



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL
ESCUELA DE POSGRADOS “ESPOG”**

**MAESTRÍA EN
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**
Resolución: RPC-SO-09-No.265-2021

PROYECTO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE MAGISTER

Título del proyecto:
Control y monitoreo de inyección de fertilizantes en equipos de dosificación para cultivos mediante visión artificial
Línea de Investigación:
Ciencias de la ingeniería aplicadas a la producción, sociedad y desarrollo sustentable
Campo amplio de conocimiento:
Ingeniería, Industria y construcción
Autor/a:
Escudero Vásconez Miguel Dario
Tutor/a:
Ing. Wilmer Albarracín Mgst.

Quito – Ecuador

APROBACIÓN DEL TUTOR



Yo, Wilmer Fabián Albarracín Guarochico con C.I: 1713341152 en mi calidad de Tutor del proyecto de investigación titulado: **Control y monitoreo de inyección de fertilizantes en equipos de dosificación para cultivos mediante visión artificial.**

Elaborado por: Miguel Dario Escudero Vásconez, de C.I: 0503356453, estudiante de la Maestría: Electrónica y Automatización de la **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL (UISRAEL)**, como parte de los requisitos sustanciales con fines de obtener el Título de Magister, me permito declarar que luego de haber orientado, analizado y revisado el trabajo de titulación, lo apruebo en todas sus partes.

Quito D.M., 31 de agosto de 2023



Firma

DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE



Yo, Escudero Vásconez Miguel Dario con C.I: 0503356453, autor/a del proyecto de titulación denominado: Control y monitoreo de inyección de fertilizantes en equipos de dosificación para cultivos mediante visión artificial. Previo a la obtención del título de Magister en Electrónica y Automatización

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar el respectivo trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica Israel los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor@ del trabajo de titulación, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital como parte del acervo bibliográfico de la Universidad Tecnológica Israel.
3. Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de prosperidad intelectual vigentes.

Quito D.M., 31 de agosto de 2023

Firma

Tabla de contenidos

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	2
DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE	3
Índice de tablas.....	6
Índice de figuras	7
INFORMACIÓN GENERAL	9
Contextualización del tema	9
Problema de investigación	10
Objetivo general.....	10
Objetivos específicos	10
Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos.....	11
CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	13
1.1. Contextualización general del estado del arte	13
1.2. Proceso investigativo metodológico	15
CAPÍTULO II: PROPUESTA.....	17
2.1. Fundamentos teóricos aplicados	17
2.1.1. Introducción	17
2.1.2. Rotámetro	17
2.1.3. Manómetro	19
2.1.4. Visión Artificial	20
2.1.5. LabVIEW	21
2.2. Descripción de la propuesta.....	22
2.2.1. Estructura general	22
2.2.2. Explicación de aporte	24
2.2.3. Estrategias y/o técnicas	25
2.2.3.1. Estrategia de obtención de valores y procesamiento de imágenes.	25
2.2.3.1.1. Flujómetro	33
2.2.3.1.2. Manómetro.....	40
2.2.3.2. Método de posicionamiento de válvula de control	49
2.3. Validación de la propuesta	59
2.4. Matriz de articulación de la propuesta	68
2.5. Análisis de resultados. Presentación y discusión.....	69
2.4.1. HMI Principal	71
2.4.2. Flujómetro	73
2.4.3. Manómetro	76
2.4.4. Operación de control manual y relés de operación	77

2.4.5. Pruebas de control automático	81
CONCLUSIONES.....	85
RECOMENDACIONES.....	87
BIBLIOGRAFIA.....	89
ANEXOS.....	91
Anexo 1. Firmas de validación.....	91
Anexo 2. Distribución de control PIN Arduino Mega 2560 REV3	95
Anexo 3. Ensamblaje de Actuador + Válvula en sistemas de control DIAMANT PRO ...	96

Índice de tablas

TABLA 1	VALORES DE POSICIÓN VARIABLE DE FLOTADOR Y VALOR DE FLUJO DE SALIDA	46
TABLA 2	VALORES DE POSICIÓN VARIABLE DE BASE DE INDICADOR Y VALOR DE PRESIÓN DE SALIDA	48
TABLA 3	LÓGICA DE CONTROL DE CIERRE Y APERTURA DE VÁLVULA DE CONTROL	51
TABLA 4	DESCRIPCIÓN DE PERFIL DE VALIDADORES	59
TABLA 5	DATOS DEL VALIDADOR ING. MARCEL FRANCO	61
TABLA 6	CRITERIOS DE VALUACIÓN	61
TABLA 7	EVALUACIÓN EFECTUADA POR EL ING. MARCEL FRANCO	62
TABLA 8	DATOS DEL VALIDADOR ING. CARLOS GONZÁLEZ	62
TABLA 9	CRITERIOS DE VALUACIÓN	63
TABLA 10	EVALUACIÓN EFECTUADA POR EL ING. CARLOS ALBERTO GONZÁLEZ ORTEGA	63
TABLA 11	DATOS DEL VALIDADOR ING. CRISTIAN RUIZ	64
TABLA 12	CRITERIOS DE VALUACIÓN	64
TABLA 13	EVALUACIÓN EFECTUADA POR EL ING. CRISTIAN MAURICIO RUIZ OSORIO	65
TABLA 14	DATOS DEL VALIDADOR ING. ABRAHAM SANGUCHO	66
TABLA 15	CRITERIOS DE VALUACIÓN	66
TABLA 16	EVALUACIÓN EFECTUADA POR EL ING. ABRAHAM DAVID SANGUCHO SANDOVAL	67
TABLA 17	MATRIZ DE ARTICULACIÓN	68
TABLA 18	ERROR PORCENTUAL ENTRE VALOR MEDIDO FLUJÓMETRO Y VALOR OBTENIDO POR VISIÓN ARTIFICIAL	76

Índice de figuras

FIGURA 1 ESTRUCTURA DEL FLUJÓMETRO.....	18
FIGURA 2 ESTRUCTURA DE FUNCIONAMIENTO DE MANÓMETRO.....	20
FIGURA 3 ETAPAS DEL SISTEMA DE PROCESAMIENTO Y CONTROL DEL PROCESO.....	22
FIGURA 4 ESTRUCTURA GENERAL DE IMPLANTACIÓN DE PROTOTIPO.....	23
FIGURA 5 BÚSQUEDA DE FUNCIÓN VISION ACQUISITION DE LABVIEW.....	26
FIGURA 6 DISPOSITIVOS DE ADQUISICIÓN DE IMAGEN DISPONIBLES PARA VISION ACQUISITION.....	27
FIGURA 7 CONFIGURACIÓN DE ADQUISICIÓN CONTINUA DE IMÁGENES DE LOS DISPOSITIVOS.....	27
FIGURA 8 CONFIGURACIÓN DE MÁXIMA RESOLUCIÓN Y PARÁMETROS DE ADQUISICIÓN DE IMAGEN.....	28
FIGURA 9 ESTRUCTURAS WHILE DE CONTROL DE ADQUISICIÓN DE IMÁGENES.....	29
FIGURA 10 ESTRUCTURA DE LIBERACIÓN DE MEMORIA DE PROCESAMIENTO.....	29
FIGURA 11 CONEXIÓN DE VISION ACQUISITION Y VISION ASSISTANT.....	30
FIGURA 12 FUNCIONES DE PROCESAMIENTO DE COLOR EN VISION ASSISTANT.....	31
FIGURA 13 FUNCIÓN DE EXTRACCIÓN HSV DE LAS IMÁGENES DE ENTRADA.....	31
FIGURA 14 SISTEMA BASE DE DOS CÁMARAS PARA ADQUISICIÓN DE DATOS.....	32
FIGURA 15 INSTALACIÓN DE SISTEMA DE CÁMARAS PARA VISIÓN ARTIFICIAL.....	32
FIGURA 16 VISIÓN PERIFÉRICA DE CÁMARAS ORIENTADA A LOS DISPOSITIVOS DE MONITOREO.....	33
FIGURA 17 PLANO HSV DEL FLUJÓMETRO Y DEFINICIÓN DE ZONAS DE INTERÉS.....	34
FIGURA 18 GEOMETRIC MATCHING PARA PROCESAMIENTO RECONOCIMIENTO DE PATRONES.....	35
FIGURA 19 SELECCIÓN DE ZONA DE INTERÉS DE RASTREO POR VISIÓN ARTIFICIAL.....	36
FIGURA 20 LÍNEAS DE INTERÉS DE FORMA DE PATRÓN.....	36
FIGURA 21 SELECCIÓN DE ZONAS A IGNORARSE DENTRO DEL PATRÓN.....	37
FIGURA 22 PATRÓN Y CURVA RESULTANTE DE ANÁLISIS.....	38
FIGURA 23 SELECCIÓN DE ZONA DE HISTÉRESIS DEL PATRÓN.....	38
FIGURA 24 RANGOS DE ESCALAMIENTOS Y GIRO DEL PATRÓN.....	39
FIGURA 25 RECONOCIMIENTO Y POSICIONAMIENTO DEL PATRÓN.....	40
FIGURA 26 VISION ACQUISITION 2 Y VISION ASSISTANT 2 PARA MANÓMETRO.....	41
FIGURA 27 EXTRACCIÓN DEL PLANO HSV PARA EL MANÓMETRO.....	41
FIGURA 28 SELECCIÓN DE PATRÓN DE MONITOREO PARA MANÓMETRO.....	42
FIGURA 29 DEFINICIÓN Y FORMA DE BASE DE PLUMA DE MANÓMETRO.....	43
FIGURA 30 PATRÓN DE MONITOREO RESULTANTE PARA MANÓMETRO.....	43
FIGURA 31 SELECCIÓN DE RANGO DE HISTÉRESIS PARA PATRÓN DE MANÓMETRO.....	44
FIGURA 32 MATRIZ RESULTANTE DE LOCALIZACIÓN DE POSICIÓN DE FLOTADOR DE FLUJÓMETRO.....	45
FIGURA 33 MATRIZ RESULTANTE DE LOCALIZACIÓN DE POSICIÓN DE BASE DE AGUJA DE MANÓMETRO.....	45
FIGURA 34 BLOQUES DE DESCOMPOSICIÓN Y TOMA DE VALORES X E Y PARA ESCALAMIENTO.....	46
FIGURA 35 CURVA DE INTERPOLACIÓN Y ECUACIÓN DE LA RECTA CARACTERÍSTICA DE FLUJO.....	47
FIGURA 36 DIAGRAMA FINAL DE PROCESAMIENTO Y SALIDA DE DATOS DE FLUJÓMETRO ..	48
FIGURA 37 CURVA DE INTERPOLACIÓN Y ECUACIÓN DE LA RECTA CARACTERÍSTICA DE FLUJO.....	49
FIGURA 38 DIAGRAMA FINAL DE PROCESAMIENTO Y SALIDA DE DATOS DE MANÓMETRO ..	49
FIGURA 39 DIAGRAMA DE CONTROL DE VÁLVULA DE INYECCIÓN DE FERTILIZANTE	50
FIGURA 40 ESTRUCTURA BÁSICA DE CONTROL DE UNA SALIDA DIGITAL MEDIANTE ARDUINO Y LABVIEW.....	52
FIGURA 41 PANEL FRONTAL DE CONTROL DE SALIDA DIGITAL MEDIANTE LINX Y ARDUINO.	52

FIGURA 42 ALGORITMO DE LÓGICA DE CONTROL DE RELÉS PARA APERTURA Y CIERRE DE VÁLVULA DE CONTROL	53
FIGURA 43 GESTOR DE COMPLEMENTOS VI PACKAGE MANAGER DE LABVIEW 2014.....	53
FIGURA 44 ACCESO A LA PLATAFORMA DE PROGRAMACIÓN LIXN- LABVIEW	54
FIGURA 45 PLATAFORMA DE SELECCIÓN ARDUINO 2560	55
FIGURA 46 SELECCIÓN DE PUERTO COM DE COMUNICACIÓN ARDUINO/PC	55
FIGURA 47 SELECCIÓN DE COMUNICACIÓN SERIAL ARDUINO/ PC	56
FIGURA 48 VÁLVULA DE CONTROL TIPO MARIPOSA ACTUADOR ELÉCTRICO 40 MM 24 VDC DIAMANT PRO	56
FIGURA 49 SISTEMA DE IMPULSIÓN E INYECCIÓN SIN VÁLVULA DE CONTROL.....	57
FIGURA 50 INSTALACIÓN DE VÁLVULA DE CONTROL AL SISTEMA DE INYECCIÓN.	57
FIGURA 51 MÓDULOS DE RELÉS DE CONTROL DE VÁLVULA PRINCIPAL DE REGULACIÓN	58
FIGURA 52 INSTALACIÓN DE CABLEADO EN TARJETA DE CONTROL DE VÁLVULA DE REGULACIÓN.....	58
FIGURA 53 INTERFAZ DE CONTROL PC/ARDUINO/RELÉS DE CONTROL	59
FIGURA 54 VISTA FRONTAL SISTEMA DE REGULACIÓN CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS.	69
FIGURA 55 VISTA LATERAL SISTEMA DE REGULACIÓN CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS.	69
FIGURA 56 VISTA PANORÁMICA SISTEMA DE REGULACIÓN CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS.....	70
FIGURA 57 PANEL HMI DE MONITOREO Y CONTROL DEL PROCESO	71
FIGURA 58 OPERACIÓN HMI.....	72
FIGURA 59 MEDICIÓN DEL FLUJÓMETRO A 250 LITROS/HORA.....	73
FIGURA 60 MEDICIÓN DEL FLUJÓMETRO A 400 LITROS/HORA.....	73
FIGURA 61 MEDICIÓN DEL FLUJÓMETRO A 500 LITROS/HORA.....	74
FIGURA 62 MEDICIÓN DEL FLUJÓMETRO A 750 LITROS/HORA.....	75
FIGURA 63 MEDICIÓN DEL FLUJÓMETRO A 1000 LITROS/HORA.....	75
FIGURA 64 DETECCIÓN DE VALOR DE PRESIÓN ESTABLE EN EL SISTEMA DE INYECCIÓN....	76
FIGURA 65 DETECCIÓN DE VALOR DE PRESIÓN BAJA Y FALLA EN EL SISTEMA DE INYECCIÓN	76
FIGURA 66 PRUEBA MANUAL DE APERTURA DE VÁLVULA DE CONTROL	77
FIGURA 67 ACCIONAMIENTO RELÉ 1 Y RELÉ 2 PARA APERTURA MANUAL DE VÁLVULA DE CONTROL.....	77
FIGURA 68 PRUEBA MANUAL DE CIERRE DE VÁLVULA DE CONTROL.....	78
FIGURA 69 ACCIONAMIENTO RELÉ 1 Y RELÉ 3 PARA CIERRE MANUAL DE VÁLVULA DE CONTROL.....	78
FIGURA 70 VÁLVULA DE CONTROL A 0 LITROS/HORA DE INYECCIÓN.....	79
FIGURA 71 VÁLVULA DE CONTROL A 1000 LITROS/HORA DE INYECCIÓN.....	79
FIGURA 72 VÁLVULA DE CONTROL A 700 LITROS/HORA DE INYECCIÓN.....	80
FIGURA 73 CERRADO AUTOMÁTICO A 0 LITROS/HORA DESDE RANGO ALTO	81
FIGURA 74 CIERRE COMPLETO DE VÁLVULA DE CONTROL A 0 LITROS/HORA.....	81
FIGURA 75 APERTURA A SET POINT DE 450 LITROS/HORA.....	81
FIGURA 76 ESTABILIZACIÓN A 450 LITROS/HORA.....	82
FIGURA 77 APERTURA A SET POINT DE 650 LITROS/ HORA.....	82
FIGURA 78 ESTABILIZACIÓN A 650 LITROS/HORA.....	83
FIGURA 79 ESTABILIZACIÓN A 900 LITROS/HORA.....	83
FIGURA 80 ESTABILIZACIÓN A 1000 LITROS/ HORA.....	84

INFORMACIÓN GENERAL

Contextualización del tema

La industria ha crecido a pasos agigantados con el desarrollo de nuevas tecnologías y algoritmos de control computacionales capaces de manejar millones de datos en altas velocidades y en tiempo real, los sistemas de automatización electrónica son gran parte del nuevo avance de la Industria 4.0 para los procesos de manufactura (Chaisricharoen, y otros, 2022). Los nuevos desafíos de la Industria promueven el desarrollo de sistemas capaces de ofrecer el mejor rendimiento con bajo costo y alta eficiencia; la integración profunda de cada uno de los componentes de un sistema o proceso industrial pretende crear tecnologías y productos inteligentes de operación autónoma.

Dentro de los múltiples avances tecnológicos en los procesos industriales se encuentra la Visión Artificial como uno de los componentes de mayor proyección para el desarrollo de equipos de nuevas funcionalidades y procesos dinámicos. Los campos de aplicabilidad de la visión artificial son muy variados y permite capacidades de análisis y toma de datos dentro de los procesos mediante la incursión de sistemas de tomas de imágenes y algoritmos de control lógico. La visión artificial es netamente adaptable y escalable, es decir, se puede incursionar en un sistema sin la necesidad de equipos especializados o de altos costes de instalación. A su vez, su integración es rápida y no invasiva; todo esto con la misión principal de proveer al proceso capacidad de toma de decisiones y manejo de datos.

En la actualidad, la visión artificial se ha implementado en diferentes equipos y procesos industriales con el fin de promover autonomía en la adquisición de datos y el control de acciones lógicas de procesos. Su fácil adaptabilidad permite que equipos o instrumentos que no podían transmitir o visualizar sus parámetros característicos puedan vincularse a un sistema de control de procesos. La factibilidad de uso es tan amplia que se puede irrumpir en sistemas domiciliarios, industriales, educación e incluso ser base de estudio e innovación.

Problema de investigación

En la actualidad, los sistemas de fertilización e hidratación de cultivos de producción cuentan con una estructura basada en sistemas de bombeo, control de flujo, presión y relación de inyección de fertilizantes según la necesidad y características de los cultivos. Dentro de su estructura principal es fundamental contar con instrumentos de medición de flujo y presión debido a que estas son consideradas las variables principales dentro de un proceso de estas características; esto permite generar productos de alta calidad y cumplir la demanda nutricional de los cultivos.

En la gran mayoría de los equipos poseen un flujómetro o rotámetro para obtener la medición de caudal y un manómetro para obtener el valor de presión del sistema, estos dos instrumentos de medición proporcionan valores de medida en tiempo real de forma continua; su medición es lineal y la apreciación de la medida se la realiza de forma visual en función al valor establecido por el indicador físico que posee cada uno de estos instrumentos. De esta manera, el personal a cargo del proceso deberá realizar monitoreo y regulación continua in situ las veces que sean necesarias.

Por esta razón, la implementación de un sistema de visión artificial para obtener las medidas de flujo y presión características de estos procesos permitirá obtener un sistema con capacidad de proporcionar datos exactos en tiempo real de forma autónoma, estos datos posteriormente podrán ser analizados con el fin de efectuar una acción de control lógica sobre el proceso y obtener la máxima eficiencia conforme a los parámetros establecidos. Todo esto de forma autónoma y remota sin la presencia de un operador de forma continua.

Objetivo general

Implementar un sistema de control y monitoreo de inyección de fertilizantes en equipos de dosificación en cultivos mediante visión artificial

Objetivos específicos

1. Determinar los fundamentos teóricos para la elaboración de un proceso basado en

visión artificial.

2. Establecer las características del entorno del sistema de dosificación
3. Analizar los equipos para establecer un sistema de visión artificial.
4. Determinar un algoritmo de procesamiento de imágenes en LabVIEW.
5. Implementar el algoritmo de procesamiento de imágenes para obtener el valor de caudal del flujómetro y valor de presión emitida por el manómetro.
6. Establecer un algoritmo de control de una válvula actuadora capaz de regular la dosificación de fertilizantes
7. Diseñar un HMI en LabVIEW para el monitoreo de datos en tiempo real.
8. Validar los algoritmos de visión y control mediante pruebas de funcionamiento.

Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos.

El presente proyecto desarrolla un aporte directo a la gestión de datos y automatización de sistemas de fertilización y manejo de dosificaciones. En la actualidad, Ecuador cuenta con múltiples agro productores los cuales diariamente necesitan un correcto control de dosificaciones de nutrientes a cada uno de sus cultivos; la innovación tecnológica de sistemas de fertilización en la actualidad es costoso. Por esta razón, la visión artificial incentiva a la digitalización de sistemas agro productores del Ecuador a bajo costo y con alto nivel de precisión y manejo de datos.

El manejo de la nutrición de los cultivos de forma eficiente promueve la productividad de los cultivos y mejor calidad del producto final, con la implementación de sistemas inteligentes de manejo y procesamiento de datos para control de fertilización, el Agro obtiene sistemas de alta precisión a bajo costo; estos sistemas también tienen la particularidad de generar valor agregado al producto final. Es decir, la nueva tendencia de control y manejo de inyección de fertilizantes se orienta al control automático total con costos de inversión/mantenimiento relativamente pequeño; el control minucioso de variables primarias del proceso genera precisión en la inyección a relaciones adecuadas para productos de alta calidad.

En Ecuador existen alrededor de 900 mil hectáreas legalizadas de diferentes tipos de cultivos con alta necesidad hídrica y manejo de sistemas integrados de riego y fertilización (MIRF), el café, cacao, cultivos de rosas, hortalizas y maíz se muestran como los ejes principales de producción; el beneficio directo que representa un manejo digitalizado y control automático de inyección de fertilizantes está ligado directamente a costes de producción y calidad del producto (Ganadería, 2023). Así también, en los últimos meses del 2023 la escasez de fertilizantes es uno de los factores que atenta los sistemas de producción mundial, es por ello que los sistemas de alta eficiencia tienden a la optimización de este recurso.

CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1. Contextualización general del estado del arte

La visión artificial es uno de las principales herramientas tecnológicas para la automatización de procesos industriales con potenciales manejo de datos a gran escala y en tiempo real, se encuentra en la gran mayoría de sistemas de obtención y manejo de datos de procesamiento de señales en tiempo real (Van Eenwyk, Agah, & Cibis, 2008). Los procesos de adquisición de datos han tomado gran importancia y relevancia debido a la simplificación de procesos mediante algoritmos de control orientados por cámaras y foto radares de manejos de procesamientos de información (Yaogan, y otros, 2021).

La visión artificial está compuesta de diferentes métodos de análisis de imágenes o conjunto de las imágenes, estas son capaces de ser procesadas altas velocidades para obtener características relevantes de la imagen y conocer valores o grupos de valores de interés; este grupo de valores puede generar nuevos algoritmos o métodos de control de manera redundante y automática (Li & Shi, 2018). Las características de la visión artificial y su aporte a la tecnología son múltiples, es así que es posible el desarrollo de robots controladores con métodos de posicionamiento y direccionamientos basado en algoritmos de procesamiento de imágenes en tiempo real para el control autónomo de su posición (Zhang, y otros, 2020)

Los campos aplicativos de la visión artificial son variados debidos a sus altas características y versatilidad de procesos; la visión artificial permite el diseño de sistemas de seguridad integrales mediante el análisis del rostro humano como el estudio del parpadeo de los ojos con la finalidad de detección de somnolencia en conductores (Baiza Lovato, 2020). Los algoritmos de visión artificial generan procesos de clasificación y determinación de eventos de la sociedad, los algoritmos son capaces de predecir accidentes de tránsito urbanos mediante el análisis de eventos y procesos característicos relacionados a los accidentes de

tránsito; este es un aporte de la visión artificial al desarrollo social enfocado a la seguridad (Changotasig Yáñez, 2023)

También se ha incursionado en campos industriales, su principal aplicabilidad se destaca en métodos de clasificación de productos en función a las características de calidad requerida por la empresa o sistema de manejo de estándares del producto (Aquilera Moreno, Cáceres Moreno, Martínez Gila, Gamez García, & Gomez Ortega, 2015) uno de los ejemplos de su adaptabilidad es el manejo de técnicas de clasificación de café (Serrano Fuentes & Lizardo Zelaya, 2020) y técnicas de clasificación de fresas (Constante, y otros, 2016). En el tema educativo, la visión artificial se orienta al análisis de posturas en procesos de enseñanza mediante técnicas móviles (Cheng, Ma, Lin, & Jeiwei, 2022)

En el campo de la medicina, la visión artificial es utilizada para el análisis de patrones de células o estigmas que produzcan afecciones o enfermedades, su adaptabilidad se orienta en el análisis de muestras de piel (Kabatuan, Dadios, Raouf, & Oikonomou, 2012). Es así que la visión artificial esta presenta en cada uno de los procesos de la vida cotidiana para permitir la mayor eficiencia en el procesamiento de datos y consecución de resultados; su uso es progresivo y exponencial debido a su alta veracidad y manejo de datos con pocas herramientas de inserción no invasiva para el manejo de datos.

Dentro de los instrumentos de medida netamente industrial el flujómetro es uno de los dispositivos de mayor alcance, tiene un amplio valor de medición y escala de medición está en función a la densidad del fluido en función al empuje que ejerce sobre la presa (Sarbu, 2016) su uso en la industria es alto debido a su alta precisión. En lo que corresponde a presión el manómetro es el instrumento de medición de mayor uso, su valor de medida está sobre el nivel de presión atmosférica y su rango es alto para diferentes aplicabilidades dentro de procesos dinámicos (Yu & Jing, 2011)

La visión artificial es un método idóneo para la adquisición de datos digitales en instrumentos de medición industriales análogos, la adquisición de patrones geométricos

propios de la pesas y agujas de dispositivos de medición son características definidas que impulsan obtener métodos de análisis de visión artificial con un alto grado de exactitud; el método de reconocimiento de patrones geométricos es el más utilizado dentro de los aplicativos de visión artificial orientados a la adquisición digital de datos, la escala de blanco, negro, binarización y segmentación de imágenes son métodos complementarios que aportan la exactitud de la medida (Chang, Pruna, Pilatasig, Escobar, & Mena, 2015)

1.2. Proceso investigativo metodológico

El presente trabajo de titulación cuenta con diferentes metodologías de investigación para sustentar de forma concisa y veraz la recolección de información y datos para el alcance de cada uno objetivos propuestos, de esta forma, se obtiene una estrecha correlación entre el marco teórico referencial, procesos de pruebas de funcionamiento y recolección de datos. Se utiliza la investigación explicativa para obtener la relación entre las causas y efectos de las variables internas del proceso y su inferencia directa, la investigación teórica permite generar la información necesaria de conocimiento general para el desarrollo del tema, se aplica también la investigación aplicada para la consecución de un objetivo desde un análisis práctico.

De igual forma, la metodología experimental permite obtener la relación directa entre los parámetros esperados mediante análisis de pruebas de funcionamiento, con esta metodología se indaga cada uno de los resultados en función a las variables características del proceso y su repercusión en los resultados. Finalmente, la metodología cuantitativa permite obtener y evaluar los datos de acuerdo al comportamiento de variables de control y su efecto en el proceso, su análisis repercute directamente en la formulación de conclusiones debido a manejo de datos y estudio de impacto.

En primer lugar, el contexto metodológico se enfoca en una investigación teórica para obtener los conocimientos, características y lineamientos generales que repercuten en la concesión de las metas del proyecto. De forma seguida, la metodología se orienta a la

investigación aplicada para abordar estrategias específicas orientadas al tema principal de desarrollo, la investigación científica y tecnológica permiten generar conocimientos específicos que impulsan el desarrollo de algoritmos y técnicas de conocimiento y desarrollo práctico para metas específicas de la investigación.

CAPÍTULO II: PROPUESTA

2.1. Fundamentos teóricos aplicados

2.1.1. Introducción

Los sistemas de visión artificial o visión por computadora han tomado gran importancia dentro del desarrollo de sistemas industriales, su precisión y alta escalabilidad permiten que sea uno de los procesos de manejo de datos más empleados. Su arquitectura no utiliza alta complejidad para la integración a los sistemas debido a que su eje principal de operación se centra en una cámara como dispositivo recolector de datos y un sistema de procesamiento lógico de imágenes basados en algoritmos específicos para cumplir diferentes características. El proceso es simple, una cámara capta la imagen en tiempo real y dentro del computador emplea el algoritmo para la detección u operación específica según la necesidad.

Dentro de la Industria 4.0 la visión por computador o también denominada visión artificial contempla un alto índice de desarrollo y aplicabilidad dentro de los sistemas de monitoreo continuo. La flexibilidad, adaptabilidad, integración y virtualización son los principales aspectos que hacen atractiva a la visión artificial como una de las mayores tendencias en el manejo y tratamiento de datos digitales con fines de control operativo; su índice de aplicabilidad crece continuamente debido a que se puede emplear en tecnología antigua como método de moderno.

La visión artificial es no intrusiva, no cambia la arquitectura de los sistemas para alterar su operación o puntos críticos de trabajo; por esta razón, puede ser empleada en diferentes aplicaciones de censado, reconocimiento de variables, patrones, números y letras. En la Industria se emplea para reconocimiento de patrones de operación y mantenimiento, así como procesos de obtención de medición continua de sistemas de monitoreo por operador.

2.1.2. Rotámetro

El flujómetro o también denominado rotámetro es uno de los dispositivos industriales más utilizados para la medición de caudal dentro de procesos de agua, gas, líquidos de diferente

la etapa de impulsión de la bomba, precisión y valores de contrapresión por realimentación del sistema (Distron, 2023)

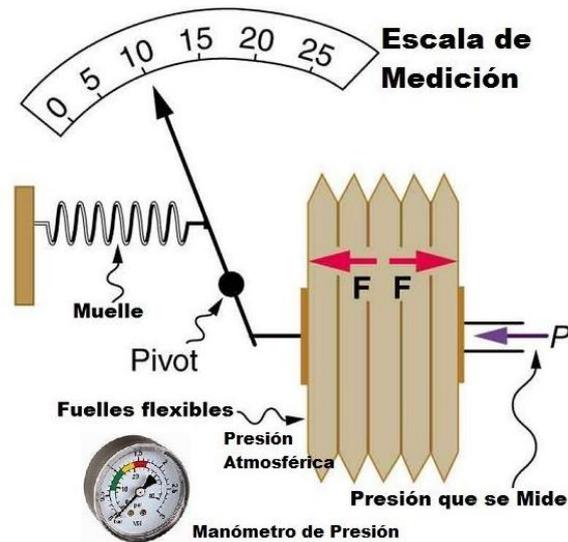
2.1.3. Manómetro

El manómetro es un dispositivo análogo utilizado para la medición de presión de gases o fluidos en líneas de presión cerradas, es un indicador análogo de apreciación visual para su lectura; contienen un puntero tipo fecha el cual se desplaza en función a la presión característica para indicar un número establecido por la escala y resolución del dispositivo. Es uno de los equipos de medición de presión más utilizados y antiguos dentro de la industria, su accionar es de tipo mecánico, sin embargo, su estructura de funcionamiento y arquitectura interna permite que las mediciones tengan amplio rango de exactitud y repetibilidad sin importar su escala de alcance (Brock, Wisniewski, & Wolinski, 1991)

Su mecanismo de medida se fundamenta en el cálculo diferencial entre la presión de entrada (o presión de medida) y la presión atmosférica, a esta diferencia de presión se la define como presión manométrica y es la que establece el movimiento de la aguja del dispositivo en función a la interacción del fuelle interno con los resortes de la estructura mecánica interna. La exactitud que maneja el manómetro es alta y está totalmente relacionada al precio y sensibilidad del mecanismo interno de accionamiento (Zu, Wang, Song, Zhang, & Sheng, 1994)

Figura 2

Estructura de funcionamiento de manómetro



Nota. La figura representa las partes mecánicas del accionamiento de un manómetro para la medición de presión (Area Tecnología, 2020)

Es así como el manómetro se ha convertido en el instrumento de mayor uso para la medición de presión en sistemas domóticos, inmóticos e industriales. Su bajo costo y alta precisión de medida lo hacen atractivo ante la demanda de dispositivos de control visual, además, puede emplearse a diferentes fluidos de viscosidad y su escala es netamente variable

2.1.4. Visión Artificial.

La visión artificial es una rama directamente asociada a la Inteligencia Artificial, es una metodología que permite a los computadores y procesadores obtener información digital de cierto objeto o proceso por medio de entradas visuales las cuales generalmente son cámaras. La visión artificial es una disciplina de las ciencias computacionales que permite con los equipos puedan ver y estimar con la percepción del ojo humano, y en la gran mayoría de ocasiones, con una mejor resolución, exactitud y sin la generación de fatiga visual; es decir, la toma de datos puede llegar a ser infinita en un solo punto de operación.

El concepto de funcionalidad de la visión artificial está enfocado en el ojo humano. Sin embargo, el ojo humano posee la gran capacidad y ventaja de la distinción de objetos, color, formas y tendencias; es aquí donde la visión artificial toma un contexto de desarrollo diferente, no tan solo se trata de la adquisición de datos mediante una cámara específica, también se enfoca en el desarrollo de un algoritmo capaz de recrear todas las acciones que realiza el ojo humano en constante comunicación con el cerebro. Mediante el concepto de programación y procesamiento digital de imágenes la visión artificial se transforma en un proceso de percibir diferencias y patrones de forma lógica (Liana, y otros, 2011)

2.1.5. LabVIEW

LabVIEW es un software de Ingeniería y diseño de sistemas complejos de alto nivel que permite el desarrollo de aplicaciones orientadas a la medición, control y pruebas de sistemas industriales o desarrollo investigativo; LabVIEW reduce la complejidad de la programación mediante el uso de bloques gráficos de programación y toolkits de desarrollo con aplicabilidad y control de hardware de alta compatibilidad con normas de transmisión, control de datos y software de licencia abierta. Este software reduce la complejidad de algoritmos de programación y genera un mayor enfoque en el problema real de la ingeniería (Asha, Tasleem, Ravi Kumar, Swamy, & Rekha, 2017)

Su lenguaje intuitivo y bibliotecas de alto nivel han convertido a LabVIEW en uno de los softwares de desarrollo más utilizados del mundo, además, dentro de su estructura posee la capacidad de generar Interfaz Humano Máquina (HMI) y sistemas ejecutables con compatibilidad y escalabilidad alta. LabVIEW permite la interacción de diferentes periféricos y dispositivos de comunicación con más de 10 protocolos de comunicación (serial, paralelo, PXI, GXI, USB, TPC/IP, IRDA, GPIB, Bluetooth y OPC), esto lo transforma en un lenguaje atractivo para el desarrollo de Ingeniería por su compatibilidad total multiplataforma; el OPC es el más utilizado en el desarrollo de líneas de producción de fabricación y control industrial en tiempo real (Khera & Jain, 2014)

2.2. Descripción de la propuesta.

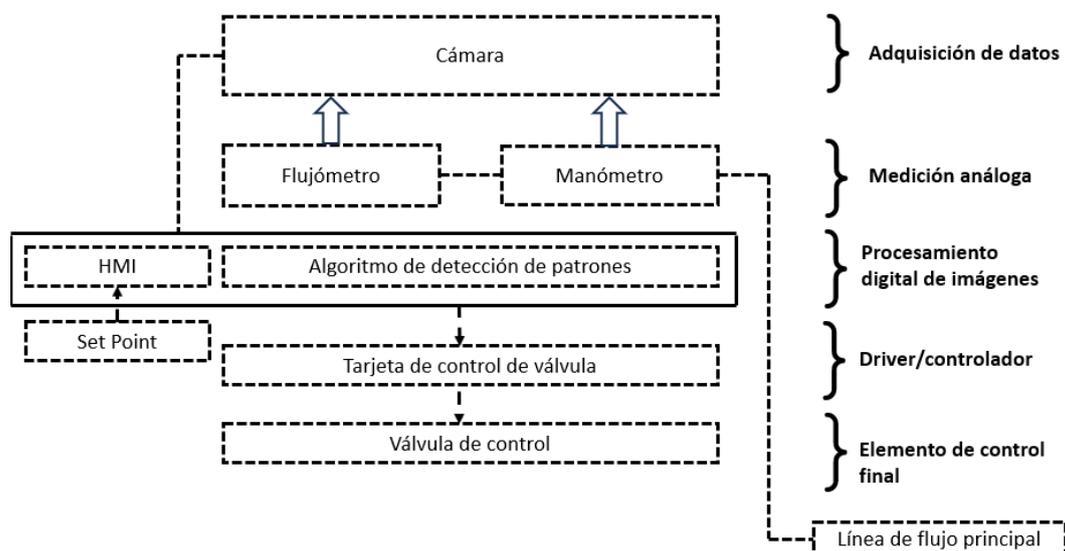
2.2.1. Estructura general

El presente proyecto de investigación propone la construcción de un prototipo de sistema de control de inyección de fertilizantes mediante visión artificial, las principales variables de control de proceso como flujo y presión serán visualizadas y analizadas en un algoritmo de visión artificial mediante una cámara instalada junto a los dispositivos de medida análogos de cada variable; con la implementación de algoritmos de visión artificial de obtiene directamente la medida en un HMI digital para realizar procesos de control, regulación y monitoreo en tiempo real de acuerdo a la necesidad del operador.

El control de inyección y flujo de fertilizante se realiza mediante una válvula de control por apertura/cierre que actúa según la necesidad específica del operador para obstruir o generar el paso de fertilizante de acuerdo a las especificaciones requeridas por el operador para la inyección de fertilizante en forma continua al proceso. La programación se realiza en LabVIEW 2014 mediante el uso de una PC DELL INSPIRON Core i5 tercera generación y el manejo de toolkits y herramientas de procesamiento de imágenes propios del software

Figura 3

Etapas del sistema de procesamiento y control del proceso

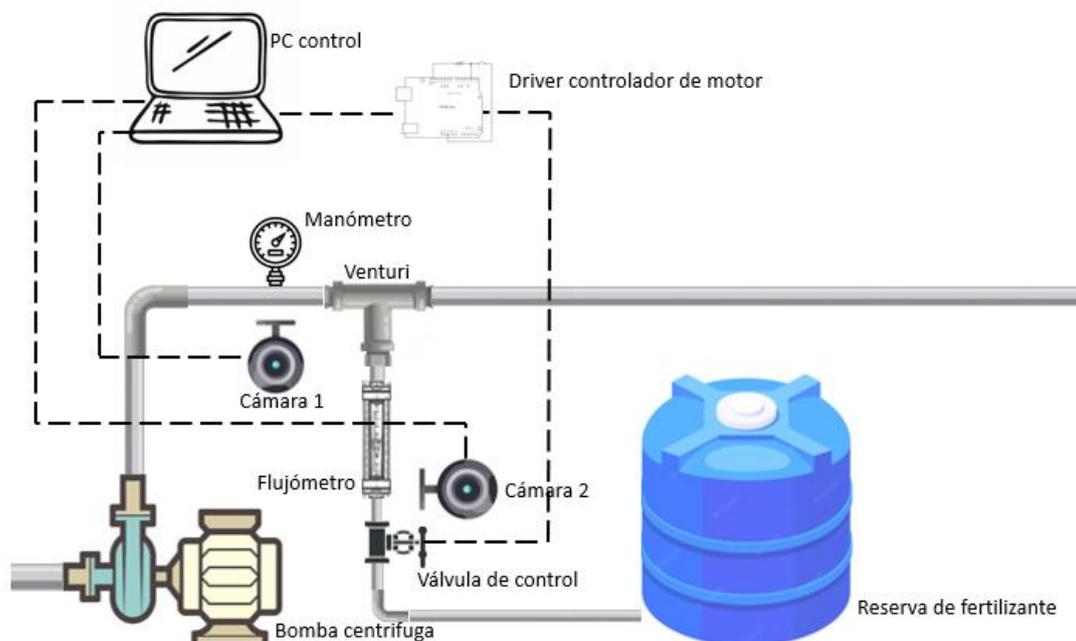


El sistema está conformado por una cámara como dispositivo de adquisición de datos de forma gráfica, la cámara se encuentra en la parte frontal de los dispositivos de medición análoga; el flujómetro encargado de la medición del caudal y el manómetro como dispositivo de medición de presión. Las secuencias de imágenes en tiempo real serán emitidas directamente a un computador que por medio de algoritmos de procesamiento digital de imágenes y reconocimientos de patrones orientados a la obtención de las mediciones digitales de cada uno de los dispositivos.

El proceso cuenta con un HMI donde observa el proceso de forma intuitiva, el proceso cuenta con entrada de set point donde se ingresa en valor en PPM (Partes por millón) el cual permite el cierre y apertura de la válvula de control en función del process value y set point; la válvula se encuentra controlada por un driver para su control se sentido de giro y velocidad. La válvula deja de operar cuando se alcanza el valor en litros/hora en el flujómetro que corresponde a los PPM requeridos en el proceso y necesidad.

Figura 4

Estructura general de implantación de prototipo



2.2.2. Explicación de aporte

El sistema cuenta con múltiples etapas de control hidráulico y eléctrico, el proceso se divide en distintas etapas de operación las cuales deben ser síncronas y en tiempo real para una regulación con mayor exactitud y eficiencia. La etapa de impulsión es realizada por una bomba centrífuga, la etapa de inyección constituida por el manómetro, venturi, flujómetro y tanque de fertilizante. Finalmente, la etapa de medición y control formada por las cámaras, computador de control y válvula de control; los algoritmos de control y visión artificial se encuentran estructurados y programados dentro del PC.

La operación inicia con el arranque de la bomba centrífuga, la funcionalidad es proveer un flujo de agua a presión constante según la necesidad propia del cultivo; el manómetro es encargado del monitoreo de la presión dentro del sistema. Seguidamente, el flujo y presión constante emitido por la bomba activa el venturi del equipo para crear una cámara de succión y activar la inyección de fertilizantes, los litros/hora de inyección son medidos directamente por el flujómetro en función a la descarga del tanque de almacenamiento. Esta descarga de fertilizante es la variable de control principal debido a la concentración y PPM necesarios para el cultivo; su aporte se mide en litros hora de inyección.

Las cámaras instaladas en el manómetro y flujómetro respectivamente, toma imágenes en tiempo real de forma consecutiva; las imágenes ingresan al algoritmo de visión artificial donde por medio de procesamiento de imágenes se obtiene el valor característico de presión y flujo de inyección de fertilizante de forma digital. Los valores obtenidos se muestran en un HMI en el computador donde de forma intuitiva se observa el funcionamiento del proceso, además, se realiza el algoritmo de control para el control de cierre y apertura de la válvula de control con la finalidad de ampliar o reducir la inyección y consumo de fertilizante desde el tanque de reserva hacia el cultivo según los PPM o litros/hora deseados.

La validación del sistema de efectuará mediante la relación consumo/inyección en las cuales se verifica el consumo de fertilizante efectuado por hora de inyección de agua, así también, el control automático se evaluará mediante técnicas de control de cierre y apertura

total de la válvula en función a los límites mínimos y máximos de apertura y cierre necesarios en el equipo. De esta manera, el equipo efectúa la regulación de inyección a la cantidad de litros/hora deseada con el operador a cargo del sistema.

2.2.3. Estrategias y/o técnicas

El proceso del control de fertilización por medio de visión artificial cuenta con múltiples etapas de diseño y construcción de algoritmos y sistemas de control para la adquisición del producto final deseado. Uno de los elementos más importante dentro del desarrollo del prototipo es el algoritmo de procesamiento de imágenes por medio de patrones geométricos definidos; esta forma de procesamiento permite la obtención y seguimiento de formas características de cada uno de los instrumentos en análisis.

La metodología de extracción de patrones por definición geométrica, así como la localización de la región de interés en el algoritmo es similar para los dos dispositivos de medición, en el flujómetro de orienta a la pesa o flotador como patrón geométrico de interés, mientras que, en el manómetro la pluma de medición es el patrón geométrico y la zona de interés de define por toda el área circular que comprende el manómetro.

El control de cierre y apertura de la válvula de control se realiza por medio de la plataforma LabVIEW en interacción con la librería LINX, esta librería permite la comunicación de un Arduino Mega 2560 con el HMI principal y relés de control para la apertura o cierre de la válvula según la necesidad del Process Value y el Set Point deseado. Todos los algoritmos de control y procesamiento de imágenes son desarrollados en la plataforma LabVIEW como una herramienta rápida e intuitiva de programación grafica por bloques, de igual forma, el sistema cuenta con un HMI principal para la interacción con el sistema.

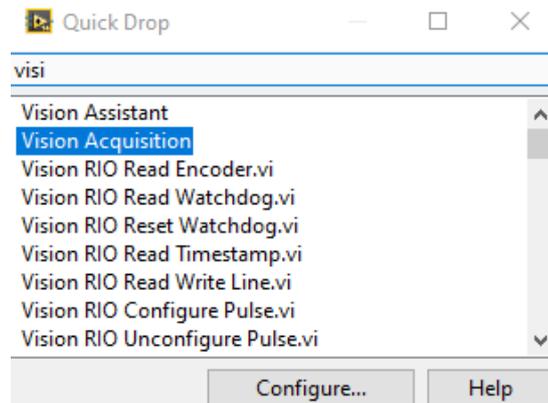
2.2.3.1. Estrategia de obtención de valores y procesamiento de imágenes.

Dentro de la programación del algoritmo de procesamiento de imágenes es necesario obtener el flujo continuo de cuadros por segundo (frames) mediante cámaras, para este proyecto se integra al sistema dos cámaras Web alámbricas tipo USB para la adquisición de

imágenes. Se debe realizar la configuración de las cámaras para la adquisición de imágenes de forma continua, esto se realiza mediante la función **Vision Acquisition** la cual se encuentra en las librerías de LabVIEW

Figura 5

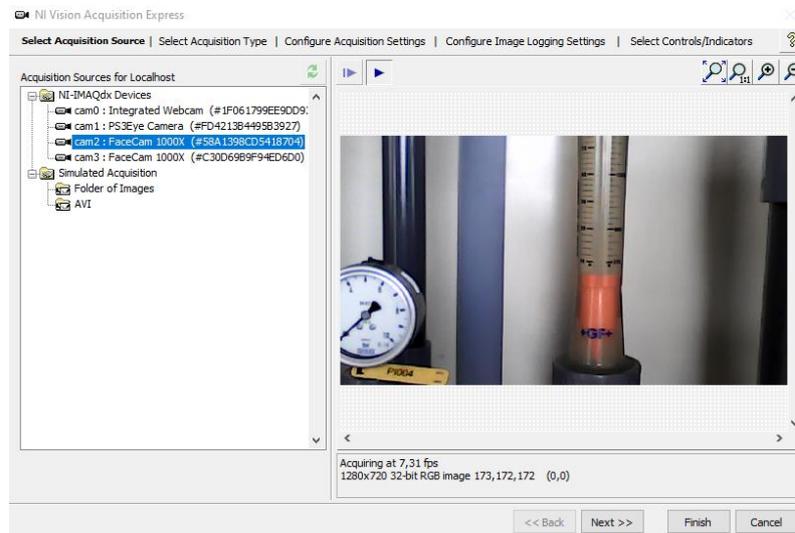
Búsqueda de función Vision Acquisition de LabVIEW



Al seleccionar la función de instala su librería y procede a la apertura de su interfaz de configuración, en esta interfaz se observa cada una de las cámaras disponibles en el entorno de dispositivos; es necesario la identificación de cada uno de las cámaras a utilizarse. Para el presente proyecto se emplea dos cámaras, la primera será para la adquisición de datos del flujómetro mientras que la segunda será destinada para la adquisición de datos del manómetro respectivamente.

Figura 6

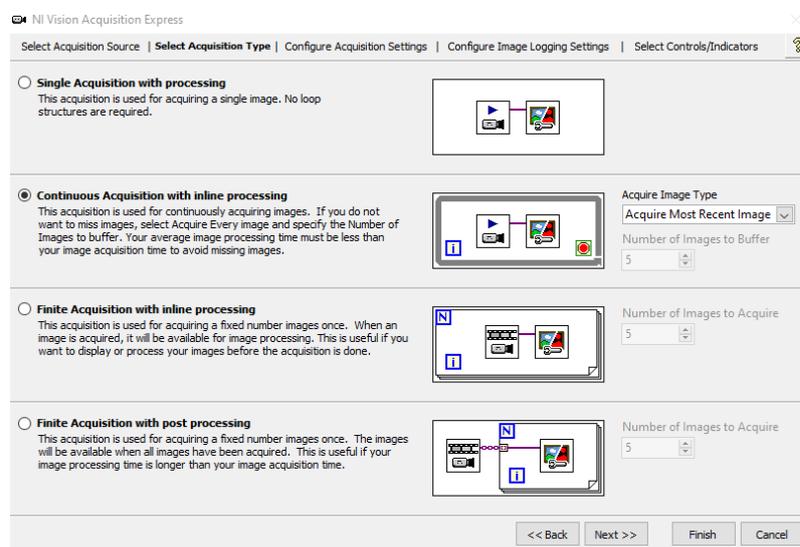
Dispositivos de adquisición de imagen disponibles para Vision Acquisition



Para el presente proyecto existen dos cámaras denominadas FaceCam 1000X, al seleccionar la cámara correspondiente a cada uno de los dispositivos es necesario escoger un modo de adquisición continua de datos mediante cada una de las cámaras hacia los dispositivos de medición correspondientes.

Figura 7

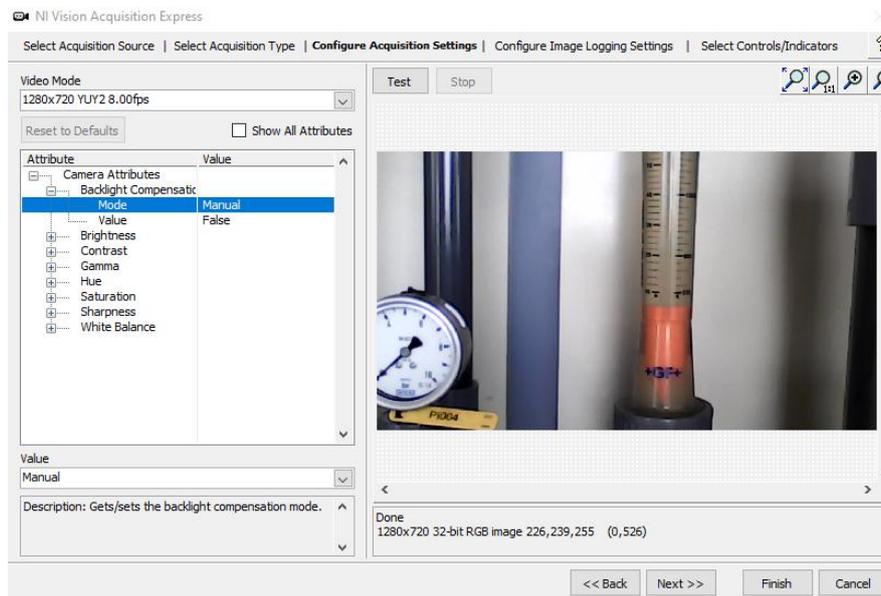
Configuración de adquisición continua de imágenes de los dispositivos.



Es necesario mantener la resolución y configuración de las cámaras a su máxima capacidad, con esto se mantiene la máxima grafica posible en resolución y detalles para el procesamiento de las imágenes en procesos posteriores.

Figura 8

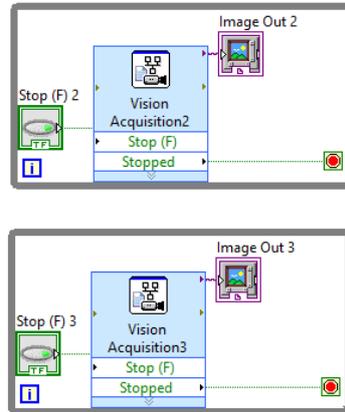
Configuración de máxima resolución y parámetros de adquisición de imagen



Al realizar las configuraciones respectivas en cada una de las cámaras instaladas, LabVIEW crea directamente los dos iconos de adquisición correspondientes a cada una de las cámaras instaladas frente a los dispositivos.

Figura 9

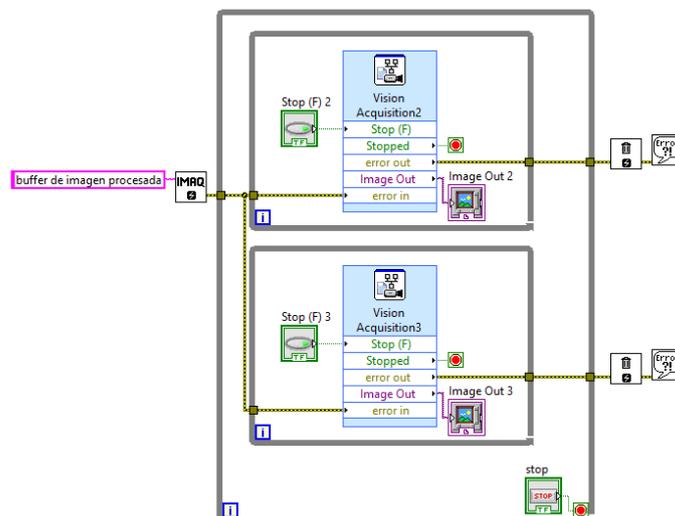
Estructuras While de control de adquisición de imágenes



La configuración realizada por Vision Acquisition tiene la capacidad de almacenar todos los frame de forma infinita dentro de la memoria de procesamiento de LabVIEW, esto genera que el procesamiento se torne lento; por esta razón, es necesario la programación de los bloques **IMAQ Create** e **IMAQ dispose** con el finalidad de controlar el llenado de imágenes a la memoria de procesamiento; esto genera un efecto pila a la memoria lo cual permite ingresar y eliminar cuadros de imágenes necesarias para el procesamiento.

Figura 10

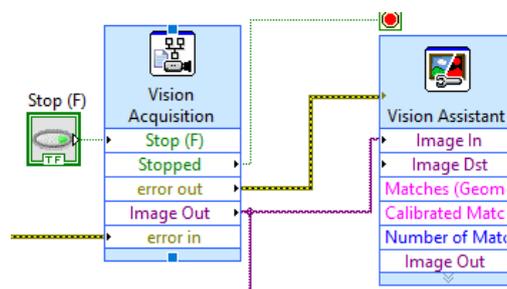
Estructura de liberación de memoria de procesamiento



Cuando se encuentren instalados los VI de adquisición de imágenes, el siguiente proceso es elegir la función **Vision Assistant**, esta función permite la programación y selección de métodos de procesamiento digital de imágenes. Al elegir esta función, su instalación para configuración de inicio es automática. El primer paso es conectar la entrada de imagen al bloque con su gestor de errores respectivos.

Figura 11

Conexión de Vision Acquisition y Vision Assistant



Dentro de la función Vision Assistant se encuentran múltiples y diferentes estrategias y formas de programación y metodologías de algoritmos de procesamiento digital de imágenes, el primer paso es la **extracción del plano HSV** de la imagen de entrada. El plano HSV permite seleccionar los rangos de saturación de color dentro de una imagen; la imagen resultante del plano HSV es una imagen en blanco y negro, pero con un nivel de escala de grises que prioriza el brillo y los contrastes más suaves de la imagen, de esta forma se obtiene un mejor balance en los contrastes y niveles de saturación de la imagen en relación a la luz de entrada y su incidencia sobre el brillo resultante de la misma.

Mediante el plazo HSV de la imagen se analiza matriz, saturación y color; de esta forma la matriz resultante de la nueva imagen tiene coordenadas y valores que permiten conocer la textura original del color sin incidencia de luz o factores externos que puedan causar reflexión o reflectividad y cambios de colores de entrada. Esta función la obtenemos en **Processing Functions: Color** dentro del menú se encuentra la función **HSV- Value Plan**

Figura 12

Funciones de procesamiento de color en Vision Assistant

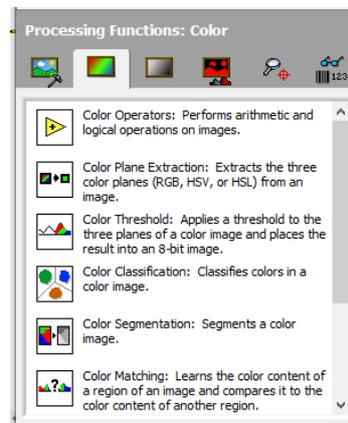
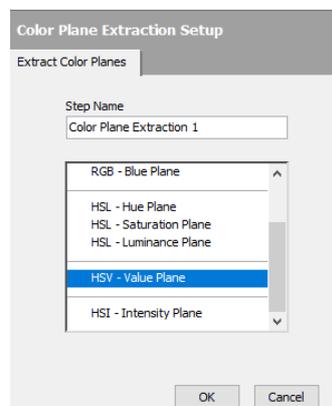


Figura 13

Función de extracción HSV de las imágenes de entrada.



Después de obtener una imagen en blanco y negro como resultado del proceso anterior, el siguiente paso es realizar el reconocimiento de cada uno de los patrones lógicos que permiten la obtención de valor característico de medición de cada uno de los equipos.

Figura 14

Sistema base de dos cámaras para adquisición de datos.



Figura 15

Instalación de sistema de cámaras para visión artificial



Figura 16

Visión periférica de cámaras orientada a los dispositivos de monitoreo

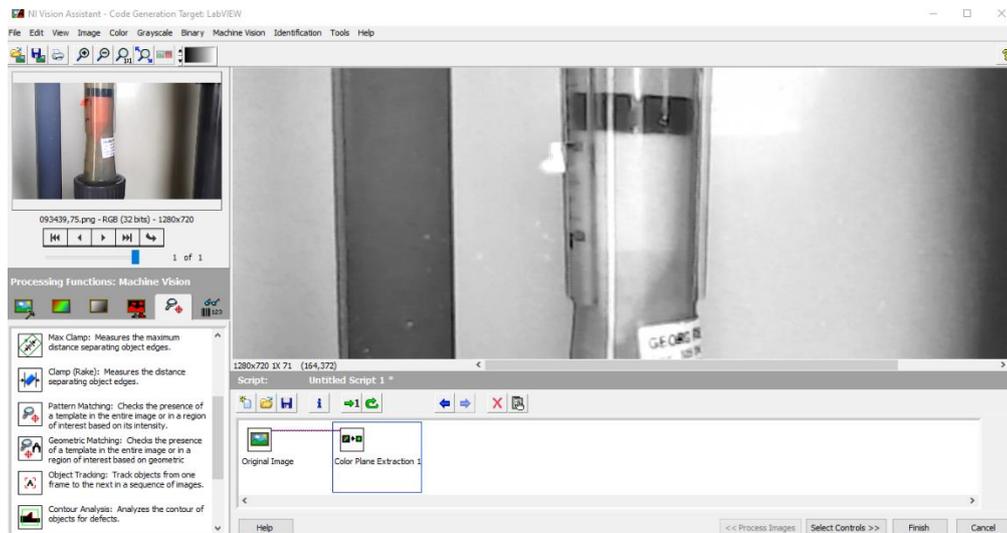


2.2.3.1.1. Flujómetro

Al obtener la matriz HSV de la imagen de entrada del flujómetro, el siguiente paso es definir el objeto o forma característica que define el valor de medida del proceso. Para este instrumento la pesa en el patrón objetivo de análisis, su desplazamiento vertical define la medida final del flujo; para esto se va a definir como objeto de análisis la parte superior del flotador de flujómetro como zona de interés y estudio.

Figura 17

Plano HSV del flujómetro y definición de zonas de interés

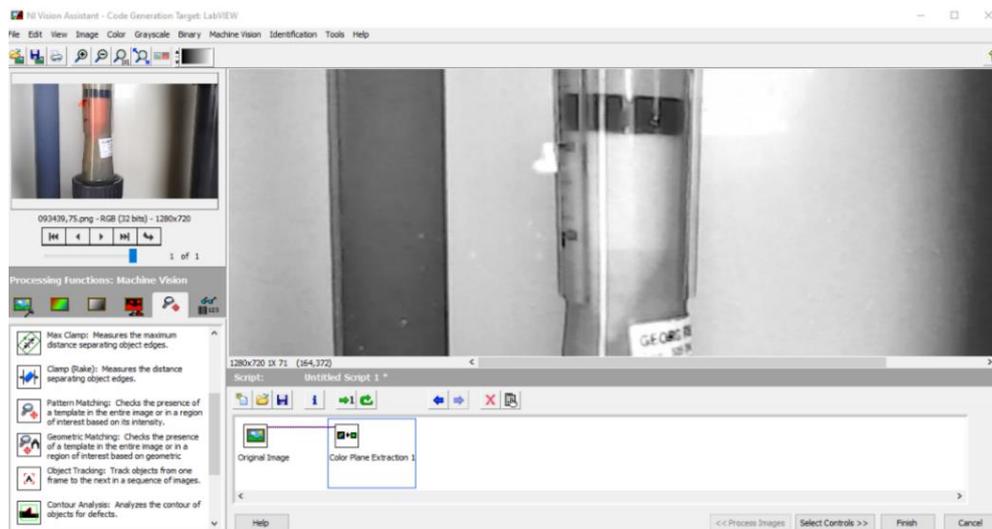


Una vez definido la zona de interés de procesamiento, se reconoce que corresponde a una forma geométrica no es escalable y de dimensiones continuas en el tiempo. Es decir, la pesa no sufrirá alteraciones ni deformaciones durante el proceso de funcionamiento, por estas características se define que el procesamiento de imágenes es necesario realizarlo por medio de reconocimiento de patrones geométricos.

Esta función se encuentra en **Processing Machine Vision Functions**

Figura 18

Geometric Matching para procesamiento reconocimiento de patrones



Al seleccionar esta función se despliega diferentes menús y opciones de configuraciones, la primera es la creación de un **template**, este define el área netamente de interés y localización del patrón geométrico definido dentro del área de trabajo. Al seleccionar la opción **New Template** dentro del menú de opciones de configuración se accede directamente a una pantalla del plano HSV de entrada; ahí se observa el flujómetro y la pesa de medida; para este caso es necesario seleccionar la zona de interés de rastreo por visión artificial.

Figura 19

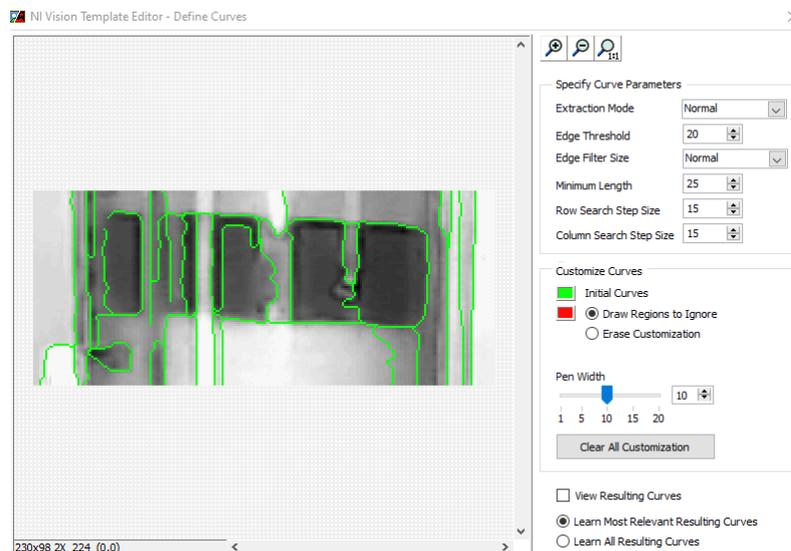
Selección de zona de interés de rastreo por visión artificial



Al seleccionar **Next** la siguiente página despliega la configuración y definición de la forma del patrón de rastreo y monitoreo, en este lugar se observa con líneas verdes las regiones características del patrón a monitorearse; con Edge Threshold se va a configurar el aumento o disminución de estas líneas características; lo ideal es obtener un número de líneas para que exista el balance entre la forma del objeto y su forma al desplazamiento.

Figura 20

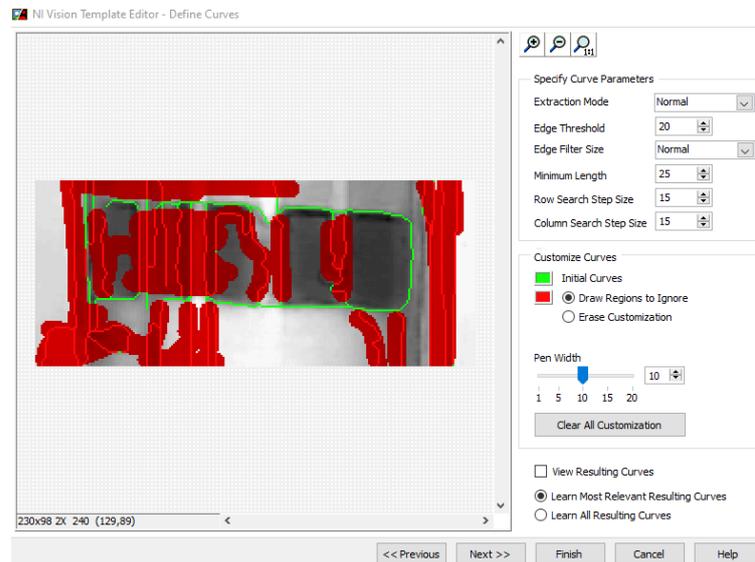
Líneas de interés de forma de patrón.



Con la opción **Draw regions to ignore** se selecciona las líneas que no formen parte de la geometría de tendencia de la forma, es decir, para el presente proyecto se debe obtener lo más cercano a un rectángulo definido por la parte superior de la pesa del flujómetro.

Figura 21

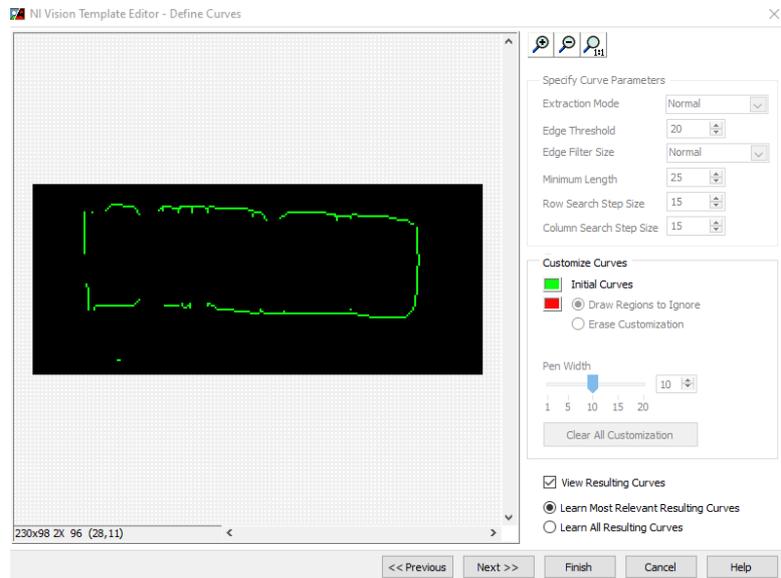
Selección de zonas a ignorarse dentro del patrón



Con la opción **View resulting Curves** se puede observar la figura resultante de la zona de interés demarcada. El objetivo es generar una réplica exacta de la forma de la pesa que se va realizar el monitoreo continuo.

Figura 22

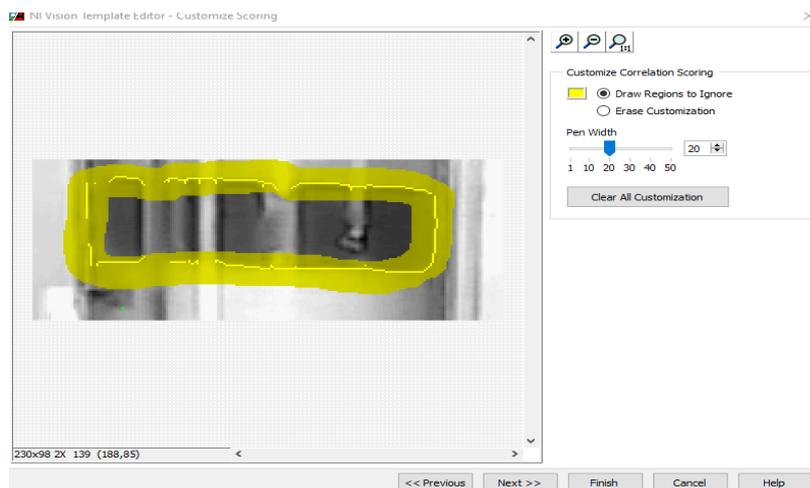
Patrón y curva resultante de análisis



Al obtener la forma deseada, el siguiente paso es la configuración de las zonas de histéresis de las curvas del patrón, esto se emplea en procesos que pueda variar la posición del patrón por leves vibraciones, resolución de cámara o golpes de flujo dinámico del sistema. Se sombrea de amarillo las zonas estimadas donde pueden variar la posición de cada una de las líneas del patrón final.

Figura 23

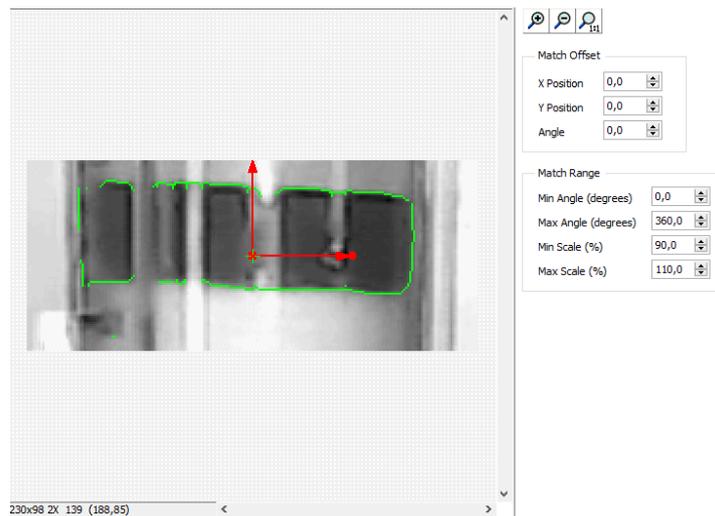
Selección de zona de histéresis del patrón.



En la siguiente pestaña, se observa rangos de escala mínimo y máximo de variación del patrón al momento de la búsqueda; se observa también grados de giro del objeto en caso que sea sometido a una de estas variantes. Para el presente proyecto al ser un movimiento lineal y fijo no aplica ninguna de estas variantes.

Figura 24

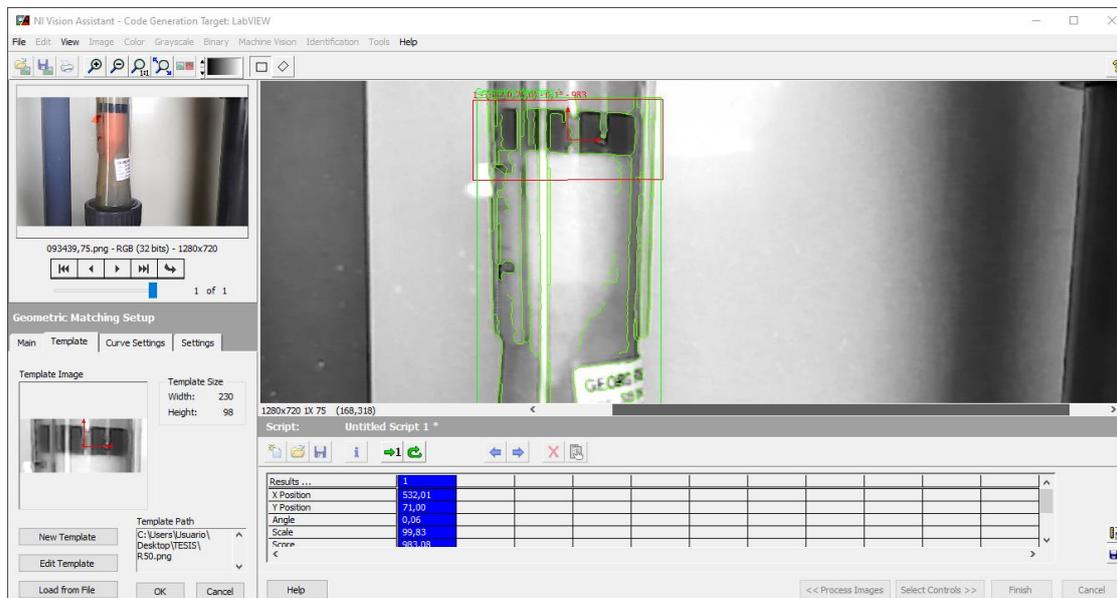
Rangos de escalamientos y giro del patrón.



Al finalizar este proceso de debe obtener la detección automática del patrón seleccionado, también se obtiene (en azul) los rangos de coordenadas de posición que se encuentra el objetivo de análisis; estos son los valores variables para el proceso en función de la posición en la cual se encuentre.

Figura 25

Reconocimiento y posicionamiento del patrón



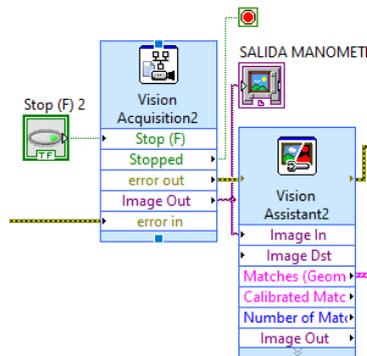
El siguiente paso es definir la zona de interés del trabajo (líneas verdes), para esto es necesario seleccionar el área de trabajo aproximada, para el presente caso se selecciona el área comprendida por el flujómetro debido a que es la región de desplazamiento del patrón. Finalmente, seleccionamos **OK** para guardar los cambios efectuados, seleccionamos todos los controles de salida para que **Vision Assistant** pueda emitir los valores de la posición en las coordenadas encontradas.

2.2.3.1.2. Manómetro.

Con la configuración de **Vision Acquisition** configurado para una segunda cámara, se procede a la configuración de un nuevo bloque de **Vision Assistant** el cuál será empleado para el procesamiento de imágenes correspondientes al manómetro.

Figura 26

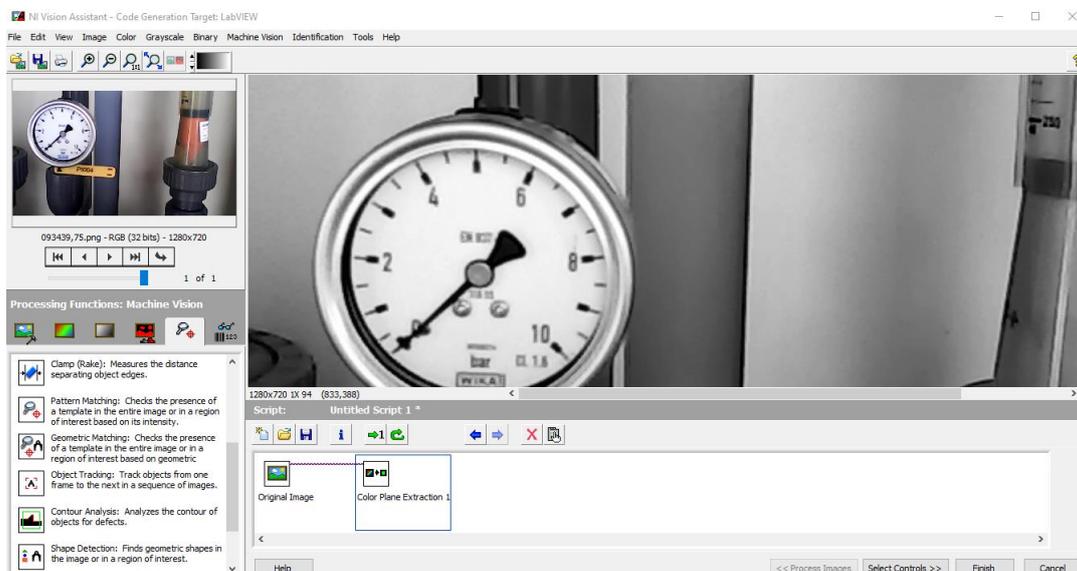
Vision Acquisition 2 y Vision Assistant 2 para manómetro



Al abrir el asistente de Vision Assistant se encuentran las estrategias de procesamiento de imágenes antes mencionadas. Para el manómetro es necesario realizar también la extracción de plano HSV de entrada conforme a las características y procedimientos efectuados en el flujómetro. Esta función la obtenemos en **Processing Functions: Color** dentro del menú se encuentra la función **HSV- Value Plan**.

Figura 27

Extracción del plano HSV para el manómetro.



Se observa que las características físicas del manómetro corresponden a una forma geométrica no es escalable (similar al flujómetro) y de dimensiones continuas en el tiempo. Es decir, la pluma de mediación no sufrirá alteraciones ni deformaciones durante el proceso de funcionamiento, por estas características se define también que el procesamiento de imágenes es necesario realizarlo por medio de reconocimiento de patrones geométricos. Conforma a las características de este tipo de procesamiento, es necesario crear un nuevo **Template** que contenga la región de interés a ser estudiada y monitoreada mediante la visión artificial; para el caso del manómetro se escoge la base ancha de la pluma por su tamaño y forma definida no variable.

Figura 28

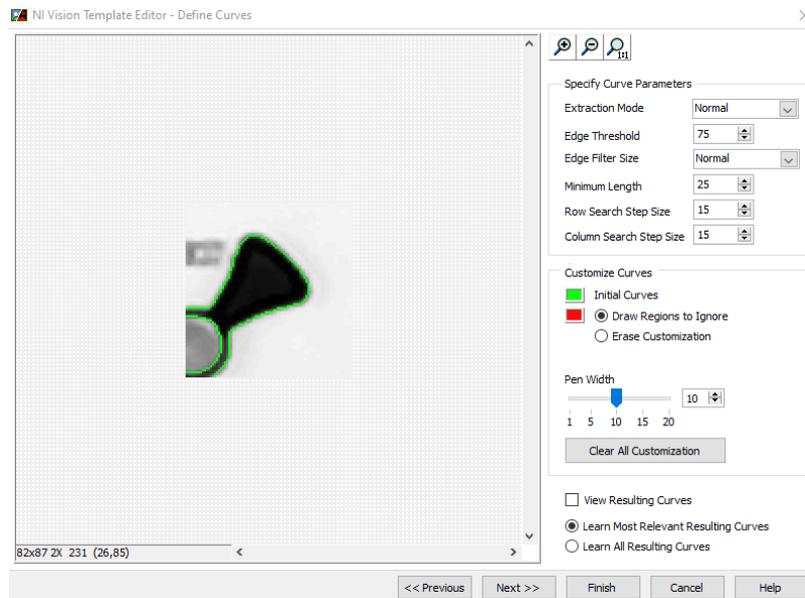
Selección de patrón de monitoreo para manómetro



El siguiente paso es delimitar la zona de interés y forma del patrón.

Figura 29

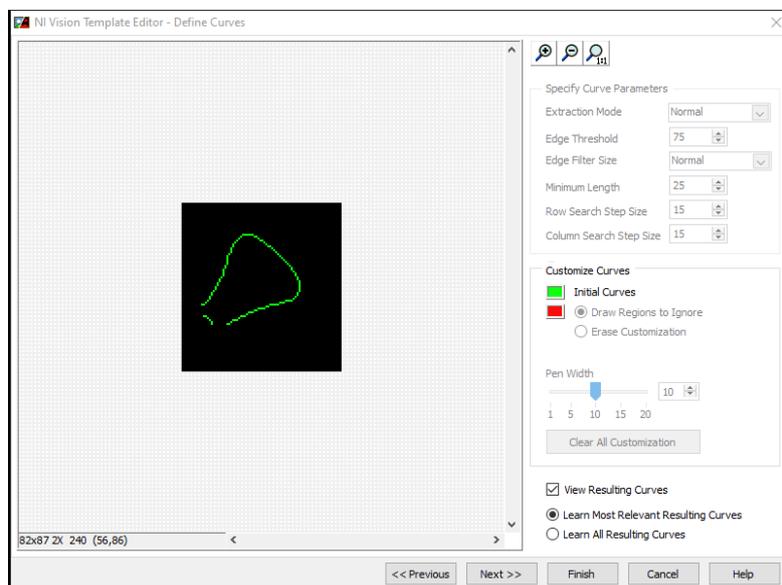
Definición y forma de base de pluma de manómetro.



Con la pertinente revisión en **View Resulting Curves** se verifica que el patrón de monitoreo cumple con las características y similitud establecida por la base de la aguja manómetro.

Figura 30

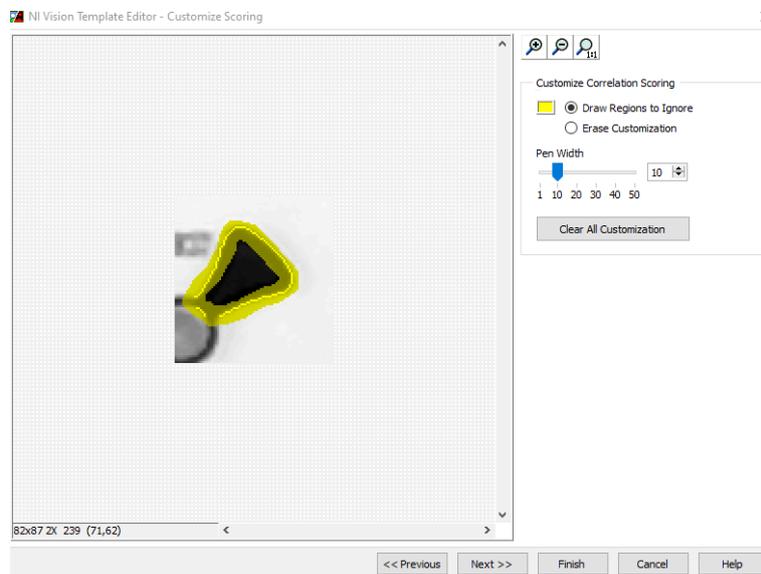
Patrón de monitoreo resultante para manómetro



Se procede también a definir la zona de histéresis de la aguja para una mejor captación del patrón.

Figura 31

Selección de rango de histéresis para patrón de manómetro



Finalmente, se selecciona todos los parámetros de control de salida para que **Vision Assistant** puede emitir los valores de coordenadas de localización del patrón según su posición.

Al finalizar cada una de las configuraciones de la localización de los patrones de medida característicos de cada uno de los dispositivos, en la salida de cada uno de los **Vision Assistant** de cada uno de los medidores se genera una matriz de salida donde se reflejan las coordenadas que se encuentran los objetos de monitoreo.

Figura 32

Matriz resultante de localización de posición de flotador de flujómetro

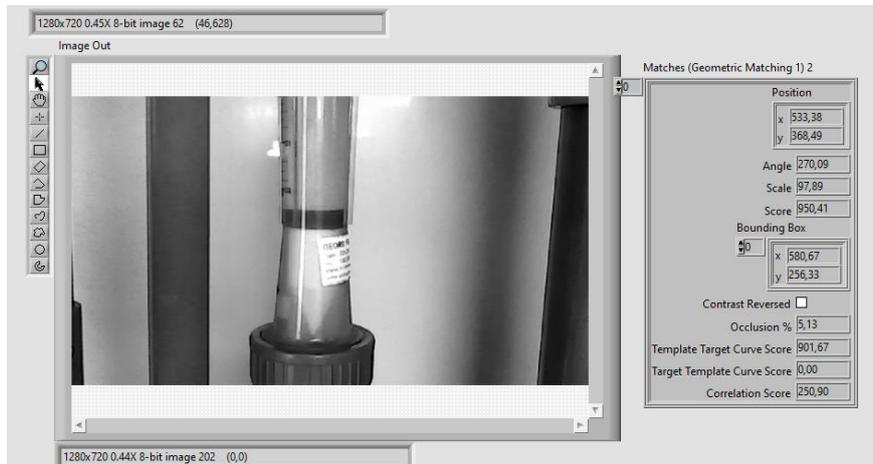


Figura 33

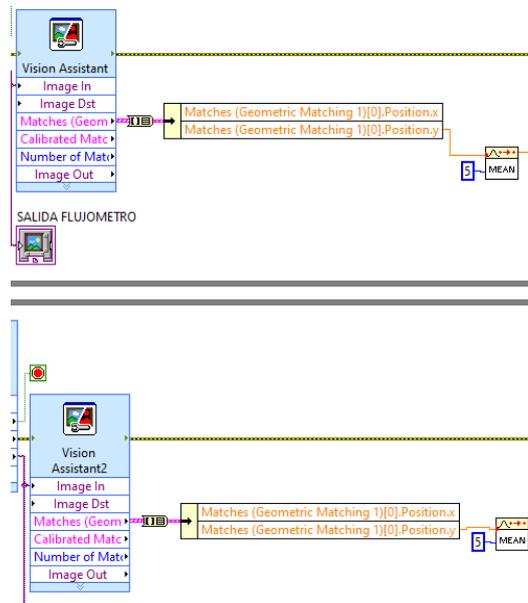
Matriz resultante de localización de posición de base de aguja de manómetro



Los valores obtenidos en x e y son variables, es decir, su valor varía de acuerdo a la posición donde se encuentren cada uno de los patrones de análisis en función a la medición que se efectúa en el proceso continuo, para su análisis en valores es necesario realizar escalamientos matemáticos con el fin de obtener una relación proporcional entre la entrada y la salida de datos en escalas notables de comprensión de acuerdo al dispositivo.

Figura 34

Bloques de descomposición y toma de valores x e y para escalamiento



Se observa que el desplazamiento lineal representativo se realiza en el eje Y, por lo cual se toma este valor como referencia para tablas de escalamiento e interpolación.

Tabla 1

Valores de posición variable de flotador y valor de flujo de salida.

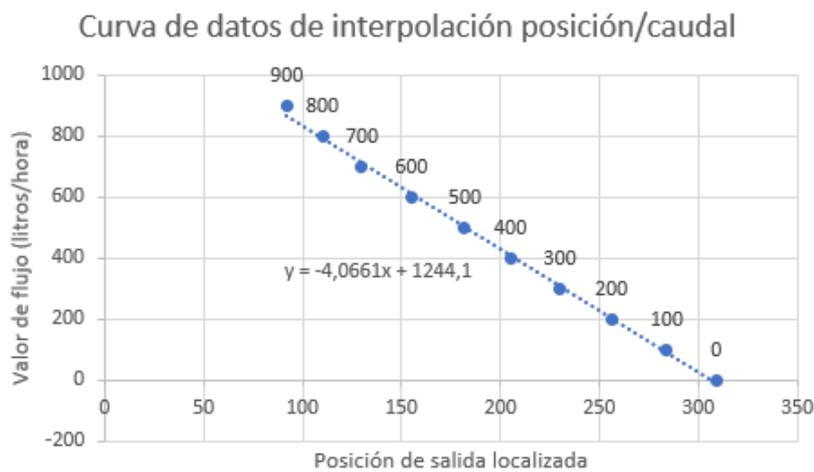
Valor posición (coordenada y)	Valor medición (litros/hora)
309	0
284	100
256	200
230	300
205	400
182	500
155	600

130	700
110	800
92	900
80	1000

El proceso de escalamiento e interpolación finaliza con la gráfica característica de los valores de entrada vs valores de salida y la curva con la ecuación de la recta; de esta forma se obtiene los valores de pendiente y ordenada para el control y muestra del valor final del flujo en el HMI.

Figura 35

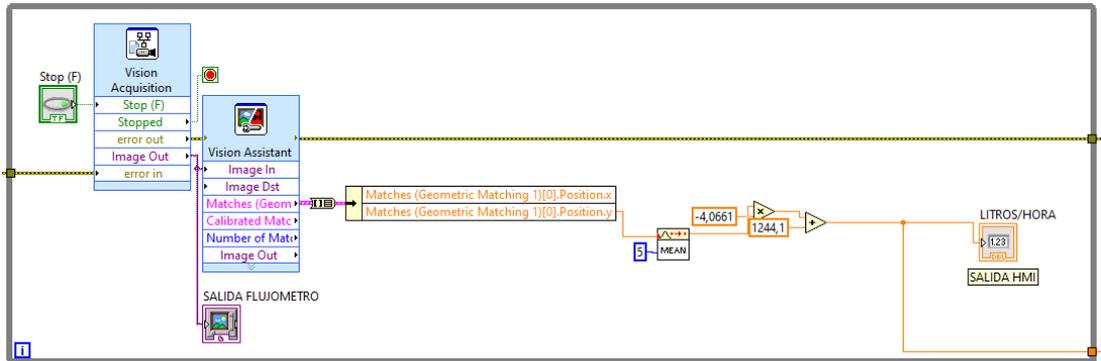
Curva de interpolación y ecuación de la recta característica de flujo



Con los valores de pendiente y ordenada de la ecuación característica, se ingresa esta ecuación a la salida del valor referencias de y. De esta forma se obtiene el valor final a mostrar en el HMI.

Figura 36

Diagrama final de procesamiento y salida de datos de flujómetro



De forma similar, para el caso del manómetro el valor de interés de enfoca en el valor del eje Y como variable principal de desplazamiento.

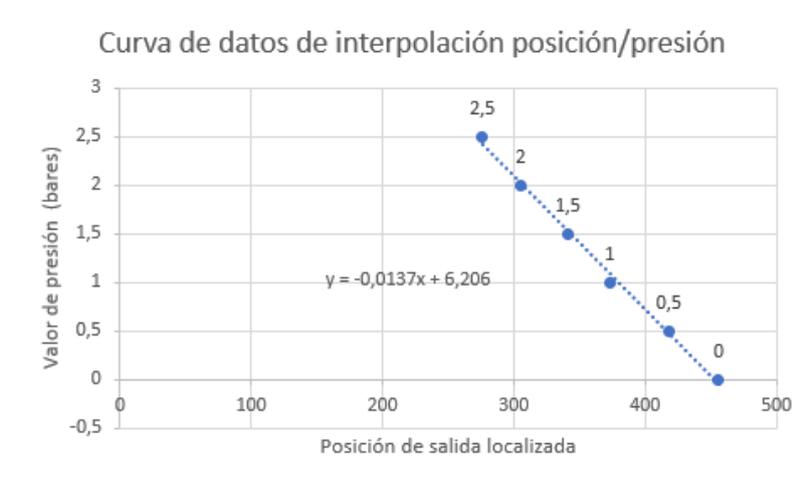
Tabla 2

Valores de posición variable de base de indicador y valor de presión de salida.

Valor posición (coordenada y)	Valor medición (bar)
456	0
418	0,5
373	1
341	1,5
305	2
276	2,5

Figura 37

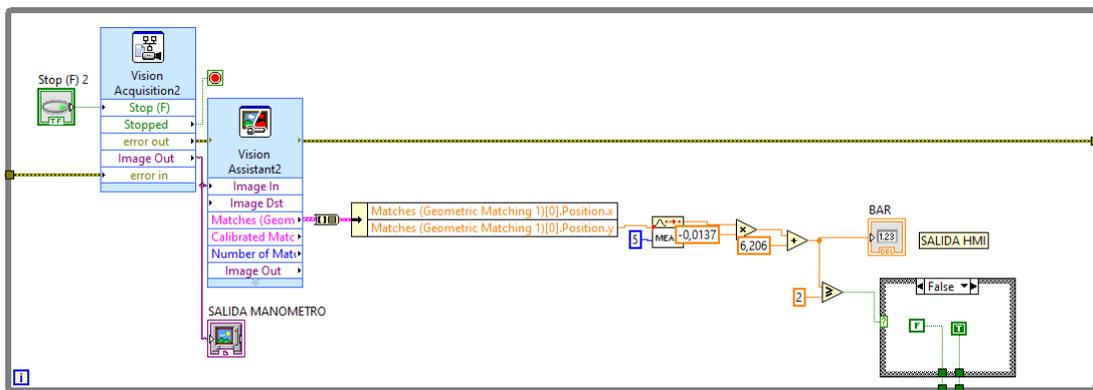
Curva de interpolación y ecuación de la recta característica de flujo



De igual manera, se ingresa los valores de pendiente y ordenada característica de la ecuación de presión en el algoritmo de programación para obtener el valor final de presión.

Figura 38

Diagrama final de procesamiento y salida de datos de manómetro

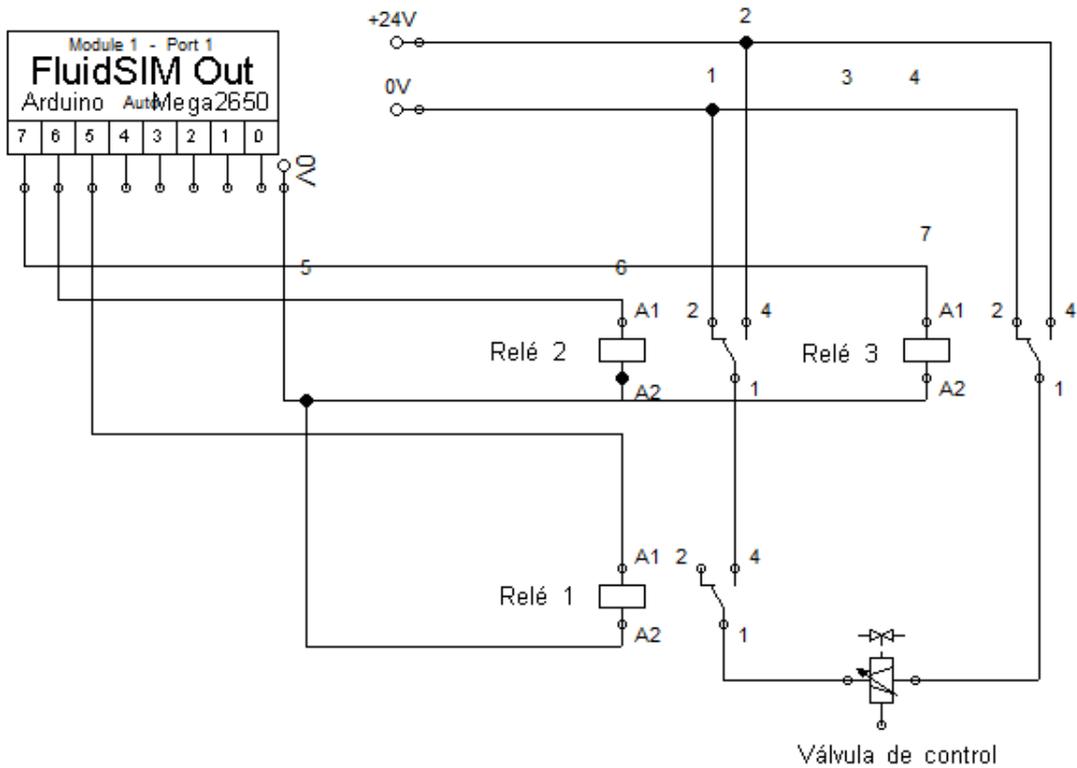


2.2.3.2. Método de posicionamiento de válvula de control

El control de la inyección de fertilizante se realiza mediante una válvula de control tipo mariposa PVC de 40 mm de diámetro de actuador eléctrico, el actuador responde a los pulsos de tensión emitidos por el diagrama de control de la Figura 39

Figura 39

Diagrama de control de válvula de inyección de fertilizante.



El Relé 1 es el preaccionador de mando principal, está encargado de habilitar o deshabilitar el sentido de giro del motor del motor interno de la válvula; de su accionamiento depende el encendido automático/ manual de la válvula o el paro total de la misma. La combinación de los Relé 2 y Relé 3 permiten que el motor de la válvula gire hacia la derecha o izquierda en función de la necesidad de apertura o cierre de la misma según el Set Point o necesidad de operación.

Tabla 3

Lógica de control de cierre y apertura de válvula de control

Relé 1	Relé 2	Relé 3	Sentido	Accion de movimiento
ON	ON	ON	Neutral	Ninguna
ON	ON	OFF	Derecha	Apertura de válvula
ON	OFF	ON	Izquierda	Cierre de válvula
ON	OFF	OFF	Neutral	Ninguna
OFF	ON	ON	Neutral	Ninguna
OFF	ON	OFF	Neutral	Ninguna
OFF	OFF	ON	Neutral	Ninguna
OFF	OFF	OFF	Neutral	Ninguna

Nota. Esta tabla denota todas las combinaciones posibles de selección de operación de relés de para control de marcha y paro de la válvula reguladora de inyección.

Las acciones de control son controladas de forma lógica mediante un Arduino Mega 2560 como interfaz de accionamiento ON/OFF de salidas digitales. La programación lógica se encuentra desarrollada en el algoritmo principal de control de LabVIEW donde según las acciones de control automática o manual envían los pulsos lógicos de encendido o apagado de cada uno de los pines de salida del Arduino según el esquema mencionado en el apartado anterior. El control puede operar en forma automática mediante apertura y cierre automático en función del error entre el Set Point y el Process Value; mientras que de forma manual se emite pulsos directo por medio del HMI para el pertinente cierre o apertura de la válvula según la necesidad del operador.

La comunicación se realiza directamente entre el software LabVIEW y la librería LINX, esta librería proporciona el control de lectura y escritura de las entradas y salidas análogas de cada uno de los pines del Arduino Mega 2560.

Figura 40

Estructura básica de control de una salida digital mediante Arduino y LabVIEW

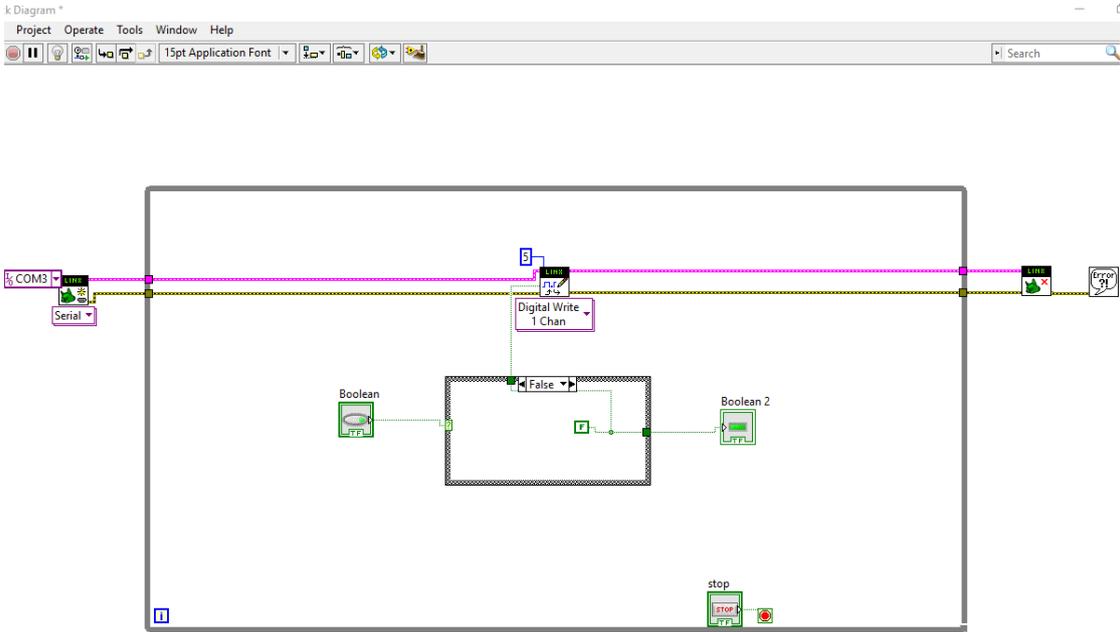
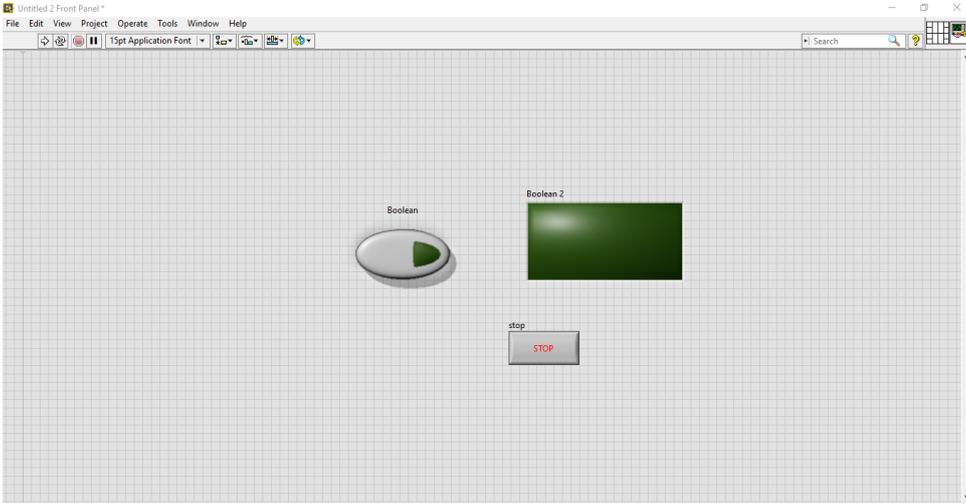


Figura 41

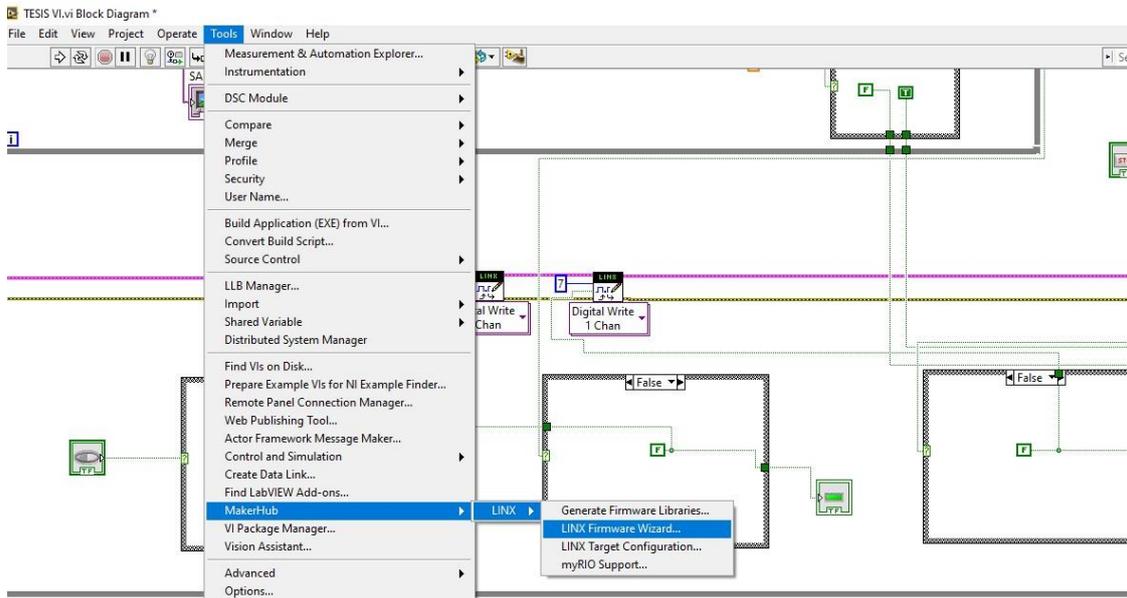
Panel frontal de control de salida digital mediante LINX y Arduino.



El procedimiento de variables de control y programación desde la plataforma LabVIEW es muy sencilla e intuitiva, dentro del VI principal se selecciona **Tools -> MakerHub -> Linx Firmware Wizard**

Figura 44

Acceso a la plataforma de programación LIXN- LabVIEW



Inmediatamente se despliega el asistente de selección de dispositivo de control Arduino, para el presente caso se emplea el Arduino Mega 2560.

Figura 45

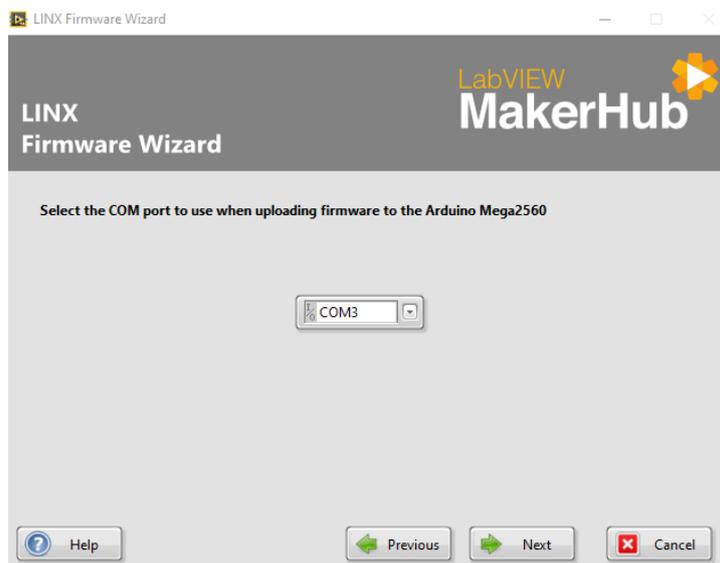
Plataforma de selección Arduino 2560



Es importante la selección del puerto COM serial de en el cual se encuentra conectado la plataforma Arduino para control, para el presente caso se encuentra conectado en el COM 3 del computador. En la lista de selección del asistente aparece los dispositivos conectados mediante puertos USB; en caso de solo existir la plataforma Arduino conectada al ordenador automáticamente reconoce el único puerto COM seleccionado.

Figura 46

Selección de puerto COM de comunicación Arduino/PC



Finalmente, seleccionamos Next a los dos últimos procesos de configuración; estos procesos muestran el tipo de comunicación asociada al proyecto el cual para el presente caso representa una comunicación tipo serial entre la plataforma Arduino y la PC de control.

Figura 47

Selección de comunicación serial Arduino/ PC

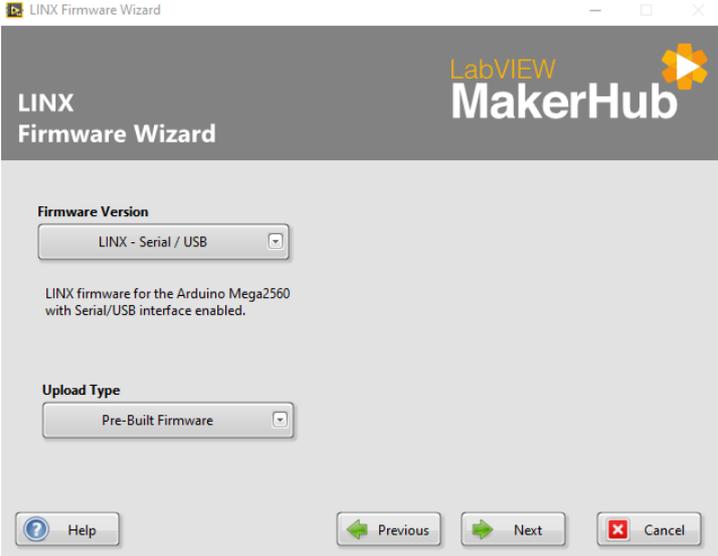


Figura 48

Válvula de control tipo mariposa actuador eléctrico 40 mm 24 VDC DIAMANT PRO



Figura 49

Sistema de impulsión e inyección sin válvula de control



Figura 50

Instalación de válvula de control al sistema de inyección.



Figura 51

Módulos de relés de control de válvula principal de regulación

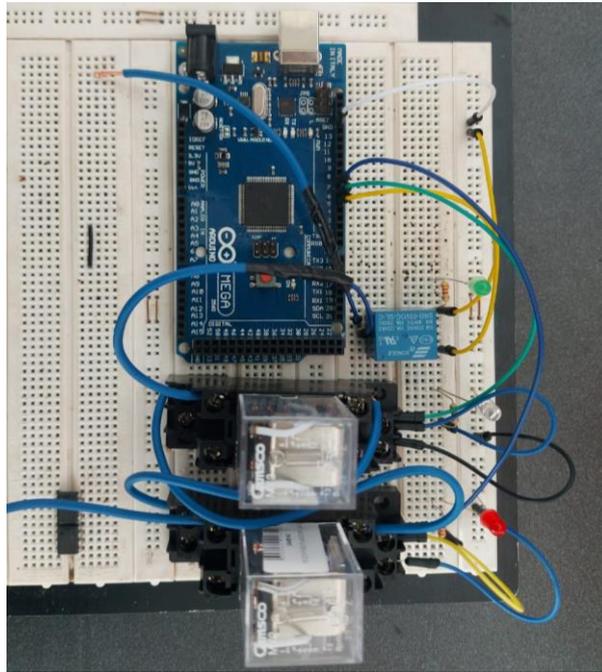


Figura 52

Instalación de cableado en tarjeta de control de válvula de regulación

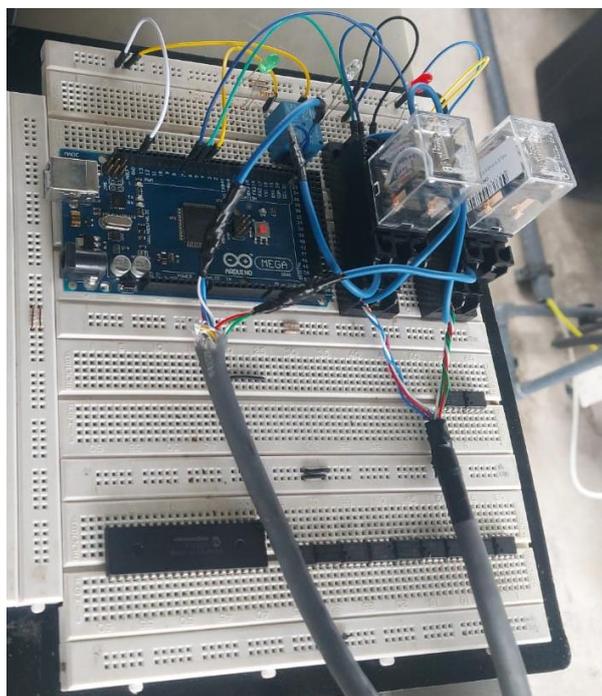
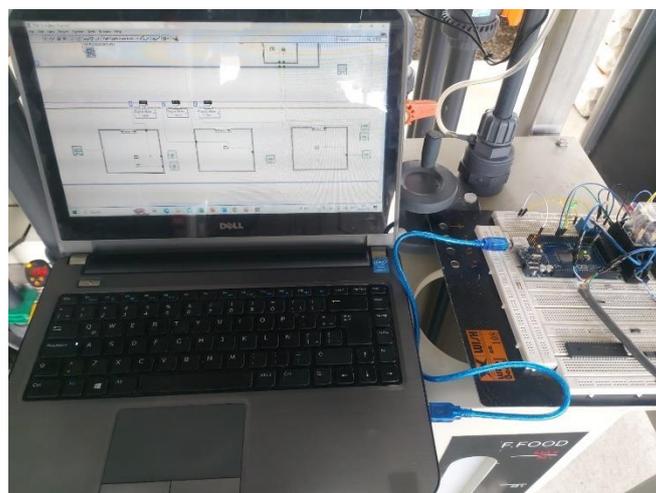


Figura 53

Interfaz de control PC/Arduino/relés de control



2.3. Validación de la propuesta

Tabla 4

Descripción de perfil de validadores

Nombres y Apellidos	Años de experiencia	Titulación Académica	Cargo
Marcel Mauricio Franco Muro	27 años	Ingeniero Agrónomo	Directo de producción Grupo productor florícola TESSA CORP.
Carlos Alberto González Ortega	22 años	Ingeniero Agrícola	Jefe de finca TESSA Roses finca 1
		Ingeniero en	

<p>Cristian Mauricio Ruiz Osorio</p>	<p>5 años</p>	<p>electrónica e instrumentación</p> <p>Magister en electricidad mención en sistemas eléctricos de potencia</p> <p>Magister en sanidad vegetal</p>	<p>Supervisor eléctrico PCA OIL COMPANY</p>
<p>Sangucho Sandoval Abraham David</p>	<p>15 años</p>	<p>Ingeniero en informática y sistemas computacion ales</p> <p>Magister en sistemas de información</p>	<p>Técnico de sistemas computaciones Data.</p>

Tabla 5*Datos del validador Ing. Marcel Franco*

Nombres y Apellidos	Años de experiencia	Titulación Académica	Cargo
Marcel Mauricio Franco Muro	27 años	Ingeniero Agrónomo	Directo de producción Grupo productor florícola TESSA CORP.

Tabla 6*Criterios de valuación*

Criterios	Descripción
Impacto	Representa el alcance que tendrá el modelo de gestión y su representatividad en la generación de valor público.
Aplicabilidad	La capacidad de implementación del modelo considerando que los contenidos de la propuesta sean aplicables
Conceptualización	Los componentes de la propuesta tienen como base conceptos y teorías propias de la gestión por resultados de manera sistémica y articulada.
Actualidad	Los contenidos de la propuesta consideran los procedimientos actuales y los cambios científicos y tecnológicos que se producen en la nueva gestión pública.
Calidad Técnica	Miden los atributos cualitativos del contenido de la propuesta.
Factibilidad	Nivel de utilización del modelo propuesto por parte de la Entidad.
Pertinencia	Los contenidos de la propuesta son conducentes, concernientes y convenientes para solucionar el problema planteado.

Escala de evaluación. Elaborada por: Ing. Wilmer Fabian Albarracín Guarochico MBA

Tabla 7

Evaluación efectuada por el Ing. Marcel Franco

CRITERIOS	EVALUACION SEGUN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En Total Desacuerdo	En Desacuerdo	Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo	De Acuerdo	Totalmente Acuerdo
Impacto				X	
Aplicabilidad					X
Conceptualización					X
Actualidad					X
Calidad Técnica					X
Factibilidad				X	
Pertinencia					X

Tabla 8

Datos del validador Ing. Carlos González

Nombres y Apellidos	Años de experiencia	Titulación Académica	Cargo
Carlos Alberto González Ortega	22 años	Ingeniero Agrícola	Jefe de finca TESSA Roses finca 1

Tabla 9*Criterios de valuación*

Criterios	Descripción
Impacto	Representa el alcance que tendrá el modelo de gestión y su representatividad en la generación de valor público.
Aplicabilidad	La capacidad de implementación del modelo considerando que los contenidos de la propuesta sean aplicables
Conceptualización	Los componentes de la propuesta tienen como base conceptos y teorías propias de la gestión por resultados de manera sistémica y articulada.
Actualidad	Los contenidos de la propuesta consideran los procedimientos actuales y los cambios científicos y tecnológicos que se producen en la nueva gestión pública.
Calidad Técnica	Miden los atributos cualitativos del contenido de la propuesta.
Factibilidad	Nivel de utilización del modelo propuesto por parte de la Entidad.
Pertinencia	Los contenidos de la propuesta son conducentes, concernientes y convenientes para solucionar el problema planteado.

*Escala de evaluación. Elaborada por: Ing. Wilmer Fabian Albarracín Guarochico MBA***Tabla 10***Evaluación efectuada por el Ing. Carlos Alberto González Ortega*

CRITERIOS	EVALUACION SEGUN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En Total Desacuerdo	En Desacuerdo	Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo	De Acuerdo	Totalmente Acuerdo
Impacto					X
Aplicabilidad					X
Conceptualización				X	
Actualidad				X	

Calidad Técnica					X
Factibilidad					X
Pertinencia					X

Tabla 11

Datos del validador Ing. Cristian Ruiz

Nombres y Apellidos	Años de experiencia	Titulación Académica	Cargo
Cristian Mauricio Ruiz Osorio	5 años	Ingeniero en electrónica e instrumentación Magister en electricidad mención en sistemas eléctricos de potencia Magister en sanidad vegetal	Supervisor eléctrico PCA OIL COMPANY

Tabla 12

Criterios de valuación

Criterios	Descripción
Impacto	Representa el alcance que tendrá el modelo de gestión y su representatividad en la generación de valor público.
Aplicabilidad	La capacidad de implementación del modelo considerando que los contenidos de la propuesta sean aplicables

Conceptualización	Los componentes de la propuesta tienen como base conceptos y teorías propias de la gestión por resultados de manera sistémica y articulada.
Actualidad	Los contenidos de la propuesta consideran los procedimientos actuales y los cambios científicos y tecnológicos que se producen en la nueva gestión pública.
Calidad Técnica	Miden los atributos cualitativos del contenido de la propuesta.
Factibilidad	Nivel de utilización del modelo propuesto por parte de la Entidad.
Pertinencia	Los contenidos de la propuesta son conducentes, concernientes y convenientes para solucionar el problema planteado.

Escala de evaluación. Elaborada por: Ing. Wilmer Fabian Albarracín Guarochico MBA

Tabla 13

Evaluación efectuada por el Ing. Cristian Mauricio Ruiz Osorio

CRITERIOS	EVALUACION SEGUN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En Total Desacuerdo	En Desacuerdo	Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo	De Acuerdo	Totalmente Acuerdo
Impacto				X	
Aplicabilidad				X	
Conceptualización					X
Actualidad					X
Calidad Técnica					X
Factibilidad				X	
Pertinencia					X

Tabla 14*Datos del validador Ing. Abraham Sangucho*

Nombres y Apellidos	Años de experiencia	Titulación Académica	Cargo
Abraham David Sangucho Sandoval	15 años	Ingeniero en informática y sistemas computacionales Magister en sistemas de información	Técnico de sistemas computacionales Data,

Tabla 15*Criterios de valuación*

Criterios	Descripción
Impacto	Representa el alcance que tendrá el modelo de gestión y su representatividad en la generación de valor público.
Aplicabilidad	La capacidad de implementación del modelo considerando que los contenidos de la propuesta sean aplicables
Conceptualización	Los componentes de la propuesta tienen como base conceptos y teorías propias de la gestión por resultados de manera sistémica y articulada.
Actualidad	Los contenidos de la propuesta consideran los procedimientos actuales y los cambios científicos y tecnológicos que se producen en la nueva gestión pública.
Calidad Técnica	Miden los atributos cualitativos del contenido de la propuesta.
Factibilidad	Nivel de utilización del modelo propuesto por parte de la Entidad.
Pertinencia	Los contenidos de la propuesta son conducentes, concernientes y convenientes para solucionar el problema planteado.

Escala de evaluación. Elaborada por: Ing. Wilmer Fabian Albarracín Guarochico MBA

Tabla 16

Evaluación efectuada por el Ing. Abraham David Sangucho Sandoval

CRITERIOS	EVALUACION SEGUN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En Total Desacuerdo	En Desacuerdo	Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo	De Acuerdo	Totalmente Acuerdo
Impacto					X
Aplicabilidad					X
Conceptualización				X	
Actualidad					X
Calidad Técnica				X	
Factibilidad					X
Pertinencia					X

2.4. Matriz de articulación de la propuesta

Tabla 17

Matriz de articulación

Ejes o partes principales del proyecto		Breve descripción de los resultados de cada parte	Sustento teórico que se aplicó en la construcción del proyecto	Metodologías, herramientas técnicas y tecnológicas que se emplearon
1	Definición: de los elementos electrónicos, dispositivos de medición, de comunicaciones, variables de entrada a monitorear, variables de salida a controlar, etc.	1.1. Tablas comparativas de elementos 1.2. Tablas de escalamientos 1.3. Tablas de error porcentual de medición. 1.4. Operación Interfaz Humano Máquina	Inteligencia Artificial Comunicación serial Visión por Computador Inteligencia Artificial Procesamiento digital de señales.	Herramientas de procesamiento digital de señales, visión artificial y comunicación serial para transmisión y procesamiento de datos
2	Diseño: de circuitos electrónicos de control, algoritmos de procesamiento y control, programación gráfica, cálculos de estado de error simulaciones, etc.	2.1. Tarjeta electrónica basada en microcontrolador 2.2. Circuito electrónico de control 2.3. Sistema de adquisición imagen 2.4. Aplicación en LabVIEW	Programación de microcontroladores orientado al control digital por interface. Aplicaciones de diseño de software de procesamiento de imagen y visión artificial. LabVIEW, Matlab, Open CV, Python.	LabVIEW como lenguaje de programación de alto nivel con librerías de Visión Artificial, PDS, IA y LINX como complemento de transición de datos serial
3	Implementación: cableado, sistemas electromecánicos, de control, de comunicaciones, programación, estructuras físicas, políticas de seguridad informáticas, actuadores de control, etc.	3.2. Cámaras de adquisición de imagen 3.3. Aplicaciones de programación gráfica. 3.4 Control de electroválvula. 3.5. Instalaciones eléctricas de control, Hidráulica y comunicación	Cableado de alimentación y control Instalaciones eléctricas industriales Sistemas de comunicaciones serial Desarrollo de sistemas de adquisición de datos por imagen Protocolos de comunicación	Sistema de cámaras HD de alta definición para toma de datos, válvula de control con motorreductor para control de posición exacto y algoritmos con manejo de datos en tiempo real.

2.5. Análisis de resultados. Presentación y discusión.

De acuerdo al procedimiento establecido y expuesto en capítulos anteriores, se obtiene diferentes imágenes que representan la respuesta obtenida; se procede a realizar diferentes evaluaciones al algoritmo y la planta mediante simulación de procesos y variables en diferentes estados con la finalidad de recopilar la mayor evidencia que ratifican la veracidad del trabajo realizado.

Figura 54

Vista frontal sistema de regulación control y adquisición de datos.



Figura 55

Vista lateral sistema de regulación control y adquisición de datos.



Figura 56

Vista panorámica sistema de regulación control y adquisición de datos.

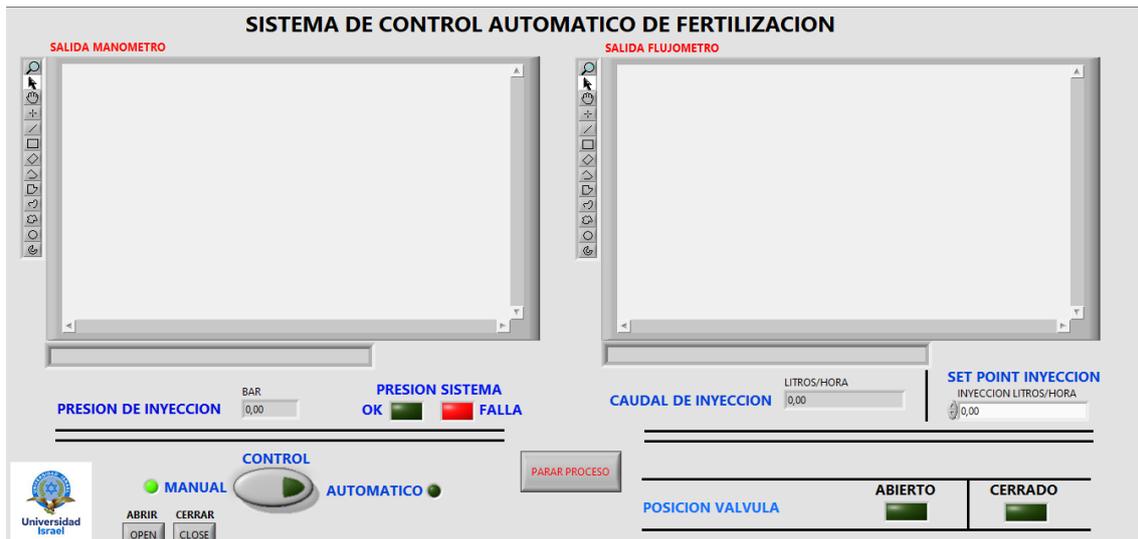


2.4.1. HMI Principal

Como todo proceso Industrial de control, el proyecto cuenta con un HMI en el cual, de forma intuitiva, cuenta con la información clara y necesaria para obtener la información necesaria de la forma y método del control del proceso.

Figura 57

Panel HMI de monitoreo y control del proceso



En la parte superior del HMI se observa el proceso de visualización y procesamiento de imágenes por medio del algoritmo de visión artificial en tiempo real, bajo cada uno de los indicadores gráficos existe el valor de la medida obtenida por el algoritmo de visión artificial. Respecto al control de flujo, el HMI cuenta con el **Set Point Inyección** el cual permite setear los litros/hora deseados de inyección para que el algoritmo automático de control de la válvula procesa al cierre o apertura según la necesidad y lógica de programación establecida.

Para el manómetro, el sistema cuenta con dos luces piloto, la luz verde indica que el proceso se encuentra presurizado a más de 2 bares. Esta presión es la mínima requerida para el accionamiento del venturi y generación de succión desde el tanque de fertilización principal, caso que no exista esta presión mínima la luz roja de falla de presión se acciona para dar a conocer al operador la falla en el sistema. Respecto al control, el modo de operación automática permite que al algoritmo de control opere en función al Set Point actual y el Process Value con la apertura o cierre de la válvula.

La operación manual permite que el operador realice el cierre o apertura de la válvula de control mediante dos botones con acción de abrir o cerrar según la necesidad requerida. Finalmente, el HMI cuenta con dos indicadores tipo LED que permiten conocer el estado de cierre o apertura en el cual se encuentra la válvula de control principal.

Figura 58

Operación HMI



2.4.2. Flujiómetro

Las mediciones obtenidas por el flujiómetro son satisfactorias, existe un rango y error mínimo tolerable entre la medida real expuesta en la escala original y la medida tomada de forma digital por la cámara y el algoritmo de visión artificial.

Figura 59

Medición del flujiómetro a 250 litros/hora



Figura 60

Medición del flujiómetro a 400 litros/hora



Figura 61

Medición del flujómetro a 500 litros/hora



Figura 62

Medición del flujómetro a 750 litros/hora



Figura 63

Medición del flujómetro a 1000 litros/hora



Tabla 18

Error porcentual entre valor medido flujómetro y valor obtenido por visión artificial

VALOR FLUJOMETRO	VALOR VISION ARTIFICIAL	%ERROR
250	250,55	0,2
400	402	0,5
500	503,28	0,7
750	753,78	0,5
1000	1004,56	0,5

2.4.3. Manómetro

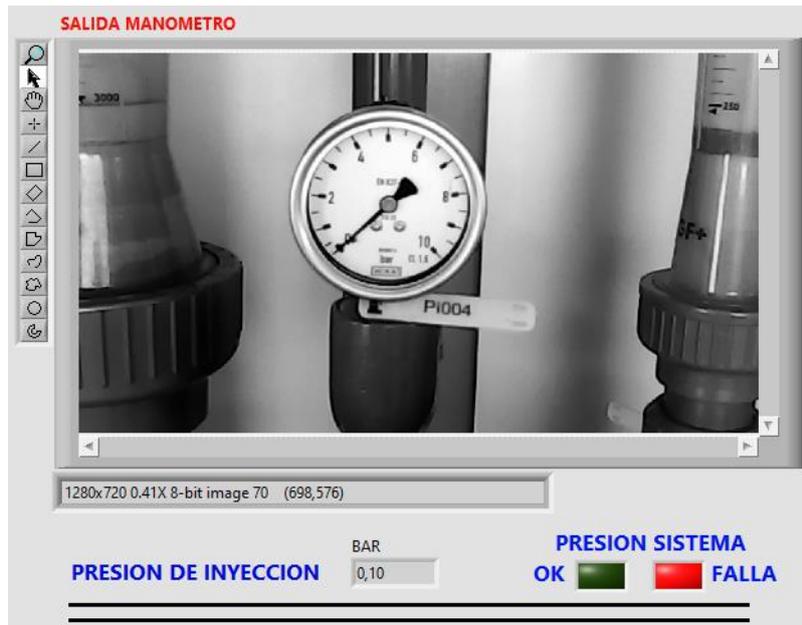
Figura 64

Detección de valor de presión estable en el sistema de inyección



Figura 65

Detección de valor de presión baja y falla en el sistema de inyección



2.4.4. Operación de control manual y relés de operación

Figura 66

Prueba manual de apertura de válvula de control



Figura 67

Accionamiento Relé 1 y Relé 2 para apertura manual de válvula de control

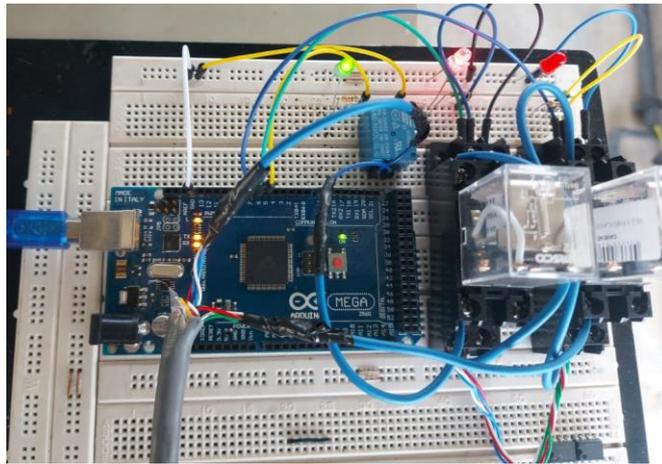


Figura 68

Prueba manual de cierre de válvula de control



Figura 69

Accionamiento Relé 1 y Relé 3 para cierre manual de válvula de control

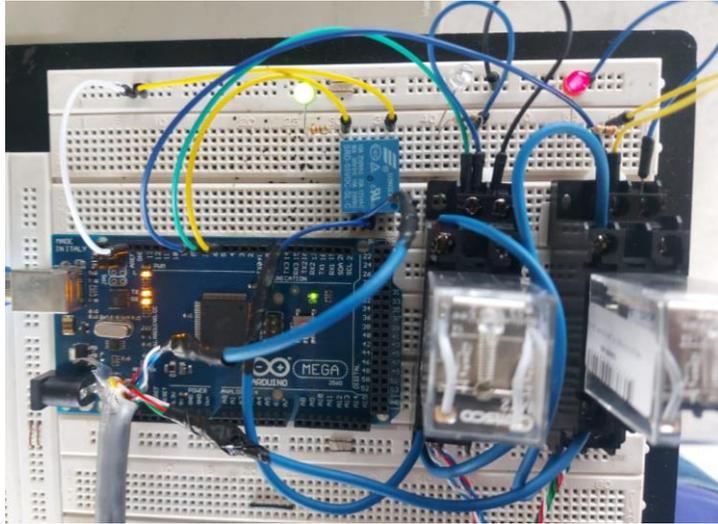


Figura 70

Válvula de control a 0 litros/hora de inyección.



Figura 71

Válvula de control a 1000 litros/hora de inyección



Figura 72

Válvula de control a 700 litros/hora de inyección



2.4.5. Pruebas de control automático

Figura 73

Cerrado automático a 0 litros/hora desde rango alto



Figura 74

Cierre completo de válvula de control a 0 litros/hora



Figura 75

Apertura a Set Point de 450 litros/hora



Figura 76

Estabilización a 450 litros/hora.



Figura 77

Apertura a Set Point de 650 litros/ hora

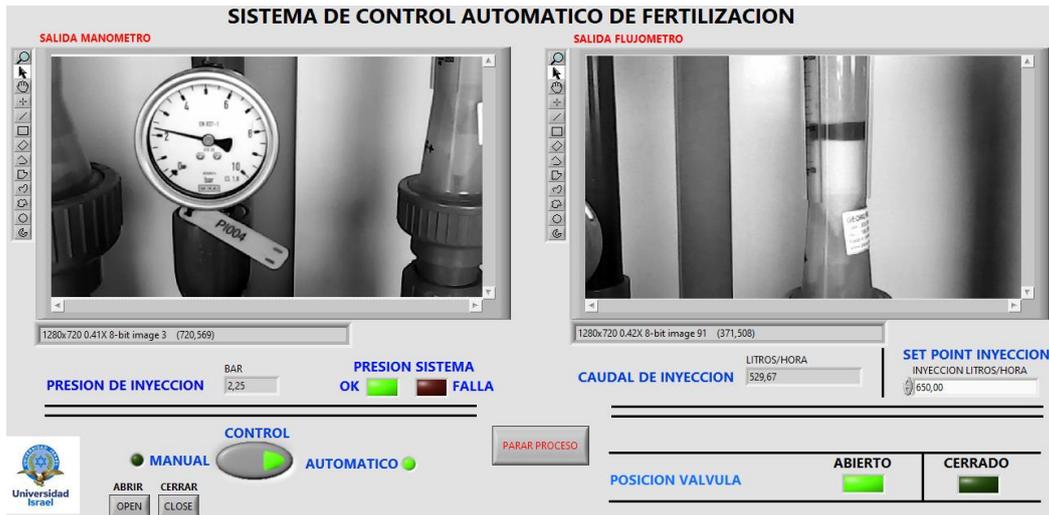


Figura 78

Estabilización a 650 litros/hora



Figura 79

Estabilización a 900 litros/hora



Figura 80

Estabilización a 1000 litros/ hora.



Como se observa en cada una de las gráficas expuestas, los métodos de visión artificial cumplen con la medición de cada uno de los parámetros esenciales de procesamiento digital de imágenes para la obtención de los valores característicos de la medición de cada uno de los dispositivos sujetos a análisis. Cada uno de los algoritmos de control, visión artificial, sistemas de control y HMI cumplen con las exigencias y modelo de demanda necesarias para realizar el control automático de inyección de fertilización automática.

Los resultados obtenidos en las pruebas son satisfactorios y demuestran la versatilidad de la visión artificial como un método de obtención de datos de forma digital orientado al control automático de variables; en este caso, la inyección de fertilización toma un nuevo horizonte respecto a la automatización y regulación de su inyección para percibir sistemas automatizados de gran impacto tecnológico dentro de las zonas de producción agrícola del Ecuador. Los trabajos futuros se orientan a una red de cámaras para captar múltiples variables dentro de procesos de fertilización a gran escala.

LabVIEW ofrece la creación de software altamente integrables y compatibles con sistemas operativos de ordenadores con sistemas operativos tradicionales, esto genera un nuevo avance en el tratamiento de datos y proyectos futuros con accesos y controles de forma remota a la plataforma por medio de internet, sistemas de adquisición y tratamientos por medio de internet (Big Data).

CONCLUSIONES

- 1 Un sistema de dosificación de fertilizante debe poseer una presión constante suministrada por un equipo de bombeo o sistema hidráulico gravitatorio, la presión debe ser constante y continua poder accionar el venturi por medio de una velocidad de traslado alta y provocar succión del tanque principal de fertilización, la succión continua elimina la cavitación y turbulencia dentro del flujómetro para obtener una medición de caudal de inyección constante en el tiempo de acuerdo a la necesidad requerida.
- 2 La calidad de la adquisición de imágenes por medio de las cámaras es un factor determinante para el análisis de datos y reconocimiento de patrones, mientras mayor resolución posea el equipo de captura de imágenes continuas mayor detalle se obtendrá en los cuadros de imágenes para el reconocimiento y análisis minucioso de cada uno de los aspectos y características que conforman el patrón de análisis.
- 3 El método y algoritmo más adecuado para la obtención de valores de medida de forma digital es por medio de reconocimiento de patrones geométricos, cada uno de los

dispositivos de medida posee un identificador y parte móvil que permite conocer el valor de forma variable en el transcurso del tiempo; el procesamiento de imágenes debe estar orientado al objeto móvil de medida; generalmente el patrón de monitoreo en dispositivos de medición posee dimensiones definidas sin escala variante lo que permite tener una buena monitorización y localización del objeto de análisis.

- 4 La pesa del flujómetro y la aguja del manómetro se encuentran definidos en forma y el color no representa influencia sobre el resultado final, es necesario realizar procesos de conversión a múltiples sistemas de escalas de grises como el HSV; esto permite obtener mejores resultados en el rastreo de dispositivos con un mínimo tiempo computacional y procesamiento de datos debido a una menor escala en la matriz de colores que conforman la imagen.
- 5 La válvula de control para el control de flujo de inyección en un sistema de fertilización debe poseer sistema de control de giro por medio de piñones motorreductores, de esta forma se puede tener un sentido de giro controlado de alta precisión. Además, este tipo de sistemas permite que no se genere cavitaciones o remordimientos del actuador de cierre y apertura interno debido al choque de presión por el efecto de succión generado por el Venturi.
- 6 El sistema cuenta con una Interfaz Humano Máquina con información intuitiva y verás capaz de interactuar con el operario y cada uno de los procesos del sistema en tiempo real; el HMI también muestra el proceso de adquisición de señales mediante la cámara y la medición de los dispositivos de forma visual y la medición digital.
- 7 La veracidad de los algoritmos de visión artificial y procesamiento de imágenes está denotada mediante la obtención de un margen de error mínimo menor al 1% entre el valor de medida tomado por el instrumento de forma física y la medida obtenida por medio del algoritmo de visión artificial.
- 8 Las pruebas de funcionamiento efectuadas a cada una de las partes que conforman el sistema en su operación manual y automática muestran el cumplimiento y autenticidad de cada uno de los datos obtenidos de forma teórica y práctica. Se cumple cada uno de

los objetivos expuestos en el presente proyecto de forma clara y concisa con la correcta operación y regulación de niveles de inyección de fertilizante con la válvula de control y la obtención digital de medidas mediante los algoritmos implementados.

RECOMENDACIONES

- 1 Es necesario revisar todos los aspectos y técnicas que conforman el procesamiento de imagen mediante formas de binarización y transformación a escalada de grises; hay que emplear un correcto criterio de selección de las múltiples opciones existentes para que el error de medida tienda a cero.
- 2 LabVIEW cuenta con licencia temporal de 6 meses a 1 año para estudiantes en desarrollo de Ingeniería, esta licencia puede ser extendida si el estudiante realiza varios aportes en NI fórums; este es un sistema de dudas y preguntas sobre el desarrollo de algoritmos por la comunidad a nivel mundial que utiliza LabVIEW como software de desarrollo, de esta forma se puede obtener licencias de uso de software y paquetes por periodos extensos de forma legal.
- 3 Evitar el uso de extensiones USB y dispositivos HUB´s USB para aumentar el número de periféricos disponibles; el uso de estos equipos produce atenuaciones de señales y perdida de conexión de los dispositivos COM empleados para las cámaras y dispositivos de control de datos de flujo por medio de puertos seriales.
- 4 Emplear una cámara por cada uno de los dispositivos a tomarse las mediciones y realizar el procesamiento de imágenes, si bien el rango de cobertura de una cámara puede abarcar dos o más dispositivos; al momento de realizar el procesamiento de imágenes en paralelo procederá a tiempo demasiado altos además de perder la cobertura total del procedo por no poseer sistema backup.
- 5 Realizar el HMI de una forma clara e intuitiva la cual permita obtener la información necesaria al usuario para el control del proceso sin generar confusiones o exceso de gráficas para el usuario u operador final.
- 6 Para la programación con LabVIEW es necesario obtener una versión superior a 2013,

de esta forma se tendrá compatibilidad con todas las versiones de sistemas operativos de PC. Además, debe tener todos los toolkits de procesamiento de imágenes, así como los sistemas VISA de comunicación por protocolos.

- 7 Para realizar el escalamiento de las variables es necesario realizar la obtención del mayor número de datos, de esta forma la interpolación y ecuación característica de la curva será mucho más exacta para obtener el valor deseado

BIBLIOGRAFIA

- Aquilera Moreno, D., Cáceres Moreno, O., Martínez Gila, D. M., Gamez García, J., & Gomez Ortega, J. (2015). Olive batches automatic classification in mill reception using computer vision. *IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques (IST)*, 1-6.
- Area Tecnología. (2020). *AREATECNOLOGIA*. Obtenido de Manómetro: <https://www.areatecnologia.com/herramientas/manometro.html>
- Asha, K. R., Tasleem, P. S., Ravi Kumar, A. V., Swamy, S. M., & Rekha, K. R. (2017). Real Time Speed Control of a DC Motor by Temperature Variation Using LabVIEW and Arduino. *International Conference on Recent Advances in Electronics and Communication Technology (ICRAECT)*, 72-75.
- Baiza Lovato, C. P. (2020). *SISTEMA DE DETECCIÓN Y ALERTA DEL ESTADO DE SOMNOLENCIA DE CONDUCTORES MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL*. Quito: Univeridad Israel 2020.
- Brock, W., Wisniewski, R., & Wolinski, T. (1991). Fiber-optic strain gauge manometer up to 100 MPa. *Conference Record. IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, 414-417.
- Chaisricharoen, R., Temdee, P., Kamyod, C., Wicha, S., Thiriet, J.-M., & Yahoui, H. (2022). Preparation of an Excellence Center in Industry 4.0 based on Computer Engineering Paradigm. *14th International Conference on Software, Knowledge, Information Management and Applications (SKIMA)*, 266-269.
- Chang, O., Pruna, E., Pilatasig, M., Escobar, I., & Mena, L. (2015). Calibration of residential water meters by using computer vision. *CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies*, 351-356.
- Changotasig Yáñez, J. F. (2023). *PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES MEDIANTE INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA DETECCIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO EN QUITO*. Quito: Universidad Israel 2023.
- Cheng, H., Ma, L., Lin, Z., & Jiewei, M. (2022). Application of Artificial Intelligence Vision Technology in Chinese Fencing Teaching. *2nd International Conference on Information Technology and Contemporary Sports (TCS)*, 43-47.
- Constante, P., Gordon, A., Chang, O., Pruna, E., Acuña, F., & Escobar, I. (2016). Artificial Vision Techniques to Optimize Strawberry's Industrial Classification. *IEEE Latin America Transactions*, 2576-2581.
- Distrón, E. (2023). *Distrón Rotámetros*. Obtenido de <https://distrón.es/rotametro/>
- Ganadería, M. d. (<https://www.agricultura.gob.ec/agro-ecuadoriano-ha-crecido-en-los-ultimos-cuatro-anos/> de 2023). *Agro ecuatoriano ha crecido en los últimos cuatro años*. Obtenido de Gobierno del Ecuador.
- Kabatuan, M. J., Dadios, E. P., Raouf, N., & Oikonomou, A. (2012). Computer vision-based breast self-examination stroke position and palpation pressure level classification using artificial neural networks and wavelet transforms. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 6259-6262.

- Khera, N., & Jain, S. (2014). Development of LabVIEW based electrical parameter monitoring system for single phase supply. *Communication, Control and Intelligent Systems (CCIS)*, 482-485.
- Li, X., & Shi, Y. (2018). Computer Vision Imaging Based on Artificial Intelligence. *International Conference on Virtual Reality and Intelligent Systems (ICVRIS)*, 22-25.
- Liana, Y., Qian, Z., Du, B., Ye, J., Nakamura, K., Wang, S., . . . Tanaka, T. (2011). Design and Evaluation of Electronic-Microsaccade with Balanced Stimulation for Artificial Vision System. *IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS)*, 1-4.
- Sarbu, G. C. (2016). Modern water flowmeters: Oscillating flowmeters. *International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE)*, 587-591.
- Serrano Fuentes, M., & Lizardo Zelaya, N. A. (2020). Coffee Fruit Recognition Using Artificial Vision and neural NETWORKS. *5th International Conference on Control and Robotics Engineering (ICCRE)*, 224-228.
- Van Eenwyk, J., Agah, A., & Cibis, G. (2008). Automated human vision assessment using computer vision and artificial intelligence. *IEEE International Conference on System of Systems Engineering*, 1-6.
- Vilcherrez, J. (2020). *VVA Industrial*. Obtenido de Rotámetro medidor de flujo de área variable: <https://flujometros-caudalímetros.com/rotámetro/>
- Yaogan, L., Zhengyang, Q., Bang, D., Jinming, Y., Kohei, N., Shengwei, W., . . . Tetsu, T. (2021). Design and Evaluation of Electronic-Microsaccade with Balanced Stimulation for Artificial Vision System. *IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS)*.
- Yu, Z., & Jing, Z. (2011). Design of the miniature internal electronic pressure gauge. *International Conference on Mechatronic Science, Electric Engineering and Computer (MEC)*, 1399-1402.
- Zhang, C., & Zheng, Y. (2012). New Flow Equation for Rotameter. *Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference*, 1-4.
- Zhang, Q., Zhang, Q., Huiwen, X., Wenyi, T., Wang, J., & Haifei, C. (2020). Voice-controlled Tea Pouring Robot Based on Machine Vision and Artificial Potential Field Method. *Chinese Automation Congress (CAC)*, 5003-5008.
- Zu, J., Wang, H., Song, S., Zhang, W., & Sheng, X. (1994). Electronic manometer under the oil well. *Conference Proceedings. 10th Anniversary. IMTC/94. Advanced Technologies in I & M. 1994 IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (Cat. No.94CH3424-9)*.

ANEXOS

Anexo 1. Firmas de validación



Yo, **Marcel Mauricio Franco Muro**, con C.I 0702617523, en mi calidad de validador de la propuesta del proyecto titulado: **CONTROL Y MONITOREO DE INYECCIÓN DE FERTILIZANTES EN EQUIPOS DE DOSIFICACIÓN PARA CULTIVOS MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL**

Elaborado por el Ing. **Miguel Dario Escudero Vásconez**, con C.I 0503356453, estudiante de la Maestría en Electrónica y Automatización de la Universidad Tecnológica Israel (UISRAEL), como parte de los requisitos para obtener el Título de Magister, me permito declarar haber revisado el proyecto y realizado la evaluación de criterios.

Quito D.M., 31 de agosto de 2023



Marcel Mauricio Franco Muro

0702617523

Registro SENESCYT: 1011-02-124588



Yo, **Carlos Alberto González Ortega**, con C.I 1103215685, en mi calidad de validador de la propuesta del proyecto titulado: **CONTROL Y MONITOREO DE INYECCIÓN DE FERTILIZANTES EN EQUIPOS DE DOSIFICACIÓN PARA CULTIVOS MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL**

Elaborado por el Ing. **Miguel Darío Escudero Vásconez**, con C.I 0503356453, estudiante de la Maestría en Electrónica y Automatización de la Universidad Tecnológica Israel (UISRAEL), como parte de los requisitos para obtener el Título de Magister, me permito declarar haber revisado el proyecto y realizado la evaluación de criterios.

Quito D.M., 31 de agosto de 2023

Carlos Alberto González Ortega
1103215685

Registro SENESCYT: 1008-02-150344



Yo, **Abrahan David Sangucho Sandoval**, con C.I **0503129801**, en mi calidad de validador de la propuesta del proyecto titulado: **CONTROL Y MONITOREO DE INYECCIÓN DE FERTILIZANTES EN EQUIPOS DE DOSIFICACIÓN PARA CULTIVOS MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL**

Elaborado por el Ing. **Miguel Dario Escudero Vásconez**, con C.I **0503356453**, estudiante de la Maestría en Electrónica y Automatización de la Universidad Tecnológica Israel (UISRAEL), como parte de los requisitos para obtener el Título de Magister, me permito declarar haber revisado el proyecto y realizado la evaluación de criterios.

Quito D.M., 31 de agosto de 2023

ABRAHAN
DAVID
SANGUCH
O
SANDOVAL

Firma digitalizada
ABRAHAN DAVID
SANGUCHO SANDOVAL
C.I. 0503129801
SANGUCHO SANDOVAL, ABDC
INGENIERO EN
SISTEMAS DE
INFORMACIÓN
Molina, Dey. 41 años 08 meses
08 días
Firma: 2023.08.31 12:00:00

Abrahan David Sangucho Sandoval

0503129801

Registro SENESCYT: **1020-12-1138931**
1020-2020-2224372



Yo, **Cristian Mauricio Ruiz Osorio**, con C.I 0503802167, en mi calidad de validador de la propuesta del proyecto titulado: **CONTROL Y MONITOREO DE INYECCIÓN DE FERTILIZANTES EN EQUIPOS DE DOSIFICACIÓN PARA CULTIVOS MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL**

Elaborado por el Ing. **Miguel Dario Escudero Vásconez**, con C.I 0503356453, estudiante de la Maestría en Electrónica y Automatización de la Universidad Tecnológica Israel (UISRAEL), como parte de los requisitos para obtener el Título de Magister, me permito declarar haber revisado el proyecto y realizado la evaluación de criterios.

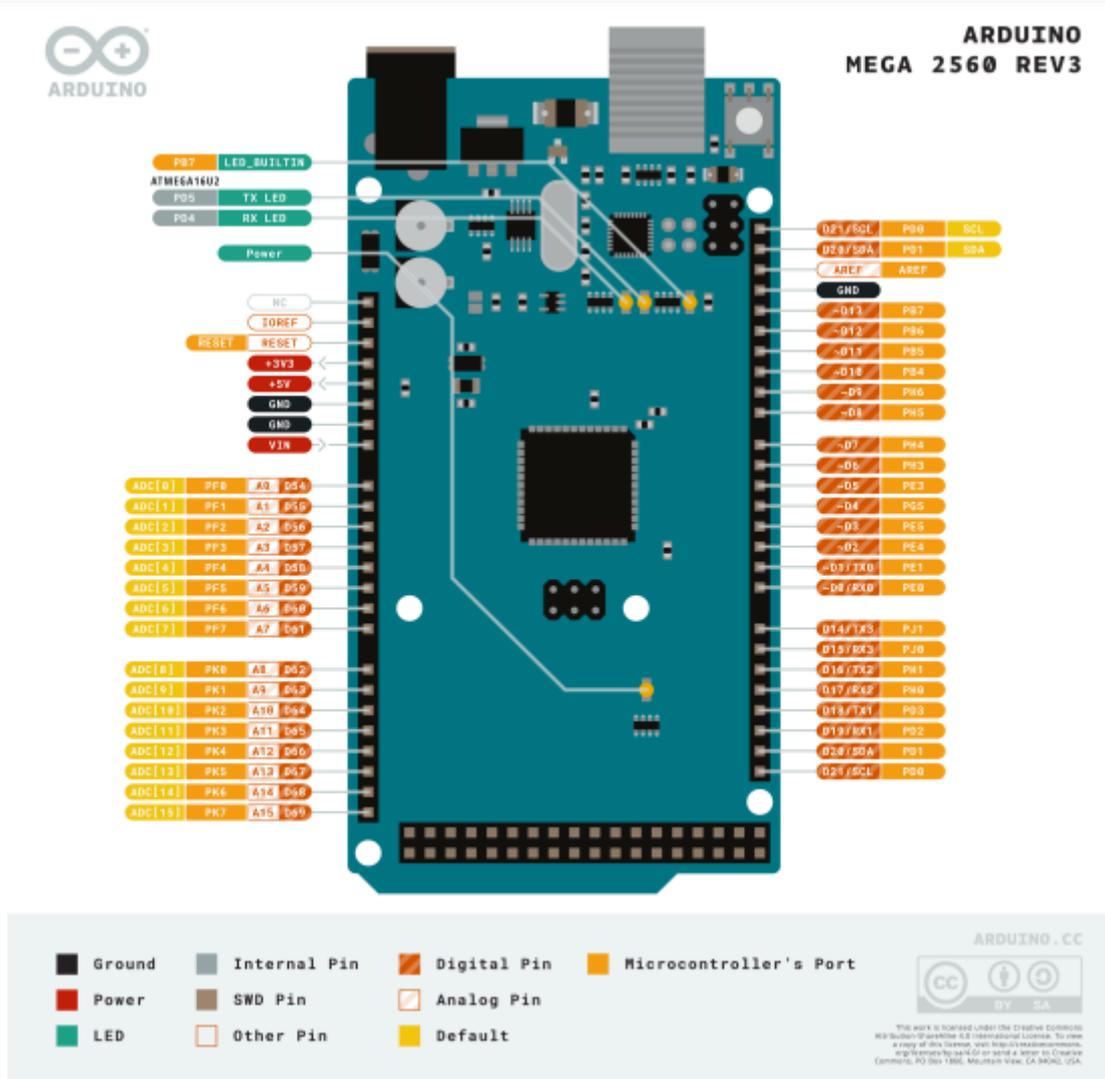
Quito D.M., 31 de agosto de 2023

Cristian Mauricio Ruiz Osorio

0503802167

Registro SENESCYT: 1079-2018-1964610
1020-2022-2487475
1020-2022-2487502

Anexo 2. Distribución de control PIN Arduino Mega 2560 REV3



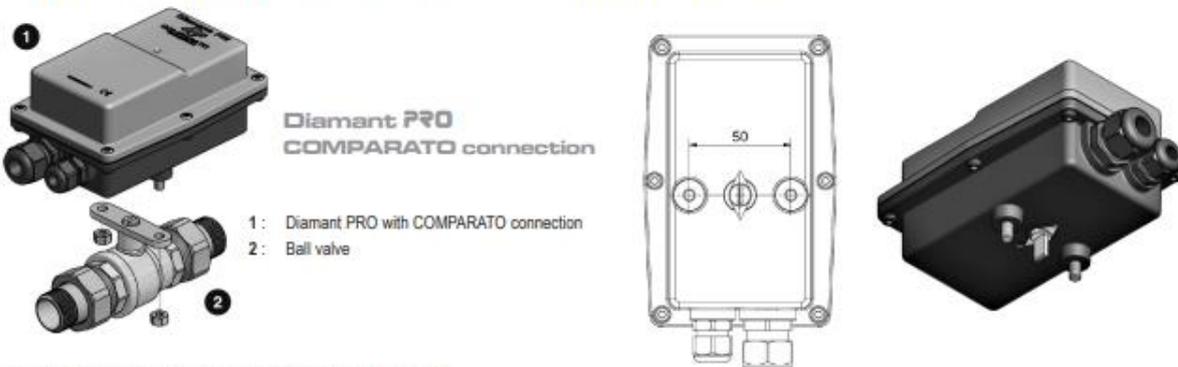
Arduino Mega Pinout

Anexo 3. Ensamblaje de Actuador + Válvula en sistemas de control DIAMANT PRO

CONNECTION TO THE BALL VALVE

DIRECT CONNECTION TO THE BALL VALVE

The direct connection of the **Diamant PRO** with **COMPARATO** connection can only be made on the ball valve with **COMPARATO** connection. For the direct coupling to **ISO 5211** connection ball valve see the **PRO Range** data sheet.



CONNECTION TO THE BALL VALVE WITH A SPACER

The ball valves fitted with a spacer (both with direct rod and manual override) must be motorised with a **Diamant PRO** **COMPARATO** connection, even if the ball valve has an **ISO 5211** connection.

