectado, el tamaño de la diagonal mediante el teorema de Pitágoras.

#### **d. Encabezado filtrokalman.h**

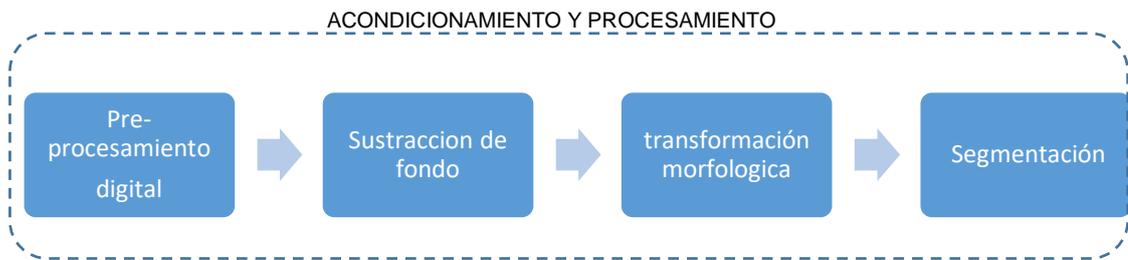
En el encabezado de la clase “filtrokalman” contiene las declaraciones con el algoritmo que proporciona OpenCV que es “KalmanFilter” que ayuda a la estimación óptima de variables de interés y se explicará con más detalle en los siguientes temas, también en este encabezado se declara el rastreo de los objetos detectados.

#### **e. Archivo fuente filtrokalman.cpp**

Por último el archivo fuente de la clase “filtrokalman” se acondiciona parámetros de la estimación óptima de los objetos detectados, es decir se escoge un método para obtener variables de interés con mayor eficacia, esto incluye matrices de acondicionamiento y procesamiento ante el ruido.

### **4.3. Acondicionamiento y procesamiento**

En este grupo de etapas se acondiciona la entra de video con un pre-procesamiento, sustracción de fondo, transformación morfológica y una segmentación.



**Figura 84 Grupo de etapas para un acondicionamiento previo.**

#### 4.3.1. Pre-procesamiento digital

Consta de una sola operación que es la de convertir a escala de grises el formato original de la adquisición de datos como se observa en la figura 85.



(a)

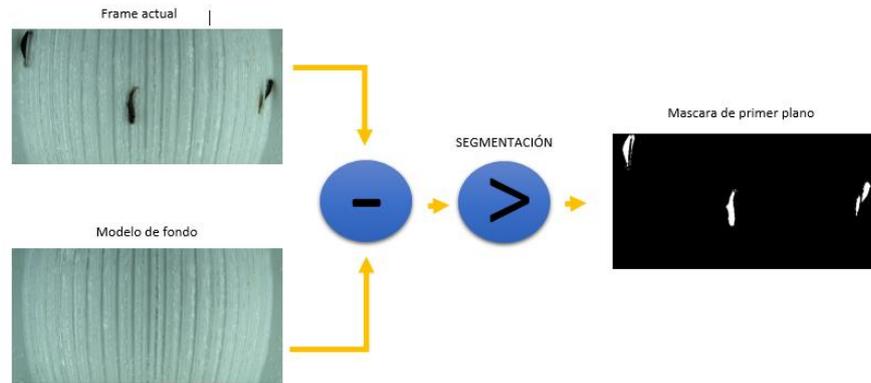
(b)

**Figura 85 Conversión a escala de grises.**

**(a) Formato original (b) Escala de grises**

#### 4.3.2. Sustracción de Fondo

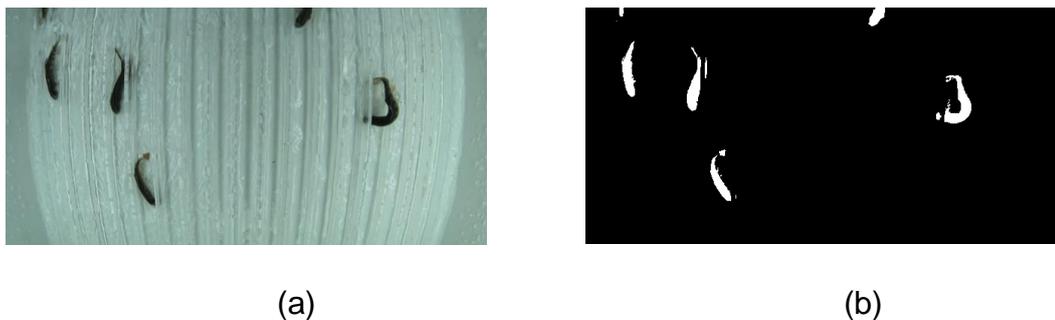
La sustracción se lo realiza a partir de la conversión de escala de grises, lo que se crea es una máscara para almacenar el fondo, mientras se hace una sustracción con los frames o capturas actuales, seguido por una segmentación o umbral con valores por defecto del operador de sustracción como se observa en la figura 86.



**Figura 86. Sustracción de fondo en el procesamiento de imagen**

Existen 2 operadores para el uso de la sustracción de fondo los cuales son MOG y MOG2.

**MOG.-** Este operador brinda un mascara de primer plano sin sombras con una binarización limpia y que puede ser calibrada con otro subproceso de segmentación pero en este caso se lo toma de la forma original.



**Figura 87 Aplicación sustracción de fondo tipo MOG**  
**(a) Frame actual (b) Aplicación de sustracción fondo.**

**MOG2.-** mientras que el MOG2 provee una máscara de primer plano con sombras y no es recomendable utilizarla en aplicaciones donde se necesita la definición de la forma como se observa en la figura 88.

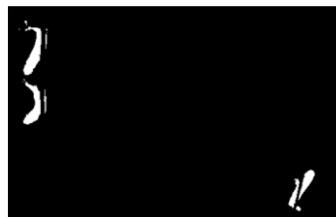


**Figura 88 Aplicación de sustracción de fondo tipo MOG2**  
**(a) Frame actual (b) Aplicación de sustracción fondo.**

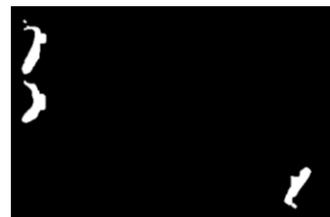
Como se mencionó antes, el operador con el que se trabaja es el MOG sin sombrar para no obtener inconvenientes y que no se sobreponga en la detección.

#### 4.3.3. La transformación morfológica

En la transformación morfológica existen una variedad de operación pero las más importantes para aplicar en este caso son erosión y dilatación con determinados elementos estructurado o más conocidos como kernel's que ayudan a una afinamiento de los alevines detectados en la binarización dada por la sustracción de fondo.



(a)



(b)

$$K = \frac{1}{25} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

(c)

$$a) \quad K = \frac{1}{100} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

(d)

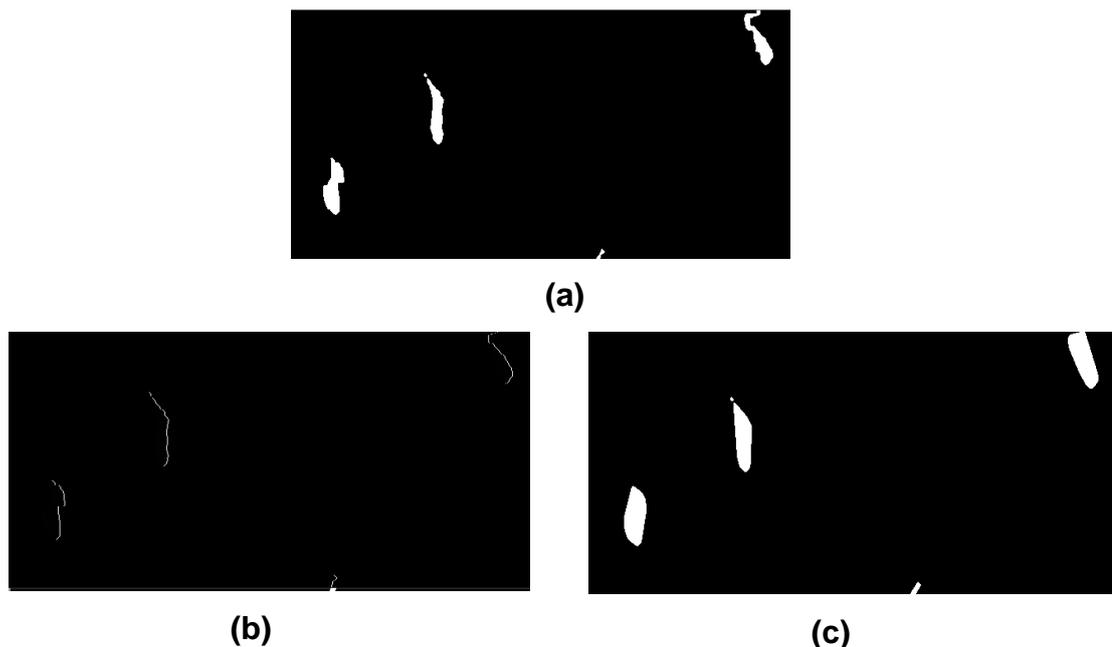
**Figura. 89 Operaciones morfológicas aplicadas.**

**(a) Salida sustracción de fondo MOG (b) Imagen con transformaciones morfológicas de dilatación y erosión (c) Kernel 5x5 usado en erosión (d) kernel usado en dilatación(10x10)**

Las operaciones están procesadas con un elemento estructural o kernel tipo elipse; de 5x5 para la erosión y de 10x10 para un dilatación como se observa en la figura 89, y se puede notar claramente las diferencias.

#### 4.3.4. Segmentación

Para finalizar se aplica operaciones de segmentación que son “findContours” y “convexHull”, en la primera parte se encuentra los contornos de los objetos en blanco (alevines) de la imagen binarizada y después se rellenan el mismo con la segunda operación respectivamente.



**Figura 90 Contorno y relleno de contornos**

**(a) Transformación Morfológica (b) Contornos (c) Relleno de contornos**

#### 4.4. Detección de blob y rastreo por Filtro Kalman

Después del acondicionamiento y procesamiento básico se realiza la detección e formas y rastreo de las mismas expresando respectivamente en el intérprete o pantalla de salida, en este caso, la detección de blobs que comúnmente es llamado así, pero en otras palabra se puede interpretar como la creación de burbujas a partir de las imágenes binarizadas y donde

se puede parametrizar con variables como el centro de masa, velocidad y posición.

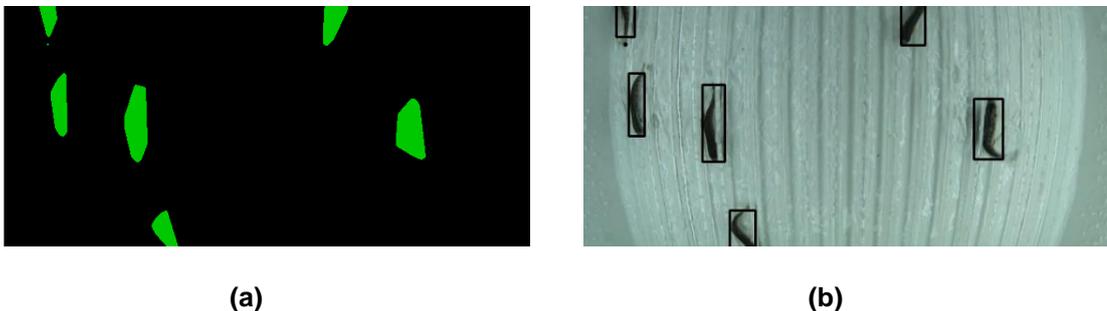
#### 4.4.1. Detección de blobs

Mediante la clase “deteccionblob” ya explicada antes lo que se hace es detectar objetivos en los frames actuales, primeramente se afinan resultados después de la segmentación del procesamiento anterior, y se detecta formas en blanco en la imágenes binarizada que en este caso son alevines mediante el siguiente proceso:

- Tomar la salida de segmentación (convexHull).
- Análisis en tiempo real de los frames actuales.
- Trazo de un rectángulo alrededor de los positivos (alevines en blanco en la imagen binarizada).
- Parametrizar con variables de acuerdo a la aplicación, en este caso para un tamaño óptimo de los alevines.

#### 4.4.2. Parametrización de blobs

Este punto es importante para acondicionar los blobs con una determinada área por defecto, pero en síntesis se lo puede cubrir con un rectángulo y hallar parámetros como el ancho, altura y diagonal.



**Figura 91 Detección blob y Reconocimiento**

**(a) Blob detection en color verde (b) Reconocimiento de blobs mediante rectángulo**

Cada blob detectado es identificado a través de un rectángulo con parámetros como ancho, altura, diagonal, radio y el área total, el área es

comparada con la original del blob en específico o del rectángulo que lo rodea, para una verificación de la misma lo que se hace es encontrar una relación considerable.



**Figura 92 Parámetros de Blobs detectados**

**(a) Parámetros con rectángulo (b) Parámetros de blob específico**

#### 4.4.3. Rastreo con filtro Kalman

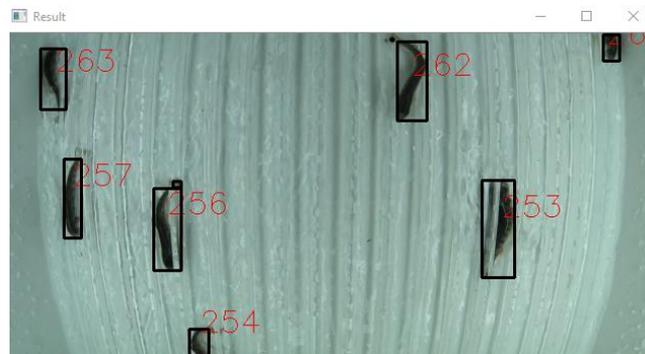
El filtro Kalman creó por Rudolf Kalman así por su nombre del algoritmo que es una estimación óptima donde predice el parámetro de interés ya sea de posición, velocidad, dirección y este puede estar afectado por ruido o en condiciones anormales.

Para estimar de manera óptima una variable de interés se necesita medir de formas indirectas para llegar a la forma directa. En el contador de alevines se necesita contar alevines a través de un sistema de visión artificial, pero NO se puede medir de manera directa por lo cual se aplica la lógica de filtro de Kalman, se explicará en el tema de conteo de alevines, sin embargo el acondicionamiento y la aplicación de este filtro es previa para el conteo, en la siguiente parte se explica el acondicionamiento con filtro Kalman a partir de la detección de blobs.

Existen varias formas para rastreo de objetos mediante visión artificial y es de gran ayuda cuando se necesita un análisis de los objetos, en especial cuando se trata de un conteo consecutivo, esto también es usado en la detección de rostros para un seguimiento total, este rastreo

puede ser interpretado en la pantalla principal de acuerdo como el desarrollador tenga facilidad de operación y de muestra.

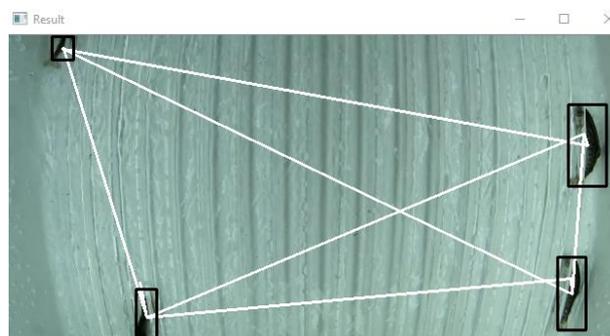
Se realiza una iteración través de todos los blobs detectados en el intérprete continuando con una comparación de blobs actuales con blobs antiguos los cuales son enumerados de acuerdo al orden de detección.



**Figura 93 Enumeración de blobs detectados**

En este caso como se observa los blobs actuales son los de mayor número mientras que los de menor número son los blobs anteriores o antiguos, gracias a este RASTREO o TRACKER como se lo conoce en el campo de visión artificial se puede interactuar para el conteo.

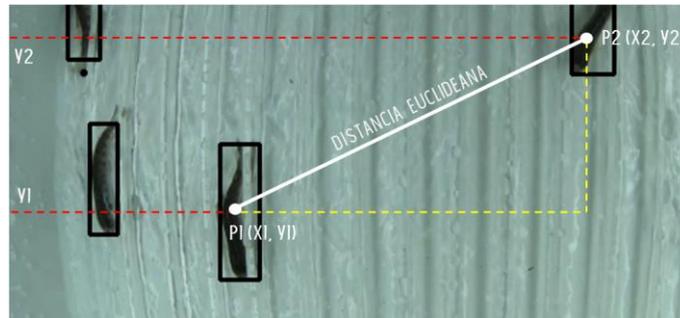
Después se halla la distancia euclidiana entre blobs actuales y blobs anteriores de la siguiente manera.



**Figura 94 Trazo de distancias euclidianas entre blobs.**

En esta vez se trazó la línea por cuestión de demostración, ya que en el procesamiento real esto es un peso más y no ayuda al conteo óptimo, debido a que es más carga para el procesamiento; como se observa el blob

actual interfiere con los blobs antiguos, por lo cual se halla la distancia euclídeana en relación de los blobs actuales y los blobs antiguos, es lo mismo que hallar la hipotenusa de un triángulo rectángulo , pero en esta caso con un historial de puntos que son los centros de masa.

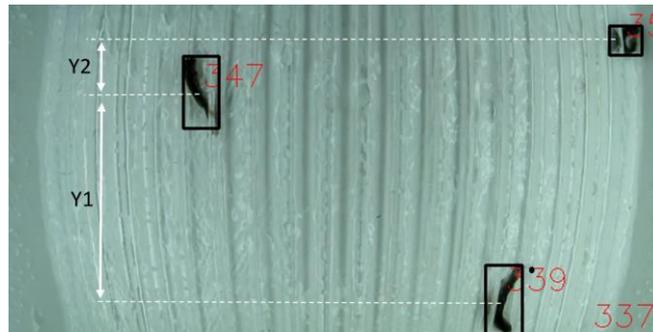


**Figura 95 Distancia euclídeana en el intérprete principal**

$$\text{distancia euclídeana} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (2)$$

Ayuda a verificar si existe coincidencia entre blobs en pantalla, lanzado como valor principal una distancia que ayuda como parámetro para el filtro de Kalman, mientras que por otra vía un valor de verdadero que ayuda al conteo, mientras que si existe solamente un blob toma un valor por defecto para ser analizado de igual manera activando la coincidencia de blobs.

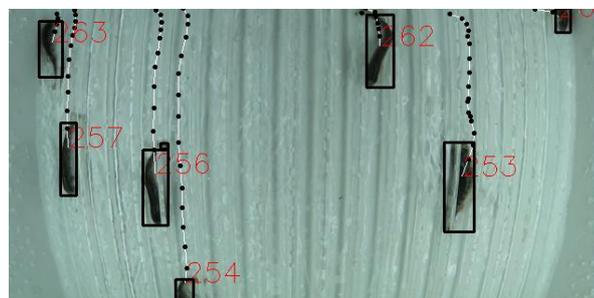
Existe una comparación de distancias, ya sea entre la distancia euclídeana y la distancia en "Y" para asegurar la correcta dirección, esto ayuda para que la dirección sea vertical y no horizontal, porque hay casos donde la dirección puede estar cambiada, pero gracias a esta verificación se lo hace en un solo sentido, esto puede darse por movimientos de la cámara o configuraciones erróneas de toma.



**Figura 96 Distancia vertical para comprobación de dirección**

Aquí se tiene dos valores los cuales se los analiza de la siguiente manera, si los dos valores son positivos la dirección de los blobs son para la parte inferior, mientras que si las distancias son negativas la dirección es hacia la parte superior, de igual manera siempre con referencia entre los blobs actuales y los blobs anteriores.

Ya verificada la dirección y haber tomar datos de los trackers como lo es su centro de masa, dirección y posición en la pantalla, estos parámetros se acondicionan al filtro Kalman para interpretar el rastreador mediante circunferencias donde dan una mejor orientación con respecto a la pantalla y aún más importante el hallar puntos actuales y anteriores que ayudaran al conteo.

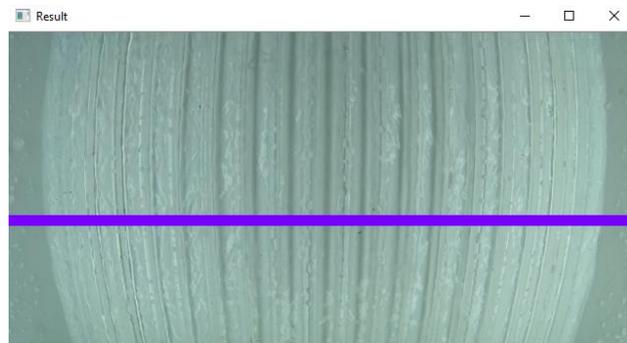


**Figura 97 Rastreo de blobs mediante filtro Kalman.**

Hay que tomar en cuenta que se lo puede hacer de las dos direcciones, en este caso se desactiva la dirección contrario, pues no es necesario ya que se obtendrá un solo enfoque de los alevines, al menos que el desarrollador pueda activarlo para usos específicos.

#### 4.5. Conteo de alevines

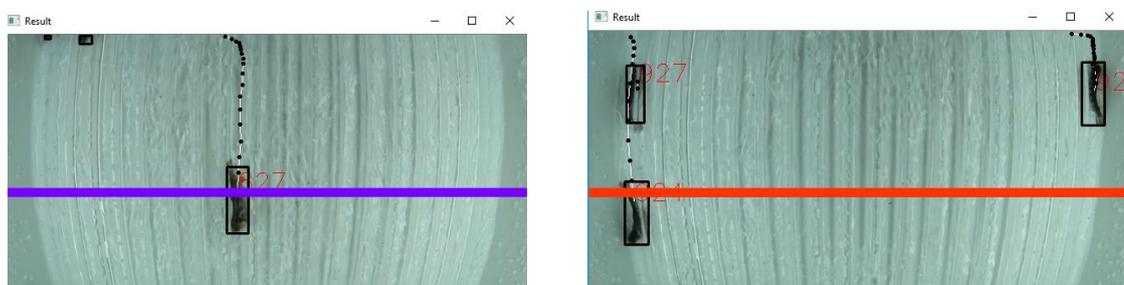
El conteo de alevines se lo hace a través de los datos antes mencionado sin antes comentar que se debe trazar una línea en la pantalla y se toma como guía para verificación de conteo.



**Figura 98 Línea guía trazada en el intérprete principal.**

Esta línea cambia de color al detectar un conteo y se lo va a visualizar de color rojo, sin embargo hay que tomar en cuenta que el grosor de la línea no tiene importancia pues los parámetros establecidos son puntos en la salida de pantalla., esta línea está ubicada a un 60% de distancia con respecto a la parte superior.

La detección de cruce de línea se lo puede observar cuando la línea cambia a color rojo de la siguiente manera:



(a)

(b)

**Figura 99 Detección de cruce de línea para los blob**

**(a) No detecta cruce (b) detecta cruce de línea**

El conteo de alevines se rige e este cruce de línea sin antes verificar que haya coincidencias de blobs antes mencionadas y tener 2 parámetros de posición importantes los cuales son del rastreo donde se puede obtener puntos en específico y que haya la coincidencia de blobs en la pantalla si antes verificado la dirección de los mismos, una señal es el cruce de línea, mientras que la otra señal de conteo es un contador que se ubica en la parte superior derecha del interprete.

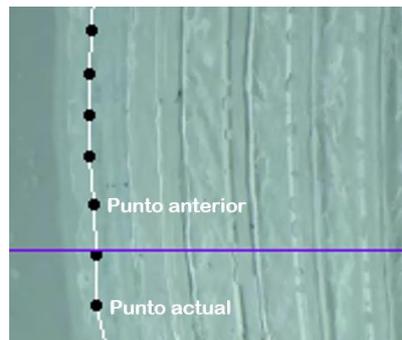
#### **4.5.1. Conteo desde el filtro Kalman**

Como se mencionó antes el filtro Kalman es un estimador óptimo de alguna variable de interés, siendo que esta variable no se pueda medir directamente, pero el filtro Kalman lo que ayuda es a medir de una forma indirecta y así llegar a un estimado optima de la variable de interés.

En el campo de visión artificial no existe un algoritmo que ayude con el conteo inmediato de blobs en movimiento consecutivos y que en este caso sean alevines, este tipo de algoritmo no existe pero como se mencionó antes el filtro Kalman proporciona un estimador optimo a partir de variable indirecta a la de interés, para lo cual mediante el rastreador se obtiene punto en específico. Estos puntos en específico con tres, los cuales van marcado por una trayectoria.

Como se explicó antes, se puede medir directamente el conteo de alevines, pero una variable indirecta es la posición de los mismos a través de su centro de masa y con valores almacenados dados por una trayectoria que viene a ser una medida indirecta, y gracias a estos tres valores de posición se llega al estimador optimo que es el conteo.

Se obtiene 2 valores que van a cubrir la línea establecida, por representación se traza la línea pero la parte real que toma el programa es el punto "Y", tres puntos están involucrados en este conteo pero los importantes son dos que sería un punto actual y un punto anterior



**Figura 100 Análisis de conteo.**

De esta parte lo que se analiza son las coordenadas en “Y” de los puntos antes mencionados, si estos puntos están entre las coordenadas “Y” de la existe el conteo respectivo y los datos de conteo se visualiza en la parte superior derecha.



**Figura 101 Conteo de alevines en el intérprete principal**

De esta manera el gracias al filtro Kalman de forma indirecta se llega a un estimador óptimo de la variable de interés que en este caso fue el conteo de alevines, el rastreo o trackers como parte fundamental para ir trazando puntos en el intérprete y mediante condiciones actuales y condiciones anteriores se puede contar alevines.

#### 4.6. Interfaz usuario máquina (HMI).

Es necesario mostrar al operador una interfaz para que pueda ejecutar el proceso de conteo de alevines para lo cual este HMI consta de 3 partes como son:

- Calibración de cámara
- Conteo
- Registros de conteo



**Figura 102 Partes del HMI.**

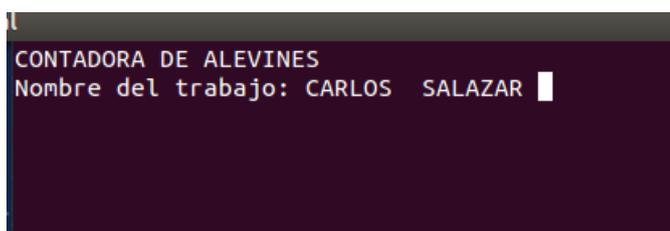
##### a. Calibración de cámara

En la calibración de cámara el operario tiene que verificar la correcta posición de toma y también de enfoque, es un punto principal antes del conteo, si no se calibra la cámara se tendrá problemas al momento de detección ya que la calidad no será lo suficientemente buena.

## b. Conteo

El más importante ya que da comienzo al conteo, llamando consigo al programa principal, donde el operario se tendrá que guiar a través de los datos mostrados en pantalla, antes de comenzar el programa le pedirá al operario que ingrese un nombre por teclado del proceso a realizar, en este caso será el nombre del cliente o nombre de pedido.

Lo importante de este proceso es que si llega a ocasionar problemas y el programa se cierra que guardado en un registro el conteo que se realizó con fecha actual y con el tiempo de inicio y final, así como el nombre del proceso.



**Figura 103 Ingreso del nombre de proceso**

## c. Registros de conteo

En el registro de conteo el usuario tiene acceso a los documentos de los procesos realizados, para mostrarles en la interfaz.

```
*****REGISTRO DE CONTEO DE ALEVINES*****  
Alevines Contados: 487  
Fecha de Trabajo: Jueves, 1 de Febrero del 2018  
Hora de inicio: 13:9:32  
Horas de finalizacion: 13:12:20
```

**Figura 104 Registro de conteo**

## 4.7. Ejecución de la máquina contadora de alevines

El operario sigue estos pasos al pie de la letra, se brindó una pequeña capacitación de ejecución de la máquina y los debidos cuidados que deben tener. La ejecución es del más simple, pues se dispone de un panel de control con un teclado y mouse y pantalla para visualización del proceso.

Los pasos que sigue el operario son los siguientes:

- a) Prender el sistema Nvidia Jetson
- b) Activar iluminación.
- c) Prender la bomba para fuente de agua en cascada
- d) Ejecutar la aplicación de conteo
- e) Calibrar la posición de toma y el enfoque de la cámara
- f) Ejecutar conteo e ingresar alevines para ser contados
- g) Realizar retroalimentación para reducir error
- h) Abrir registro y verificar conteo

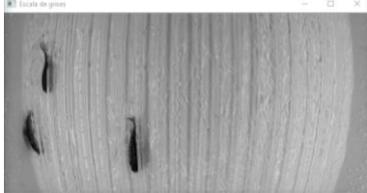
## CAPÍTULO V PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1. Pruebas de Procesamiento, detección y conteo.

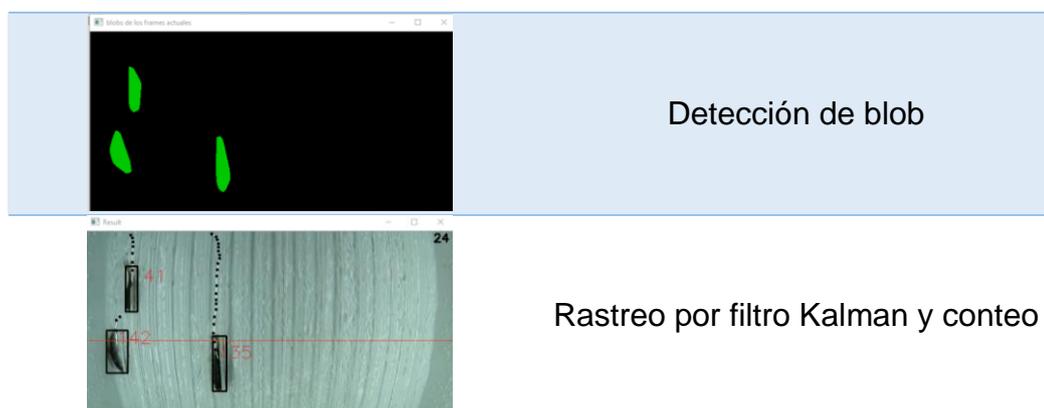
Como se mencionó en el capítulo anterior el procesamiento cumple con todas las características desde una conversión de escala de grises hasta mostrar un conteo en el intérprete total.

**Tabla 13**

**Prueba de procesamiento, detección y conteo.**

Demostración	Etapa de procesamiento
	Adquisición de imagen
	Escala de grises
	Sustracción de fondo
	Dilatación y erosión
	Contornos
	Rellenos de contornos

CONTINÚA 



## 5.2. Pruebas de Conteo de alevines.

Es importante hacer un historial de conteo que se hacen manualmente en la empresa para obtener diferencias y de ellas ventajas, según una entrevista a las personas encargadas de conteo se pudo obtener el siguiente historial:

**Tabla 14**

**Datos del conteo realizados de forma manual.**

Numero de alevines	Número de personas	Tiempo			Error
		Hrs	Min	Seg	
25	1			15	0%
50	1			30	1%
100	1		1		2%
500	1		5		1%
1000	1		10		3%
10000	4	1	40		2,5%
14000	5	5			2%
60000	6	10			2%

Una vez verificado el código de conteo se procede a pruebas varias de determinados grupos de alevines con la contadora automática para lo cual se obtuvo los siguientes datos

**Tabla 15****Datos del conteo automático**

Número de alevines	Número de personas	Tiempo			Error sin Feedback
		Hrs	Min	Seg	
25	1			5	0%
50	1			12	4%
100	1			24	5%
500	1		2		4,6%
1000	1		4		5%
10000	1		40		1.01%
14000	1	1			0,642%
60000	1	5			0,3%

**5.3. Feedback de verificación**

Feedback es una retroalimentación de los alevines contados, es esencial para calibrar el error de conteo, como se observa en la tabla 16 el error disminuye un valor considerable y es porque existió una retroalimentación de los alevines contados, es decir que si el operario desea contar 1000 alevines, como el método de entrada es por tanteo entonces obviamente pasar de un valor de 1000 a un valor de 1050 exageradamente, entonces el operario tendría que contar nuevamente de los 1000 contados un valor de 50 u aproximado, es una forma de reducir el error , en la tabla 16 se observa cómo se cumple el trabajo de retroalimentación.

Tabla 16

## Datos con Feedback de verificación

Feedback de Verificación					
Numero de alevines para conteo	Primer conteo	Error sin Feedback	Segundo conteo (Feedback para reducir error)	Conteo final	Error con Feedback
25	25	0%	0	25	0%
50	52	4%	2	50	0%
100	105	5%	5	100	0%
500	523	4,6%	22	501	0.2%
1000	1050	5%	48	1002	0.2%
10000	10101	1.01%	101	10002	0,03%
14000	14090	0,642%	90	14001	0,0007%
60000	60180	0,3%	180	60002	0,003%

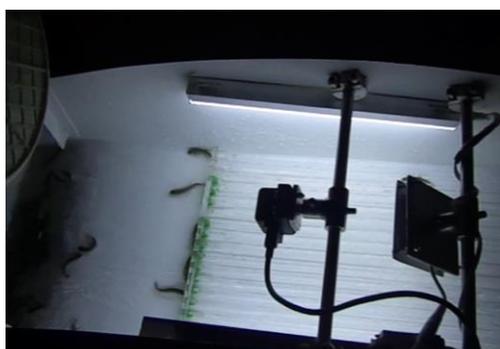
## 5.4. Pruebas de funcionamiento

Las pruebas de funcionamiento se lo realiza en las instalaciones de la empresa Acuimagg ubicada en el cantón Tandapi en la figura 105 se observa a las personas que cuentan los alevines, depositando para contarles con la máquina.



**Figura 105 Ingreso de alevines a la máquina.**

En la figura 106 se puede observar como los alevines son deslizados suavemente por la pendiente de conteo con direcciones de los canales sin problema, en las entradas el alevín golpea suavemente sin sufrir ningún daño para ingresar al canal



**(a)**

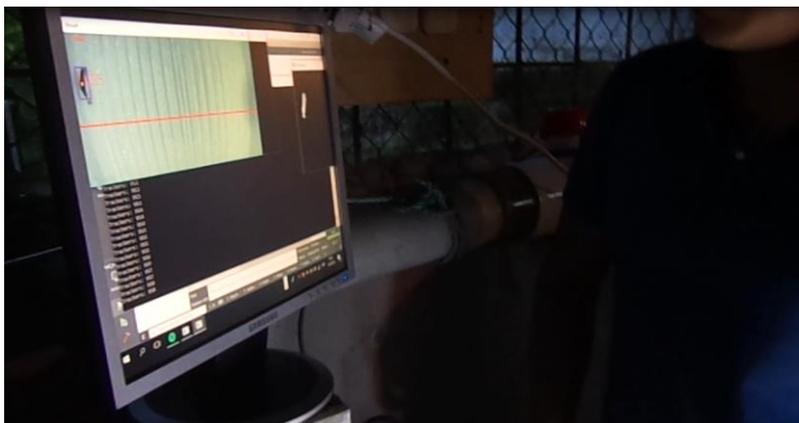


**(b)**

**Figura 106 Filtrado de alevines.**

**(a) filtrado de alevines al principio (b) filtrado en proceso**

El panel de control es revisado por las personas que cuente sin problema alguno desde donde se ingresan los alevines.



**Figura 107 Pantalla del panel de control.**

El panel de control para el operario es de los más simple, porque la entrada es a través de teclado y mouse ergonómicos, y se ve de la siguiente manera

### **5.5. Conteo tradicional vs conteo automático**

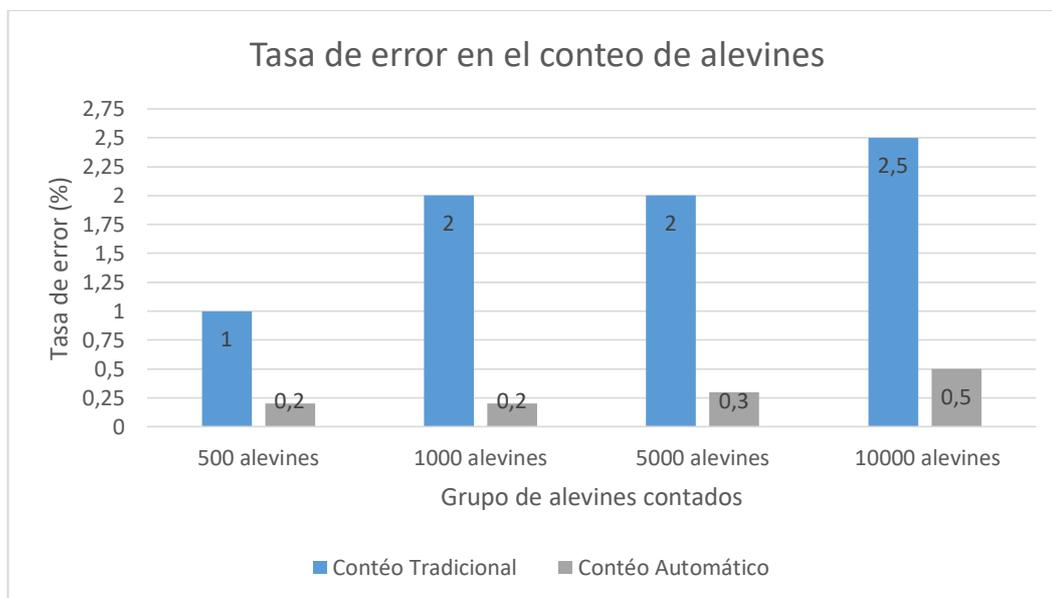
En la tabla 17 se muestra un promedio de los resultados obtenido y la diferencia de los mismos con sus tasas de errores, las pruebas se realizaron con valor de 25, 50, 100, 500, 1000 y de 10000.

**Tabla 17**

#### **Conteo manual vs conteo tradicional**

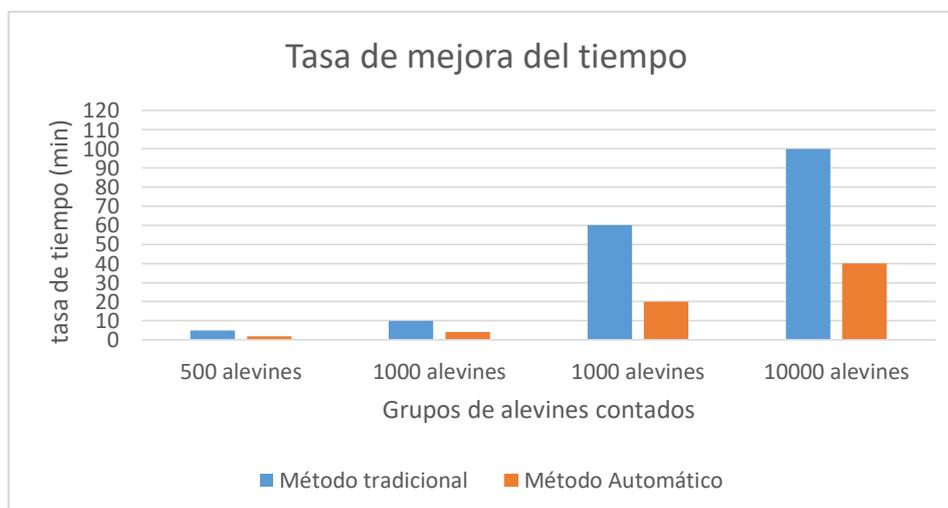
Numero de alevines	MÉTODO MANUAL			MÉTODO AUTOMÁTICO		
	personas	tiempo	Error	personas	tiempo	Error con Feedback
<b>25</b>	1	15seg	0%	1	5seg	0%
<b>50</b>	1	30seg	1%	1	12seg	0%
<b>100</b>	1	1min	2%	1	24seg	0%
<b>500</b>	1	5min	1%	1	2min	0.2%
<b>1000</b>	1	10min	2%	1	4min	0.2%
<b>10000</b>	4	100min	2.5%	1	40min	0.5%
<b>14000</b>	6	5hrs	2%	1	1hr	0,0007%
<b>60000</b>	5	10hrs	2%	1	5hr	0,003%

Se analiza en detalle la tasa de mejoras en cada conteo que se realizaron pruebas, en este caso son los conteos más seguidos en la empresa los demás se derivan de acuerdo a estos.



**Figura 108 Test de mejora de exactitud de conteo.**

Como se pudo observar en el test mejora de exactitud de conteo de la figura 108 de la contadora de alevines es muy notable ya que con los conteos manuales se tiene un gran porcentaje de error. Se tiene también una tasa de mejor del tiempo en cada conteo y se lo representa a través del siguiente diagrama de barras.



**Figura 109 Tasa de mejora en el tiempo de conteo de alevines**

Como se observa en el diagrama de barras anterior la tasa de tiempo baja considerablemente, esto brinda fiabilidad y ahorro de tiempo sin antes mencionar que este conteo automático es realizado solamente por una persona ya en el método tradicional se lo hace usualmente con 5 personas los conteos más elevados, con esta inversión la empresa obtiene un ahorro ya que solo una persona estaría encargada de contar el número deseado de alevines.

### **5.6. Validación de la hipótesis.**

La hipótesis de este proyecto es:

¿El Diseño e implementación de una máquina automática contadora de alevines optimizará el tiempo y la fiabilidad de la producción para la empresa ACUIMAGG de la parroquia “Manuel Cornejo Astorga” en la provincia de Pichincha?

Se toma en cuenta la variable independiente y dependiente del proyecto para dar validación a la hipótesis.

#### **Variable Independiente.**

Máquina contadora de alevines.

#### **Variable Dependiente.**

Optimiza el tiempo y la fiabilidad de la producción para la empresa Acuimagg.

Se valida a través del método chi-cuadrado para determinar el grado e dependencia de dos variables según (ARROYO, 2006) la cual brinda la verificación, si se relacionan o están en total desacuerdo. Se realiza una conjetura de la efectividad del tiempo y de la fiabilidad, es decir cuánto mejora el proceso en cada conteo.

Tabla 18

## Efectividad de tiempo y fiabilidad

Alevines Contados	Manual		Automático		Optimización De Tiempo (%)	Fiabilidad De Producción (%)
	Tiempo (Min)	Error (%)	Tiempo (Min)	Error (%)		
25	0,25	0	0,083	0	<b>66</b>	<b>80</b>
50	0,5	1	0,2	0	<b>60</b>	<b>80</b>
100	1	2	0,4	0	<b>60</b>	<b>80</b>
500	5	1	2	0,2	<b>60</b>	<b>80</b>
1000	10	2	4	0,2	<b>60</b>	<b>90</b>
10000	60	2,5	20	0,5	<b>66</b>	<b>80</b>
14000	100	2	40	0,0007	<b>60</b>	<b>99</b>
60000	600	2	300	0,003	<b>50</b>	<b>99</b>

Como resultado se la hipótesis nula  $H_0$  y la hipótesis valida  $H_1$ .

Hipótesis nula  $H_0$ 

$H_0 =$  No optimiza el tiempo ni la fiabilidad de la producción

Hipótesis valida  $H_1$ .

$H_1 =$  Optimiza el tiempo y la fiabilidad de la producción

Tabla 19

## Resultados de Frecuencias observadas

	CONTEO DE ALEVNES								TOTAL
	25	50	100	500	1000	10000	14000	60000	
<b>Optimiza el tiempo</b>	66	60	60	60	60	66	60	50	<b>482</b>
<b>Mejora la fiabilidad</b>	80	80	80	80	90	80	99	99	688
<b>TOTAL</b>	166	160	160	140	150	146	159	149	1230

Los valores de 80% de mejora en la fiabilidad de los conteos correspondientes a 25, 50 y 100 alevines por consecuente llegan a tener una mejora del 100% es importante mencionar que las máquinas comerciales no brindan una fiabilidad del 100% por lo cual el valor de 80% se deriva a partir de un conteo a 500 alevines que es una tasa de conteo considerable para la empresa y base para los pedidos, motivo por el cual se acoge este valor, por otra parte cuando los valores son el 100% de fiabilidad los valores de chi cuadrado suben en picada, mostrando valores incoherentes.

Se calcula las frecuencias esperadas con la siguiente formula:

$$f_e = \frac{T_f * T_c}{S_T} \quad (03)$$

$f_e$  = frecuencia esperada

$T_f$  = total de filas de la casilla tomada

$T_c$  = total de columnas de la casilla tomada

$S_T$  = Suma Total

**Tabla 20**

**Resultados de Frecuencias esperadas**

	25	50	100	500	1000	10000	14000	60000
<b>Optimizar tiempo</b>	65,1	62,7	62,7	54,9	58,8	57,2	62,3	58,4
<b>Mejora la fiabilidad</b>	100,9	97,3	97,3	85,1	91,2	88,8	96,7	90,6

Se aplica la fórmula para el chi-cuadrado calculado:

$$X_{cal^2} = \sum \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e} \quad (04)$$

$f_o$  = frecuencias observadas

$f_e$  = frecuencia esperada

Tabla 21

## Resultados de chi-cuadrado

	25	50	100	500	1000	10000	14000	60000	TOTAL
<b>Optimizar tiempo</b>	0,01	0,12	0,12	0,48	0,03	1,35	0,09	1,21	
<b>Mejora la fiabilidad</b>	4,35	3,08	3,08	0,31	0,02	0,87	0,06	0,78	
<b>Total</b>	4,36	3,19	3,19	0,79	0,04	2,22	0,14	1,98	15,92

Se obtiene un resultado de chi cuadrado de:

$$X_{cal}^2 = 15,92$$

En este método se trabaja con una confiabilidad del 95% un margen de error tabla del 0,05%.

Se calcula los grados de libertad:

$$v = (filas - 1)(columnas - 1)$$

$$v = (2 - 1)(8 - 1)$$

$$v = 7$$

A continuación el chi cuadrado que se halló es comparado con el chi cuadrado tabulado que se la puede hallar en tablas con el valor de grados de libertad que es 7 y con un error de tabla del de 0,05 como se observa en la figura 110.

DISTRIBUCION DE  $\chi^2$

Grados de libertad	Probabilidad											
	0,95	0,90	0,80	0,70	0,50	0,30	0,20	0,10	0,05	0,01	0,001	
1	0,004	0,02	0,06	0,15	0,46	1,07	1,64	2,71	3,84	6,64	10,83	
2	0,10	0,21	0,45	0,71	1,39	2,41	3,22	4,60	5,99	9,21	13,82	
3	0,35	0,58	1,01	1,42	2,37	3,66	4,64	6,25	7,82	11,34	16,27	
4	0,71	1,06	1,65	2,20	3,36	4,88	5,99	7,78	9,49	13,28	18,47	
5	1,14	1,61	2,34	3,00	4,35	6,06	7,29	9,24	11,07	15,09	20,52	
6	1,63	2,20	3,07	3,83	5,35	7,23	8,56	10,64	12,59	16,81	22,46	
7	2,17	2,83	3,82	4,67	6,35	8,38	9,80	12,02	14,07	18,48	24,32	
8	2,73	3,49	4,59	5,53	7,34	9,52	11,03	13,36	15,51	20,09	26,12	
9	3,32	4,17	5,38	6,39	8,34	10,66	12,24	14,68	16,92	21,67	27,88	
10	3,94	4,86	6,18	7,27	9,34	11,78	13,44	15,99	18,31	23,21	29,59	
	No significativo								Significativo			

Figura 110 Valores de chi-cuadrado

Fuente: (Soto, 2011)

Si el valor del chi cuadrado calculado es mayor que el chi cuadrado tabulado la hipótesis es válida y cumple con la mejora de fiabilidad y mejora de tiempo.

$$X_{cal}^2 > X_{tab}$$

$$15,92 > 14,07$$

*H<sub>i</sub> es válida*

## 5.7. Coste de la máquina contadora de alevines

El coste financiero de la máquina se la divide en tres partes que son la parte mecánica y la parte de electrónica y software.

### a. Costos sistema mecánico

En la tabla 22 se detalla los costos de los materiales de la parte mecánica así como los trabajos y maquinados en los materiales.

**Tabla 22**

#### Cotización del sistema mecánico

COMPONENTES	Precio por unidad	Cantidad	Total (\$)
Láminas Acero inoxidable de 2mx2m	180	3	540
Ejes de acero Inoxidable	30	2	60
Soldadura	50		50
Implementos de soldadura	10		10
Tubo de acero inoxidable	10	1	10
Prisioneros	0.30	4	1,2
Pernos Allen	0.25	4	1
Manguera de 1 pulgada	1/metro	10	10
Vidrio base con perforación	19,50	1	19,5
Pernos para vidrio	0,75	4	3

CONTINÚA 

Soporte de monitor	1	13,20	13,2
Silicón automotriz	5,75	2	11,5
Lamina de Acrílico 50cmx30cm con espesor de 3mm	10	1	10
Trabajo en acrílico	15		15
Pintura blanca anticorrosiva mate	5,10	2	10,2
Pintura aluminio con catalizador	19,80	1	19,8
Alambre reforzado y ganchos para puerta	5,75	1	5,75
<b>Total</b>			<b>790,15</b>

Como se observa el total de la parte mecánica tiene un costo de 790 dólares americanos con 15 centavos.

#### **b. Costos sistema electrónico.**

En la tabla 23 se detalla los costos para el sistema de visión artificial que se compone por los implementos electrónicos y otro implemento en variedad para la instalación.

**Tabla 23**

#### **Cotización del Sistema Electrónico**

<b>COMPONENTES</b>	<b>Precio por unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total</b>
Nvidia Jetson	255	1	255
Cámara	319	1	319
Usb 3.0	3,5	2	7
Carcaza cámara	8,5	1	8,5
Carcaza Nvidia	40	1	40
MicroSD 16GB	16,07	1	16,07
Monitor	60	1	60

CONTINÚA 

Mouse y teclado	12,5	1	12,5
tomacorrientes	16	1	16
Canaleta	3	1	3
Antena para Wifi	8,5	1	8,5
Luz led 15w en tubo	6,12	2	12,24
Luz led 10w en placa	3,75	1	3,75
Cable para luz	2	1	2
Modem TP-LINK	38	1	38
<b>TOTAL</b>			<b>801,56</b>

### c. Gastos varios

Existe una cotización de gastos varios los cuales incluyen transporte y movilidad para adquisición de materiales, ya que la empresa está ubicada en Santo Domingo y la estadía entra como gastos varios.

### d. Costos generales del proyecto

Los costos generales conforman la parte mecánica y el sistema de visión artificial con el panel de control y gastos varios.

**Tabla 24**

### Costos Generales del proyecto

Descripción	Total
Sistema mecánico mecánica	790,15
Sistema electrónico y sistema de visión artificial	801,56
Logística y gastos varios	250
<b>Total</b>	<b>1841,71</b>

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. Conclusiones

- Ya terminado el diseño e implementación de la contadora de alevines se comenta las respectivas recomendaciones y conclusiones, que ayudan para la realización de proyectos similares.
- La máquina contadora de alevines fue diseñada e implementada para mejorar la fiabilidad de producción y acortar tiempos de conteo y así obtener beneficios con respecto al sistema de conteo manual o tradicional y se obtuvo una mejora del 60 por ciento en tiempo y exactitud.
- Se investigó acerca de las herramientas y sistemas de control para el conteo de alevines, cabe destacar como herramienta principal el sistema embebido JetsonTk1 como centro de procesamiento para el sistema de visión artificial y un sistema de conteo como lo es el filtro Kalman que ayuda como estimador óptimo de la variable de interés que es el conteo.
- El filtro Kalman es una herramienta importante porque es un estimador óptimo de una variable de interés y se considera como la herramienta más importante en un sistema de conteo mediante el sistema de visión artificial, ya que a través de variables indirectas se llega al conteo de alevines después de su procesamiento.
- El sistema de visión artificial fue implementado con éxito, mediante una cámara con grandes beneficios de frames por segundo así como el sistema embebido Jetson TK1 que brinda un gran procesamiento y así la cámara y tarjeta rinden un procesamiento alto.
- La cámara SeeCamCu\_30 con su lente M12 permite ubicar a una distancia corta de la superficie donde se deslizan los alevines, pues el lente ojo pez ayuda con esta toma y permite que la estructura sea lo más compacta posible.

- La estructura se lo realizo los más compacta posible con una pendiente adecuada para deslizamientos de los alevines y no se tuvo mayor problema en el conteo.
- Las pruebas se realizaron en la empresa Acuimagg, que abasteció con los alevines necesarios, de igual manera el funcionamiento se logró sin ningún tipo de problema ya que la máquina permanece hoy instalada y con los operarios capacitados.

## **6.2. Recomendaciones**

- Antes de usar la máquina contadora de alevines siempre es necesario que se puede tener una capacitación previa del uso.
- El mantenimiento de la máquina debe ser lo más cuidadoso posible porque se traba con sistemas electrónico y el agua puede dañarlos permanentemente.
- El cuidado del lente de la cámara debe ser lo más delicado posible mediante un pañuelo especial de vidrio para que no exista ralladura y así no interfiera en el conteo.
- La calibración de la cámara antes del conteo es esencial para detectar de manera correcta los alevines, así como la calibración de la cámara en el software para que se ajuste los fps necesarios para el conteo.
- Es importante que en la parte del pod para el sistema embebido no pueda entrar nada de agua para evitar cortocircuitos y que se pueda dañar el sistema embebido
- Siempre se debe verificar que en el sistema de iluminación esté funcionando las tres luces led, de todas manera se provee de luces led por cualquier posible fallo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACUITEC. (09 de 03 de 1999). *ACUITEC*. Recuperado el 13 de Marzo de 2017, de <http://www.acuitec.es/web.php?m=2&c=26>
- ACUITEC. (04 de 10 de 2006). Recuperado el 22 de Mayo de 2017, de <https://goo.gl/7t18Zh>
- ACUITEC. (2015). *ACUICULTURA*. Recuperado el 11 de abril de 2017, de ACUICULTURA: <http://www.acuitec.es/web.php?m=2&c=26>
- AgrobrasiltTV. (2 de Marzo de 2017). *YOUTUBE*. Recuperado el 15 de Octubre de 2017, de <https://goo.gl/r2y4xC>
- Alemaný, E. G. (19 de 01 de 2012). *mimbrea*. Recuperado el 11 de Junio de 2017, de <http://www.mimbrea.com/la-toxicidad-de-la-fibra-de-vidrio/>
- Alemaný, E. G. (15 de Diciembre de 2015). *Mimbrea*. Recuperado el 13 de Junio de 2017, de <http://www.mimbrea.com/la-toxicidad-de-la-fibra-de-vidrio/>
- AQUA-LIFE. (11 de Octubre de 2007). *AQUAS-LIFE PRODUCTS*. Recuperado el 12 de Agosto de 2017, de <https://goo.gl/2A1QPG>
- Area Tecnologia. (2015). *AREA TECNOLOGIA*. Recuperado el 13 de junio de 2017, de <http://www.areatecnologia.com/materiales/acero-inoxidable.html>
- ARM. (10 de 11 de 2010). *EDA 360*. Recuperado el 26 de Mayo de 2017, de <https://eda360insider.wordpress.com/2010/11/10/arm-cortex-a15%E2%80%94does-this-processor-ip-core-need-a-new-category%E2%80%A6superstar-ip/>
- BBC. (26 de 6 de 2015). *MUNDO*. Recuperado el 21 de Mayo de 2017, de <https://goo.gl/jBU5qV>

- Ciudadano, C. (14 de 07 de 2010). *Correo Ciudadano*. Recuperado el 26 de Agosto de 2017, de <http://www.correiodocidadao.com.br/campo-mourao/vereador-sugere-soltura-de-alevinos-no-parque-lago-azul/>
- Clabots, H. (23 de Enero de 2010). *World Steel Association*. Recuperado el 23 de Junio de 2017, de [http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro\\_Inox/What\\_is\\_Stainless\\_Steel\\_SP.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/What_is_Stainless_Steel_SP.pdf)
- Correo del Ciudadano. (2015). *Correio do Cidadão*. Recuperado el 12 de Agosto de 2017, de <http://www.correiodocidadao.com.br/campo-mourao/vereador-sugere-soltura-de-alevinos-no-parque-lago-azul/>
- e-con Systems. (2015). *e-con Systems*. Recuperado el 20 de Marzo de 2017, de <https://www.e-consystems.com/Articles/Camera/USB-3-Camera-on-JetsonTK1-kit.asp>
- E-con Sytems. (2 de Enero de 2015). *e-con Sytems*. Recuperado el 13 de Marzo de 2017, de <https://goo.gl/Bgy1XY>
- EDA360Insider. (2010). *EDA360 Insider*. Recuperado el 15 de Octubre de 2017, de <https://goo.gl/LG5cwS>
- EURO INOX. (13 de febrero de 2015). *¿QUE ES EL ACERO INOXIDABLE?* Recuperado el 28 de marzo de 2017, de [http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro\\_Inox/What\\_is\\_Stainless\\_Steel\\_SP.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/What_is_Stainless_Steel_SP.pdf)
- Evans, R. v. (22 de Enero de 2001). *Actividades en Acuicultura de la FAO*. Recuperado el 3 de Septiembre de 2017, de <http://www.fao.org/docrep/004/y2419s/y2419s02.htm>
- FAO. (22 de 06 de 2001). *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Recuperado el 29 de Julio de 2017, de <http://www.fao.org/docrep/004/y2419s/y2419s02.htm>
- Galvez, M. A. (2010). *DEPOSITO DE DOCUMENTOS DE LA FAO*. Recuperado el 22 de Mayo de 2017, de <http://www.fao.org/docrep/005/ad020s/AD020s06.htm>

- GERDSLAB. (19 de Julio de 2014). *SEGUIMIENTO DE OBJETOS CON RASPBERRY*. Recuperado el 01 de Julio de 2017, de [http://gerdslab.com/es/seguimiento\\_objetos\\_raspberry\\_1](http://gerdslab.com/es/seguimiento_objetos_raspberry_1)
- GerdsLabs. (15 de 3 de 2014). *Laboratorio de Robótica*. Recuperado el 25 de Junio de 2017, de [http://gerdslab.com/es/seguimiento\\_objetos\\_raspberry\\_1](http://gerdslab.com/es/seguimiento_objetos_raspberry_1)
- GRUPO DE HIERROS ALFONSO. (11 de Junio de 2017). *GRUPO DE HIERROS ALFONSO*. Recuperado el 13 de Septiembre de 2017, de <http://www.grupohierrosalfonso.com/productos/acero-inoxidable.html>
- HIERROS ALFONSO, S.A. (27 de 11 de 2009). *Grupo Hierros Alfonso*. Recuperado el 15 de Agosto de 2017, de <http://www.grupohierrosalfonso.com>
- Jimenez, J. E. (19 de Octubre de 2006). *Laboratorio de Ecología*. Recuperado el 2 de Agosto de 2017, de [http://tronador.ulagos.cl/stie/acuicultura/curso3/cap3\\_11.htm](http://tronador.ulagos.cl/stie/acuicultura/curso3/cap3_11.htm)
- Lagos, U. d. (22 de 08 de 2007). *Conteo de peces*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2017, de [tronador.ulagos.cl/stie/acuicultura/curso3/cap3\\_11.htm](http://tronador.ulagos.cl/stie/acuicultura/curso3/cap3_11.htm)
- MALLICK, S. (17 de 6 de 2016). *Learn Opencv*. Recuperado el 18 de Noviembre de 2017, de <https://goo.gl/TAFFmf>
- Matsusaka, K. (9 de 6 de 2015). *Youtube*. Recuperado el 5 de Noviembre de 2017, de <https://goo.gl/BbBb5g>
- MONDRAGÓN, J. L.-G. (2002). *El Oceano y sus recursos*. Recuperado el 21 de Diciembre de 2017, de [http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/090/html/sec\\_7.html](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/090/html/sec_7.html)
- Montoro, A. F. (2012). *Python3 al descubierto*. Madrid: Alfaomega.
- NVIDIA. (13 de Mayo de 2015). *GPU COMPUTING*. Recuperado el 21 de Marzo de 2017, de GPU COMPUTING: <https://goo.gl/zoqCBY>

- Nvidia. (11 de Enero de 2018). *Que es el GPU*. Recuperado el 23 de Enero de 2018, de <https://goo.gl/zoqCBY>
- NVIDIA CORPORATION. (13 de Septiembre de 2014). *NVIDIA Jetson TK1 Documentation*. Recuperado el 23 de Marzo de 2017, de <https://goo.gl/AigVq5>
- openCV, L. (25 de 4 de 2016). *WIKIMEDIA COMMONS*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2017, de <https://goo.gl/r3yWy9>
- Soto, C. (13 de Agosto de 2011). Recuperado el 03 de Enero de 2017, de <https://cristina92sm.wordpress.com/2011/05/15/ejercicio-del-seminario-nueve-chi-cuadrado/>
- Tecnología, A. (07 de 02 de 2006). *Tecnología*. Recuperado el 29 de Noviembre de 2017, de <http://www.areatecnologia.com/materiales/acero-inoxidable.html>
- URUGUAY. Dirección Nacional de Recursos Acuáticos. (2010). *Manual básico de piscicultura en estanques*. Uruguay-Montevideo.
- VidaXL. (27 de Enero de 2016). *MANO MANO*. Recuperado el 23 de Mayo de 2017, de <https://goo.gl/fi5Rog>

# ANEXOS



**DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el señor:

**CHRISTIAN XAVIER ORTIZ MALUSIN**

En la ciudad de Latacunga, a los **19 días del mes de febrero del 2018.**

---

Ing. Andrés Gordón

**DIRECTOR DEL PROYECTO**

---

Ing. Vicente Hallo

**DIRECTOR DEL CARRERA**

---

Dr. Rodrigo Vaca

**SECRETARÍA ACADÉMICA**  
**SECRETARIO ACADÉMICO**

