



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E
INSTRUMENTACIÓN**

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

**TEMA: PROTOTIPO DE SISTEMA DE CALIBRACIÓN
AUTOMÁTICA DE MEDIDORES DE AGUA RESIDENCIALES
MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL**

AUTORES:

**CARLOS IVÁN BUSTAMANTE DUQUE
MIGUEL DARIO ESCUDERO VÁSCONEZ**

DIRECTOR: ING. EDWIN PRUNA

LATACUNGA

2017



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**PROTOTIPO DE SISTEMA DE CALIBRACIÓN AUTOMÁTICA DE MEDIDORES DE AGUA RESIDENCIALES MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL**” realizado por los señores **CARLOS IVÁN BUSTAMANTE DUQUE** y **MIGUEL DARIO ESCUDERO VÁSCONEZ**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **CARLOS IVÁN BUSTAMANTE DUQUE** y **MIGUEL DARIO ESCUDERO VÁSCONEZ** para que lo sustenten públicamente.

Latacunga, 18 de mayo del 2017

Ing. Edwin Patricio Pruna Panchi

DIRECTOR



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **CARLOS IVÁN BUSTAMANTE DUQUE** con cédula de identidad N° 0503245367 y **MIGUEL DARIO ESCUDERO VÁSCONEZ**, con cédula de identidad N° 0503356453, declaramos que este trabajo de titulación **“PROTOTIPO DE SISTEMA DE CALIBRACIÓN AUTOMÁTICA DE MEDIDORES DE AGUA RESIDENCIALES MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 18 de mayo del 2017

Carlos Iván Bustamante Duque
C.C.: 0503245367

Miguel Darío Escudero Vásconez
C.C.: 0503356453



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**


AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Carlos Iván Bustamante Duque** y **Miguel Dario Escudero Vásconez**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución la presente trabajo de titulación **“PROTOTIPO DE SISTEMA DE CALIBRACIÓN AUTOMÁTICA DE MEDIDORES DE AGUA RESIDENCIALES MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL”** cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, 18 de mayo del 2017



Carlos Iván Bustamante Duque
C.C.: 0503245367



Miguel Dario Escudero Vásconez
C.C.: 0503356453

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a mis padres Carlos y Bachita quienes han sido mi apoyo y han confiado en todo momento en mí, lo cual me ha permitido cumplir mis metas.

A mi familia y amigos que siempre estuvieron pendientes de mí en los buenos y malos ratos.

Este logro es gracias a ustedes que siempre me recordaron que el trabajo duro tiene sus recompensas, y esta es una muestra de ellas.

CARLOS

Dedico este proyecto de investigación con todo amor y cariño a mis padres Aquiles Escudero y Laura Vásconez así como a mis hermanos Maricela y Cristian, de quienes siempre recibí el apoyo moral y económico para llegar a convertirme en un profesional.

A mis demás familiares y amigos en general por el apoyo que me brindaron en el transcurso de mi carrera Universitaria.

MIGUEL

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres por su apoyo que a diario me motiva a seguir trabajando con mucho esfuerzo para cumplir mis sueños.

A mis amigos y toda mi familia por sus ánimos durante todo este tiempo.

Al ingeniero Edwin Pruna que ha sido un gran guía y más que todo un amigo que día a día aporta con sus conocimientos y consejos para mi vida profesional que me ayudaron a cumplir mis objetivos.

CARLOS

Este proyecto de investigación es el resultado de un largo esfuerzo y trabajo no solo personal sino de un conjunto, por tal motivo en primer lugar agradezco a Dios por permitirme llegar a esta instancia con la mayor felicidad, a mi padres: Aquiles Escudero y Laura Vásconez así como a mis hermanos: Maricela y Cristian por su apoyo incondicional en todo este trayecto de mi vida universitaria.

Agradezco a mi director de tesis Ing. Edwin Pruna por permitirme demostrar y desarrollar mis conocimientos plasmados en el presente trabajo, agradezco también a mi compañero Carlos Bustamante por su esfuerzo y dedicación para el cumplimiento de nuestro objetivo.

Agradezco en general a todos mis amigos y familiares quienes motivaron al cumplimiento de mi vida profesional.

MIGUEL

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA	i
CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABLAS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Prólogo	1
1.2. Planteamiento del problema.....	1
1.3. Antecedentes.....	2
1.4. Justificación e importancia	3
1.5. Objetivos.....	4
1.5.1. Objetivo general	4
1.5.2. Objetivos específicos.....	4
1.6. Hipótesis	4

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes investigativos	5
2.2. Fundamentación teórica	6
2.2.1. Visión artificial.....	6
2.2.2. Medidores de agua residenciales.....	8
2.2.3. Rotámetro	12
2.2.4. Cámaras	14
2.2.5. Válvula tipo compuerta	16
2.2.6. Servomecanismo electromecánico	17
2.2.7. Bomba de agua centrífuga	18
2.2.8. Análisis y procesamiento de imágenes	19

2.2.9. Software de desarrollo de sistemas NI LabVIEW	21
2.2.10. Arduino	22
2.2.11. Redes neuronales artificiales en Matlab	23
2.2.12. Toolkit LINX de LabVIEW MakerHub.....	25

CAPÍTULO III

3. DESARROLLO DEL SISTEMA.....	26
3.1. Introducción	26
3.2. Especificación de requisitos del sistema.....	26
3.3. Diagrama de bloques	28
3.4. Diagrama esquemático	31
3.5. Diagrama de flujo del sistema	33
3.6. Diagrama de flujo del HMI.....	34
3.7. Diagrama de conexión de los servomecanismos.....	35
3.8. Red neuronal para reconocimiento del medidor	35
3.8.1. Obtención de las matrices características.....	36
3.8.2. Diseño de la red neuronal	39
3.8.3. Estructura y funcionamiento de la red neuronal.....	41
3.9. Reconocimiento de medidor de agua residencial	44
3.10. Sistema de adquisición del rotámetro	53
3.10.1. Extracción del plano HSI.	55
3.10.2. Creación del patrón para reconocimiento del flotador	55
3.10.3. Ecuación característica del rotámetro.....	59
3.11. Algoritmo de control.....	62
3.12. Programación del controlador arduino UNO	64

CAPÍTULO IV

4. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	71
4.1. Consideraciones generales.....	71
4.2. Pruebas preliminares.....	73
4.3. Caudal alto (25 – 35 LPM)	76
4.4. Caudal medio (15-24 LPM)	78
4.5. Caudal bajo (5 – 14 LPM)	80
4.6. Tendencias	82
4.7. Históricos	84
4.8. Tablas de calibración.....	85
4.9. Alcances y limitaciones	89

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	91
5.1. Conclusiones	91
5.2. Recomendaciones.....	93
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
ANEXOS	98

Anexo A: Manuales de Instalación

Anexo B: Hoja de datos del Rotámetro

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Visión artificial empleada en la industria alimenticia	7
Figura 2. Diagrama de un sistema de visión artificial	8
Figura 3. Medidor de agua de turbina	9
Figura 4. Tornillo de regulación exterior para calibración	10
Figura 5. Componentes de un medidor de agua residencial	11
Figura 6. Partes y forma de trabajo de un rotámetro	12
Figura 7. Implementación de cámaras en sistemas de control de procesos	15
Figura 8. Accionamiento de la válvula de compuerta	17
Figura 9. Partes de un servomecanismo típico	18
Figura 10. Bomba centrífuga de agua	19
Figura 11. Procesamiento de imagen con diferentes técnicas	20
Figura 12. Imagen digital a partir de una imagen analógica	20
Figura 13. Placa Arduino Mega 2560	23
Figura 14. Red Neuronal en Matlab	24
Figura 15. Toolkit LINX para LabVIEW de MakerHub	25
Figura 16. Diagrama de bloques del sistema	28
Figura 17. Diagrama esquemático del sistema de calibración	31
Figura 18. Diagrama de flujo del sistema de calibración	33
Figura 19. Diagrama de flujo del HMI	34
Figura 20. Diagrama de conexión del servomecanismo al controlador	35
Figura 21. Bloques para la obtención de la matriz RGB y de entrada	36
Figura 22. Matrices en el plano RGB de entrada (a) y el patrón (b)	37
Figura 23. Binarización de las matrices RGB	38
Figura 24. Extracto de matrices binarizadas (a) entrada y (b) patrón	38
Figura 25. MATLAB script para ejecución de código C en LabVIEW	39
Figura 26. Programación de la red neuronal en MATLAB script	40
Figura 27. Topología de un perceptrón multicapa	41
Figura 28. Diseño de la red neuronal y entrenamiento con cálculo de pesos	43
Figura 29. Algoritmo de adquisición de imágenes	44
Figura 30. Función de configuración de cámara	44
Figura 31. Función para adquirir video en LabVIEW	45
Figura 32. Función para abrir un buffer	45
Figura 33. Función para obtener el último frame creado	46
Figura 34. Indicador en litros del medidor de agua residencial	46
Figura 35. Función de visión para encontrar bordes circulares	47
Figura 36. Interfaz del asistente de visión para procesamiento	47
Figura 37. Resultados del borde circular detectado	48
Figura 38. Configuración de parámetros de detección de bordes	48
Figura 39. Generación del área de interés a partir del borde detectado	49
Figura 40. Región de interés generada	50
Figura 41. Función color learn	50
Figura 42. Extracción de las características de color de la imagen	51
Figura 43. Vector unidimensional del espectro de colores	51
Figura 44. Comparación de rangos de color específicos	51
Figura 45. Algoritmo de medida de tiempo para el medidor de agua	52
Figura 46. Bloques de adquisición de imágenes del rotámetro en tiempo real	53
Figura 47. Bloque Vision Assistant en LabVIEW	54

Figura 48. Interfaz del asistente de visión para el rotámetro	54
Figura 49. Imagen de entrada e imagen con el plano HSI.....	55
Figura 50. Ubicación de Geometric Matching en la paleta de Machine Vision.....	56
Figura 51. Creación del patrón geométrico del flotador del rotámetro.....	57
Figura 52. Posición del flotador (rojo) y selección del ROI (verde).....	58
Figura 53. Parámetros característicos de flotador encontrado	59
Figura 54. Puntos experimentales (negro) y curva interpolada (azul)	61
Figura 55. Rotámetro e indicador virtual con la medida obtenida.....	62
Figura 56. Servomecanismo instalado en el sistema de calibración	62
Figura 57. Cálculo del error de medición	63
Figura 58. Pantalla de inicio del VI Package Manager.....	64
Figura 59. Interfaz del VI Package Manager	65
Figura 60. Búsqueda del complemento LINX para LabVIEW	65
Figura 61. Pantalla previa a la instalación de LINX.....	66
Figura 62. Selección del Wizard de LINX	67
Figura 63. Configuración de la tarjeta controladora en LINX	68
Figura 64. Selección del puerto de conexión en LINX	68
Figura 65. Subiendo configuración de Firmware al Arduino UNO	69
Figura 66. Algoritmo básico de control para un servomotor	70
Figura 67. Sistema de calibración automática implementado.....	71
Figura 68. Interfaz principal durante la acción de ajuste.....	72
Figura 69. Comparación física y virtual con un caudal de 12 LPM.....	74
Figura 70. Comparación física y virtual con un caudal de 20 LPM.....	74
Figura 71. Comparación física y virtual con un caudal de 32 LPM.....	75
Figura 72. Prueba con caudal alto y error -1	76
Figura 73. Medida del rotámetro para caudal alto (34 LPM).....	76
Figura 74. Medidor con caudal alto y error ajustado a cero.....	77
Figura 75. Rotámetro con 34 LPM y ajuste del medidor de agua.....	77
Figura 76. Prueba con caudal medio y error +1	78
Figura 77. Rotámetro a caudal medio con valor 19 LPM.....	78
Figura 78. Medidor con caudal medio y error ajustado a cero.....	79
Figura 79. Rotámetro con 34 LPM y ajuste del medidor de agua.....	79
Figura 80. Prueba con caudal bajo y error -1	80
Figura 81. Rotámetro a caudal bajo con valor 6 LPM	80
Figura 82. Medidor con caudal bajo y error ajustado a cero.....	81
Figura 83. Rotámetro con 34 LPM en el ajuste del medidor de agua.....	81
Figura 84. Sistema calibrado con un error igual a cero a 22 litros por minuto	82
Figura 85. Tendencia de calibración y ajuste de un error positivo de 1 LPM.....	83
Figura 86. Tendencias de calibración y ajuste de un error negativo de 2 LPM.....	84
Figura 87. Histórico de eventos ocurridos en el sistema de calibración	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de flotador y sus diferentes aplicaciones	13
Tabla 2. Valores en LPM y posición en pixeles del rotámetro	60
Tabla 3. Valores directos y virtuales del rotámetro	73
Tabla 4. Calibración a 3 puntos con error de medida	85
Tabla 5. Calibración a 3 puntos después de realizar el ajuste	85
Tabla 6. Calibración a 5 puntos con error de medida	86
Tabla 7. Calibración a 5 puntos después de realizar el ajuste	86
Tabla 8. Calibración a 7 puntos con error de medida	87
Tabla 9. Calibración a 7 puntos después de realizar el ajuste	87
Tabla 10. Calibración a 9 puntos con error de medida	88
Tabla 11. Calibración a 9 puntos después de realizar el ajuste	88

RESUMEN

Este trabajo de titulación presenta el diseño e implementación de un prototipo de sistema de calibración automática para medidores de agua residenciales mediante visión artificial, establece que los sistemas de visión por computadora son la herramienta más adecuada de realizar medición y calibración en equipos como medidores de agua. El trabajo consta de un circuito cerrado de flujo de agua alimentado por una bomba de baja potencia, la lectura del medidor de agua es tomada por la computadora mediante una cámara-usb; se realiza un cálculo según el tiempo que tarda en dar una vuelta completa la aguja de menor escala del medidor lo cual determina el flujo de agua en tiempo real. Al mismo tiempo, se obtienen los datos de una segunda cámara que está asociada al rotámetro que es el elemento patrón del sistema y muestra el flujo real de agua. Los valores adquiridos se comparan para calcular un error el cual determinará la acción de ajuste en el medidor de agua para compensar la lectura del mismo.

PALABRAS CLAVE:

- **VISIÓN ARTIFICIAL**
- **MEDIDORES DE AGUA RESIDENCIALES – CALIBRACIÓN**
- **MEDIDORES DE AGUA RESIDENCIALES – AJUSTE**

ABSTRACT

This degree titillation work presents the design and implementation of a prototype of automatic calibration system for residential water meters using artificial vision, establishing that the systems of vision are the most appropriate tool to perform the measurement and calibration in equipment such as water meters. The project consists of a closed water flow circuit powered by a low power pump, the water meter data is taken by the computer using a usb-camera; a calculation is made based on the time that takes to fully turn the smaller scale needle on the meter to determine the flow of water in real time. At the same time, the information obtained from a second camera that is associated with the rotameter which is the standard element of the system and shows the actual water flow. Those values are compared to calculate an error which determine the adjustment action on the water meter to compensate its lecture.

KEYWORDS:

- **ARTIFICIAL VISION**
- **RESIDENCIAL WATER METERS – CALIBRATION**
- **RESIDENCIAL WATER METERS – ADJUSTMENT**

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Prólogo

En la actualidad los sistemas de visión artificial se han convertido en una herramienta de desarrollo tecnológico con aplicación en diferentes campos tales como el perfeccionamiento de métodos de medición en equipos análogos o digitales. Una de las alternativas que ofrece la visión artificial en este trabajo es la creación de algoritmos para la obtención de sistemas de calibración-ajuste para medidores de agua residenciales.

Dentro de las necesidades que la sociedad requiere satisfacer es la existencia de medidores de agua fuera de calibración los cuales causan una variación en el precio real de consumo dentro de los hogares de Latacunga, por esta razón se plantea un prototipo de sistema de calibración automática de medidores de agua residenciales mediante visión artificial el cual permitirá solventar la problemática antes mencionada.

1.2. Planteamiento del problema

Hasta el año 2010 se conoce que en la ciudad de Latacunga hay una población 170489 de habitantes (Vera, 2010), con un promedio de 5 personas por vivienda actualmente hay 19112 medidores de agua potable activos de los cuales el 75% están completamente operativos. De este porcentaje se adquiere el rubro a pagar por el usuario mensualmente a través de la facturación. Los medidores utilizados poseen mecanismos de turbina y relojería, el volumen se marca a través de uno o varios indicadores de aguja que señalan el valor medido respecto a una escala graduada. Además este tipo de medidores se puede ajustar y calibrar mediante un flujo compensatorio.

La empresa EPMAPAL, encargada del cobro de agua potable en Latacunga, cuenta con un banco portátil diseñado para realizar calibraciones en campo. Durante este proceso de calibración el medidor a ser evaluado se conecta a manómetros, mangueras y adaptadores en una conexión en línea.

Por el gran número de medidores existentes, las limitaciones en personal y equipos disponibles por parte de la empresa EPMAPAL, se considera que en la ciudad de Latacunga existe un 35% de medidores que pueden estar fuera de calibración, lo que causa desajustes en la facturación inconveniente tanto para los usuarios y la empresa.

1.3. Antecedentes

Con la idea de obtener una amplia revisión sobre la inspección visual y aplicar la visión computarizada en el campo de la vida real, nace la visión artificial y se desarrolla desde hace algunos años en campos como el científico y el de la industria.

Al principio la visión por computadora se utilizaba como un método práctico de reconocimiento y clasificación de monedas. Teniendo en cuenta para este proceso el área y perímetro de los objetos. En el tema del mejoramiento de la calidad la visión artificial comenzó con actividades como acabado de superficies y detección de imperfecciones, en donde se basada en una serie de perfiles de los objetos a analizar. También participa en la inspección y control de calidad con la verificación de características esperadas, sus dimensiones y la interrelación entre las mismas.

En el campo científico la visión artificial se ha introducido en la biología, pues mediante la binarización se puede contabilizar la cantidad de microorganismos y células que hay en una imagen. Se ha visto también que es muy utilizada en la meteorología para el análisis de imágenes de las diferentes masas nubosas, que afectan en los fenómenos meteorológicos. Además es de mucha utilidad en la medicina, puesto que se presenta con el procesamiento de imágenes, a menudo orientadas hacia el diagnóstico de

dolencias o enfermedades, entre las que se incluyen radiografías, resonancias magnéticas, tomografías, etc.

En la industria ha incursionado en un sin número de aplicaciones y se ha desarrollado en ámbitos como: automoción, alimentación, el sector farmacéutico, electrónica, robótica, química, seguridad, textil, envase y embalaje, entre otros. La visión artificial está en continua evolución y presenta mercados emergentes como: transporte (guiado de vehículos), identificación facial, biometría, industria del cine, inspección de madera, aplicaciones en el rango no-visible, sistemas 3D, aplicaciones de tráfico, marketing, ocio y entretenimiento.

En el pasado, el usuario de visión artificial tenía que ser un experto en el tema, puesto que un sistema de visión y sus aplicaciones estaban orientados a un perfil muy técnico, además había que tener un amplio conocimiento de los equipos a utilizar y del proceso a controlar. En la actualidad existen sistemas de visión computarizada que pueden ser utilizados por personas inexpertas en la materia, que solo necesitan de cierta formación respecto al producto.

En el presente se han venido desarrollando sistemas de visión artificial para la lectura de instrumentos analógicos. Estos sistemas contienen relaciones algebraicas para el análisis de la inclinación de una aguja respecto al valor que está marcando.

1.4. Justificación e importancia

Por el gran porcentaje de medidores que pudieran estar fuera de calibración, causando inconvenientes en la facturación y pérdidas tanto como para la empresa de agua potable y el usuario; mirando hacia un marco más amplio, el mismo caso se debe presentar a nivel de Latinoamérica y en la mayoría de instituciones a cargo del servicio de agua potable. En este proyecto apunta a demostrar que la visión artificial y la automatización de la calibración de medidores pueden ser de mucha ayuda para mejorar estos

escenarios desfavorables. Hoy en día las prestaciones de hardware y software, que están en progresivo aumento y desarrollo, permiten la aparición de muchos sistemas compactos y de bajo costo para resolver muchas de las aplicaciones actuales. Cuando se implementa un sistema de visión artificial su propuesta siempre apunta a la innovación y al mejoramiento de la calidad del proceso donde se desenvuelva.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

- Implementar un prototipo de sistema automático mediante visión artificial para la calibración de medidores de agua residenciales.

1.5.2. Objetivos específicos

- Investigar acerca de software y algoritmos de redes neuronales utilizados para visión artificial.
- Diseñar un prototipo de sistema de calibración automática para medidores analógicos a partir del resultado de entrenamiento de visión artificial.
- Implementar un sistema de medición de flujo de agua utilizando un medidor de agua potable analógico.
- Entrenar una red neuronal capaz de identificar la presencia del medidor de agua residencial en el sistema.

1.6. Hipótesis

El sistema automatizado de calibración con visión artificial de medidores mejorará la calidad en el servicio de agua potable reduciendo pérdidas tanto para la empresa de agua potable como para los usuarios.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes investigativos

En el contexto del desarrollo de sistemas con visión artificial, este ofrece múltiples y diferentes características que permiten integrar técnicas inteligentes de captura de datos con procesos tales como lecturas, mediciones y calibraciones; la visión por computador se ha convertido en una herramienta tecnológica eficaz la cual se encuentra presente en campos estratégicos (Duan, 2014).

La visión artificial ha avanzado a pasos agigantados dentro de la robótica y la industria tal que, actualmente, se la utiliza en aplicaciones que requieren una acción coordinada; implementado por técnicas en tiempo real para la interacción con las zonas de trabajo (Sereno, Bolaños, Vallejo, 2014). En tal virtud, este sistema acoplado a diferentes técnicas y necesidades permite obtener herramientas de desarrollo de alta calidad y bajo costo.

El sistema de calibración tiene como fortaleza el desarrollo de visión artificial y procesamiento de imágenes lo cual permite obtener un sistema robusto de calibración y ajuste de flujo compensatorio de medidores de agua en tiempo real, accionado por sistemas mecánicos que permiten el óptimo desempeño del proceso. Casale, Spadafina, Porcelli, Matrino y Sarcina (2016) mencionan la gestión eficiente de recursos hídricos así como actuales deficiencias de la red de suministro de agua a nivel global, a su vez, implementa un sistema de monitoreo y medición inteligente de agua orientado a medidores; abarca el estado de los protocolos de arte y tecnologías para la medición de agua a distancia y transmisión de lectura detallando como uno de los aspectos importantes un sistema calibrado en el cual se reduzca el error de lecturas dentro de cada uno de los instrumentos de medida.

Kashid, Pardeshi, Sirsat y Bonge (2015), proponen un enfoque de procesamiento de imagen simple para la captura remota de lectura de

medidores de agua utilizando el procesador DSP, se resalta la importancia del correcto diseño de algoritmos computacionales para procesamiento de alta velocidad y en tiempo real, de esta forma, se obtienen valores exactos dentro de los sistemas de medición orientados a la visión artificial o procesamiento de imágenes.

2.2. Fundamentación teórica

2.2.1. Visión artificial

La visión artificial es un método de adquisición de datos por varios medios con el fin de obtener o generar imágenes las cuales son procesadas y analizadas para promover información de tipo simbólica o numérica, su adquisición es a través de cámaras y su lógica se realiza por un procesador el cual es generalmente es un computador que se encarga de interactuar con el entorno y las variables; la visión artificial utiliza varias tecnologías como medio de recolección de datos tales como: cámaras, escáneres y medios ópticos, todas ellas en contacto con el entorno físico de interés. La visión artificial ha incursionado en varios métodos de desarrollo de la industria para producir grandes aspectos de perfeccionamiento con el estudio de las imágenes, eventos, mapping y restauración.

La robótica y los sistemas industriales de producción utilizan la visión artificial como un método de desarrollo y mejora de sus productos o servicios. La industria alimenticia la utiliza para el reconocimiento de factores complejos y condiciones de cosecha de las frutas determinando su forma, color, y posibles anomalías (Constante, *et al*, 2015).

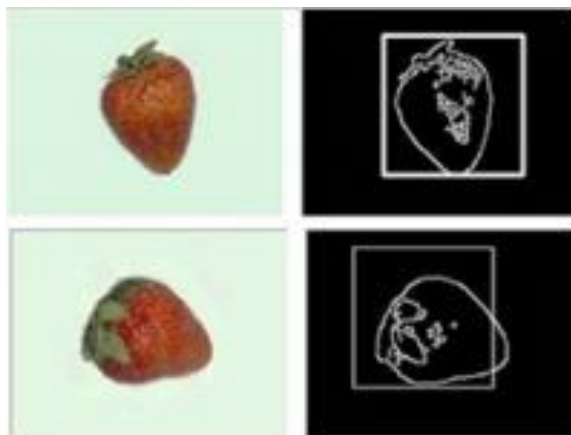


Figura 1. *Visión artificial empleada en la industria alimenticia*

Fuente: (Constante, 2015)

La visión artificial trata de modelar computacionalmente la percepción visual de los seres humanos, su exactitud viene ligada directamente con el algoritmo de desarrollo para el cumplimiento del objetivo deseado; uno de los aspectos fundamentales dentro del desarrollo de sistemas con visión artificial es la consecución de manejos de paradigmas óptimos dentro de los procesos, el tiempo real es un parámetro que ha tomado gran importancia en el proceso de medida, ajuste, calibración y obtención de datos. La robótica y todo proceso que exija una acción coordinada necesita de una u otra forma visión artificial para ser empleada con entornos en los cuales se requiera analizar: color, técnicas de umbral, forma de imagen o video en tiempo real; todos ellos empleados en experimentación de temas tan diversos como el procesamiento de imágenes, control, instrumentación y robótica (Sereno, *et al*, 2014).

Dentro de la visión artificial se interrelacionan diferentes cuantificaciones cuya proporción mejora la apariencia visual en la extracción de características y búsqueda de objetos; el ruido, la oclusión, escala, deformación y fondo son componentes esenciales de análisis para la implementación de sistemas con visión artificial. La principal característica y técnica que sobresale en la técnica de visión artificial es el aprendizaje, esta técnica consigue distinguir de manera automática el patrón o región de interés (ROI) en la cual se realiza o centra el estudio. Actualmente se utiliza técnicas multicámara o de visión estéreo con el fin de abarcar muchos más entornos de estudio, esto permite

un mejor establecimiento de relaciones espaciales, mediciones tridimensionales y cálculos angulares.

La visión artificial aplicada a la industria es la de mayor robustez dentro de su diseño y aplicaciones, dentro de ella se unen la informática, automatización industrial y la electrónica ya que requiere de alta precisión funcionando las 24 horas del día. La visión artificial de la nueva era asiste con diferentes y sofisticados algoritmos capaces de obtener y extraer la mayor información de imágenes de baja percepción y nivel visual, la Figura 2 detalla los componentes esenciales en un sistema completo de visión artificial.

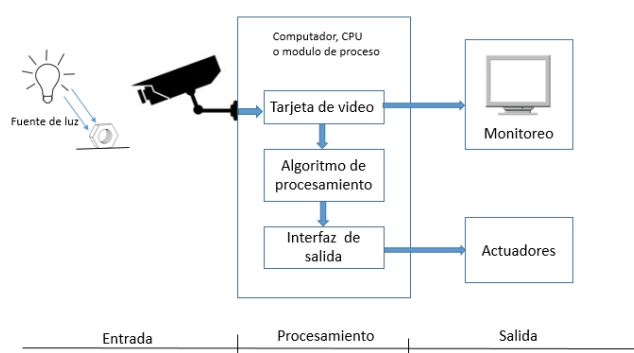


Figura 2. Diagrama de un sistema de visión artificial

Dentro de esto se cumple el proceso de captación, procesado y actuación; los dos principales pilares dentro de un sistema de visión son la formación de imágenes y el procesamiento de ellas, todos estos procesos se implementan con el fin de reemplazar al humano en tareas repetitivas y peligrosas con métodos mucho más rápidos y exactos, no se trata solo de captar una imagen sino de procesarla y tratarla y así generar un resultado satisfactorio dentro del proceso a emplearse.

2.2.2. Medidores de agua residenciales

Un medidor de agua es un dispositivo análogo el cual mide el flujo de agua que transita por su interior, su medida generalmente esta denotada en metros cúbicos (m^3) y su principal aplicación se enfoca en la industria y

domicilios como un método de medida del consumo para una facturación posterior. La sofisticación técnica de los medidores de flujo de agua de medición se ha incrementado notablemente en las últimas décadas con el fin de mejorar la gestión del agua (Kashid, *et al*, 2015).

Su uso e invención está orientada a la necesidad de la existencia de un dispositivo de bajo costo y buena ergonomía que pueda ser implementado en un sistema de distribución de agua de manera eficiente y sin desperdicios. Dentro de los sistemas de medición de agua residencial los principales medidores utilizados son los de tipo turbina cuya exactitud es la óptima para un sistema grande de distribución; su exactitud de medida varía según la necesidad del usuario u operador en la cual se pueden encontrar con contadores desde 4 hasta 12 dígitos, a este tipo de medidores de agua se los denomina contadores húmedos (AWWA, 2011).

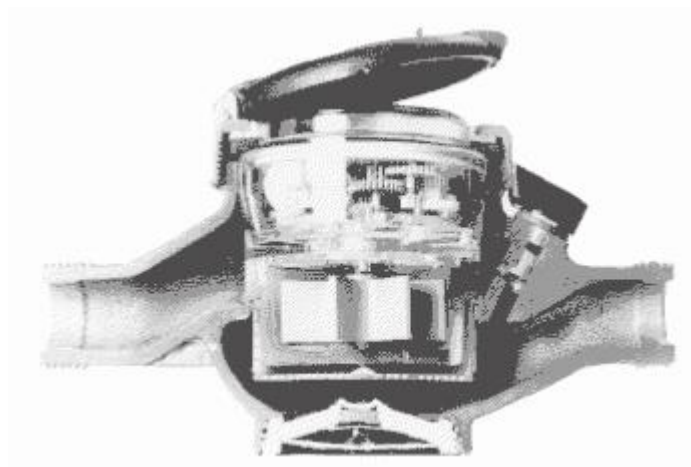


Figura 3. Medidor de agua de turbina

Fuente: (AWWA, 2011)

La Figura 3 representa un medidor de agua de tipo turbina utilizada en los sistemas de medida de agua potable convencionales, la representación del consumo es de tipo numérica accionada por engranajes concéntricos accionados mecánicamente en relación proporcional al movimiento rotacional ejercido por la turbina en contacto directo con el agua. Este tipo de medidores están diseñados para trabajar en con régimen variable de presiones estáticas y dinámicas ejercidas por el flujo que transita a través de ellos, además, no

representan pérdidas simbólicas en un sistema completo de suministro de agua sin ocasionar restricciones en la demanda de este servicio.

Un medidor de agua está diseñado para la medición y sin resistencia al paso de agua que este no pierda sus propiedades mecánicas y de medición. Actualmente los sistemas de distribución de agua potable cuentan con distintos tipos de modelos de medidores, los cuales en su gran mayoría, son unidades que llevan algunos años de funcionamiento por lo cual es necesario realizar medidas preventivas de ajuste y mantenimiento para la obtención de medidas exactas sin alteraciones. Actualmente los medidores de agua potable cuentan con un sistema acoplado de ajuste el cual a través de un tornillo ubicado en el extremo del medidor se puede regular el flujo compensatorio que pasa por el mismo, para desarrollar esta técnica es necesaria la obtención de instrumentos patrones que permitan la comparación de medidas (AWWA, 2011). La Figura 4 indica el regulador exterior para ajuste del flujo entrante en un medidor de agua.

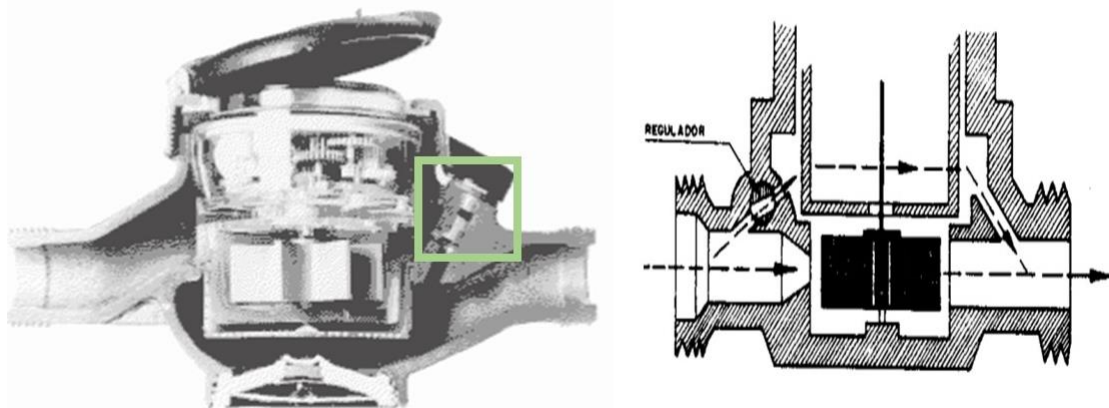


Figura 4. Tornillo de regulación exterior para calibración

Fuente: (AWWA, 2011)

Este tipo de medidores utilizan la técnica denominada inferencial debido a que los mecanismos de medida trabajan en función a las revoluciones producida por la turbina. Los medidores de agua constan esencialmente de 3 partes:

- Dispositivo de medida.
- Transmisión.
- Registrador.

Las necesidades actuales permiten que se implemente una nueva parte denominada “Regulación” la cual es esencialmente el tornillo de graduación exterior especificado en la Figura 4. De esta forma un medidor de agua se transforma en un instrumento el cual puede ser calibrado las veces que sea necesario en función de minimizar pérdidas y errores de lecturas. El medidor de agua comprende diferentes tipos de indicadores como se muestra en la Figura 5, de esta manera el medidor cumple con las funciones de: medir el volumen mínimo de agua en cualquier momento sin importar conexiones anteriores o posteriores, registrar las unidades de medida seleccionadas, acumular los registros sucesivos leídos a distintos momentos y a diferente caudal (AWWA, 2011). De esta manera el medidor de agua residencial cumple con diferentes etapas y características mecánicas por lo cual en la actualidad es el sistema residencial de medida de agua de mayor uso.

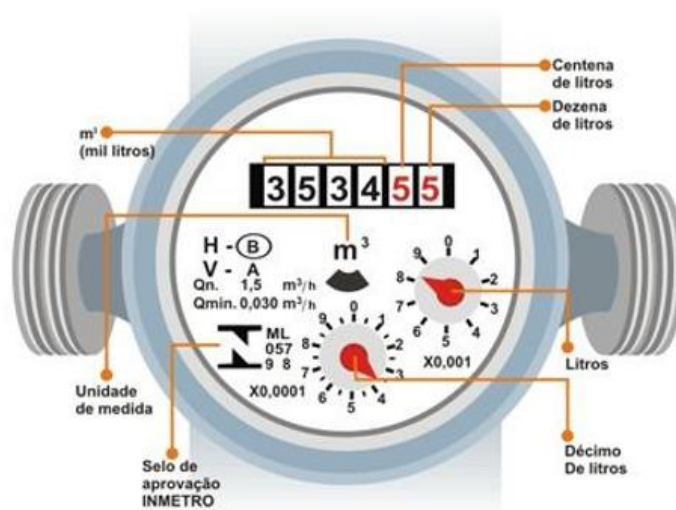


Figura 5. Componentes de un medidor de agua residencial

Fuente: (SISS, 2012)

2.2.3. Rotámetro

Es un caudalímetro para aplicaciones industriales el cual consiste en un flotador de forma cilíndrica con densidad y peso mayor que el fluido, este se encuentra dentro de un tubo de baja conicidad vertical hueco; su principio de operación se fundamenta en el área variable en el cual el flotador eleva o disminuye su altura en relación al caudal líquido o de aire que transita por el tubo cilíndrico hueco.

La fuerza antagónica de equilibrio de este dispositivo de medida es la gravedad y el caudal las cuales actúa sobre el cilindro de manera variable o en punto de equilibrio, es decir, el flotador se mueve hacia arriba o hacia abajo en relación al fluido y la gravedad que actúa sobre él; las medidas la marca el propio flotador en la escala graduada que se encuentra en el tubo cónico, de esta manera permite una rápida respuesta en velocidad y flujos turbulentos (AWWA, 2005). La Figura 6 describe las partes esenciales de un rotámetro y su acción de trabajo.

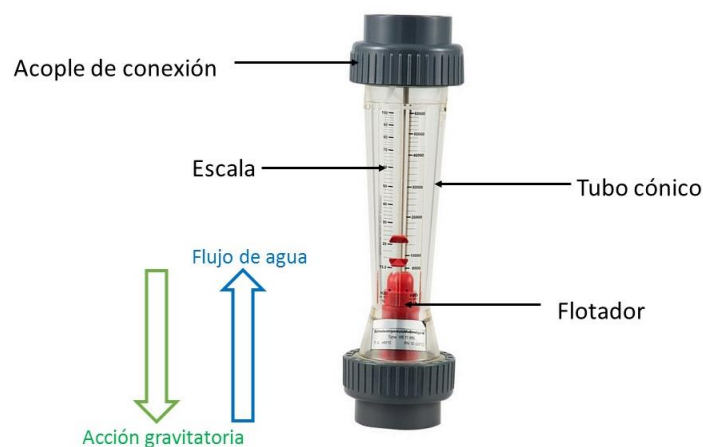



Figura 6. Partes y forma de trabajo de un rotámetro

El elemento primario del rotámetro es el flotador, sus características permiten obtener la medida directa conforme a las fuerzas antes descritas; la forma del flotador tiene una relación directa a la aplicación y proceso en el

cual se desea emplear (Fardo, 2009). Los materiales dependen directamente del mesurando, si se desea medir gas se debe emplear flotadores de baja densidad mientras que para líquidos neutros como el agua se utiliza los denominados flotadores imparciales; las formas del flotador describen su aplicación y utilidad, la Tabla 1 representa los diferentes tipos de flotadores existentes en los rotámetros y sus respectivas aplicaciones en función a la densidad del flujo y su viscosidad característica.

Tabla 1.

Tipos de flotador y sus diferentes aplicaciones

Tipo de flotador	Aplicación	Viscosidad	Gráfica
Esférico	Caudales bajos y poca presión.	Alta	
Cilíndrico con borde plano	Caudales medios	Moderada	
Cilíndrico con borde saliente	Caudales altos	Menor	
Cilíndrico con bordes salientes contra el flujo	Caudales altos	Mínima	

El tubo cónico del rotámetro forma una parte importante dentro de sus aplicaciones, por esta razón, la contextura y el materia del cual está diseñado es generalmente plástico transformándolo en un instrumento de alta resistencia; existen rotámetros metálicos con aleaciones de aluminio o cobre lo cual permite trabajar a altísimas presiones y caudales, este tipo de rotámetros son especiales ya que su lectura no es directa en la graduación del tubo, su forma de medida es un flotador o burbuja acoplado al extremo; existen también rotámetros de vidrio en el cual su coeficiente de fricción es bajo pero a su vez lo convierte en un instrumento delicado y de pocas aplicaciones (Fardo, 2009).

Todos los rotámetros sin importar las características antes descritas presentan un sistema de medida no lineal pero su respuesta se la puede aproximar a una línea recta (Zhang and Zeng, 2012). Sin embargo, cada rotámetro presenta una ecuación características en función a la aplicación, escala, forma y contextura permitiéndoles incluso ser anticorrosivos a los fluidos; su facilidad de instalación así como velocidad de respuesta y alta respetabilidad lo transforman en un sistema atrayente para la medida de sistemas de caudal.

2.2.4. Cámaras

La cámara es uno de los elementos esenciales dentro del desarrollo de sistemas de visión artificial, si bien el procesamiento se lo realiza vía computador, la cámara es el elemento primario de comunicación entre el entorno o medio y el controlador principal. De esta forma, las cámaras juegan un papel importante al momento de análisis y recolección de datos con características de dominios de imagen y sus esenciales características (Akshatha, Anitha, Karunakar, Raghavendra and Dinesh, 2016).

En la actualidad, el desarrollo de nuevos sistemas de visión y capturas de imágenes permiten el monitoreo de ambientes con una mejor precisión y óptica sensorial que la del ser humano, de esta manera la cámara reemplaza

el ojo humano en el control de procesos eliminando su fatiga y cargas mentales; esto implica que la cámara necesariamente requiere de un sistema de procesamiento para cumplir con el objetivo fundamental de desarrollo de un sistema sofisticado de control y monitoreo capaz de reemplazar al ser humano en sus funciones cotidianas.

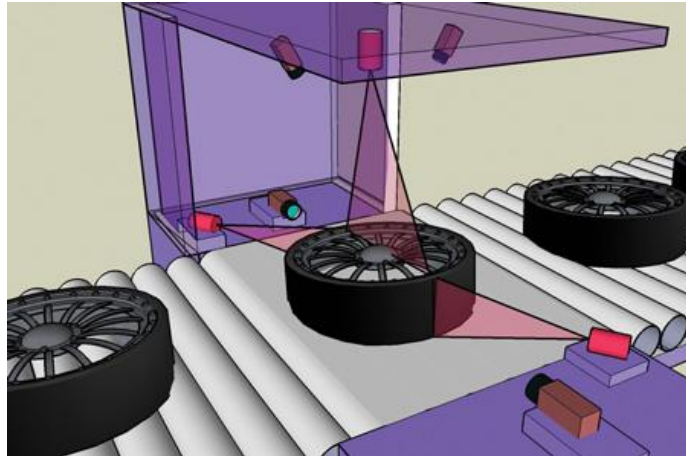


Figura 7. Implementación de cámaras en sistemas de control de procesos

Fuente: (Anitha, 2016)

Las cámaras utilizadas en los sistemas de visión artificial deben estar implementadas por algunas características fundamentales para el manejo de imágenes de alta calidad y tiempo real; generalmente son de la tecnología actual y permiten el control de imagen, manejo de filtros, frecuencias y los elementos más importantes como la resolución y manejo de tiempos de obturación. Sin embargo, se han implementado sistemas de visión artificial con el uso de cámaras computaciones de gama media y baja obteniendo resultados satisfactorios y de alto impacto (Akshatha, *et al*, 2016). La Figura 7 describe la importancia de la correcta implementación de una cámara dentro del análisis de imágenes para el control de procesos.

La selección de la cámara depende directamente de la aplicación en el cual se la va a emplear, uno de los requisitos necesarios para un buen procesamiento de señales es la obtención de imágenes de calidad alta, esto se soluciona con cámaras que manejan un número de píxeles mayor a los 8

megas y resolución de 1024 puntos mínimos (Food, 2001). Los sistemas de visión artificial generalmente utilizan cámaras lineales por sus altas prestaciones y su construcción de la imagen en forma de barrido lo cual permite ensamblar la imagen cuadro por cuadro con altas características de resolución y manejo de densidad de pixeles los cuales fluctúan desde los 512 hasta los 8192 pixeles por imagen, estas características permiten la obtención de iconografías de alta calidad y de alta precisión.

De esta manera la implementación de cámaras en un proceso aumenta la velocidad de respuesta en el barrido y captura de un entorno incluso con una resolución mayor a la del ojo humano aumentando la precisión en sistemas de medición y percepción espacial (Silva, Da Rocha Souto, Da Silva, Dos Santos and Filho, 2015). Uno de los aspectos importantes de análisis de las cámaras es que no promueven fatiga ni desgaste en las imágenes al transcurso del tiempo, es decir, el ojo humano se cansa y necesita descanso intensificado, una cámara desarrolla su trabajo de forma íntegra y uniforme.

2.2.5. Válvula tipo compuerta

La válvula de compuerta es principalmente utilizada para fluidos limpios y sin interrupción, su compuerta generalmente es de forma rectangular o redonda por lo cual requiere de un alto grado de fuerza para su control pero a su vez desempeña cierres herméticos y poca resistencia a la circulación lo cual lo hace apetecible para sistemas de control generalmente manuales (AWWA, 2005). Este tipo de válvulas no se las emplea para regulación a grandes flujos, pero en sistemas pequeños de regadío o caseros es ideal por su fácil control y su cierre hermético.

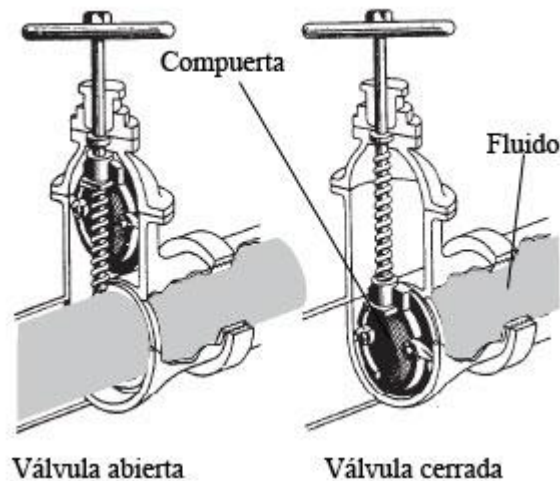


Figura 8. Accionamiento de la válvula de compuerta

Fuente: (Gelmi, 2006)

La Figura 8 describe el funcionamiento de la válvula tipo compuerta manual cuando esta se encuentra abierta en su totalidad o cerrada en su totalidad, son utilizadas debido a su gran facilidad de uso y su estado económico es relativamente bajo; cubren servicios generales con fluidos puros como el agua, por esta razón son los sistemas de control de flujo de mayor empleo en estados y sistemas residenciales. En caso de sistemas de regulación sus vueltas sucesivas permiten una alta selectividad siempre y cuando se la someta a un flujo pequeño ya que a grandes cantidades produce cavitación con baja caída de presión (Zhu, Zou, Gao, Wang and Jia Z, 2015). Se fabrican de bronce, acero inoxidable, hierro y acero forjado; su selección depende directamente de la aplicación a la cual se encuentra orientada.

2.2.6. Servomecanismo electromecánico

Un servomecanismo electromecánico es un conjunto de elementos electrónicos y mecánicos, que generalmente cumplen una acción específica en otras máquinas u objetos más complejos y está condicionado a una o más variables. Según Forrest (2000), un servomecanismo es un sistema de control

automático ya que es totalmente obediente ante cualquier control o señal de entrada.

La operación de un servomecanismo consta de una señal de entrada que genera una señal de salida, cualquier diferencia entre estas dos señales tiene efecto sobre la entrada, provocando que el sistema se siga moviendo hasta alcanzar los valores deseados en las variables involucradas.

En la Figura 9 se muestran las partes de un servomecanismo típico que se utiliza generalmente en la construcción de brazos robóticos o estaciones de control donde se requieran mover elementos con mucha precisión. Este tipo de motores tienen un límite de movilidad que no pasa de 180 grados, y se deben hacer algunas modificaciones en la parte mecánica y electrónica para lograr un giro completo de su eje; esto es necesario en la mayoría de aplicaciones para cumplir los resultados deseados.



Figura 9. Partes de un servomecanismo típico

Fuente: (Prometec, 2014)

2.2.7. Bomba de agua centrífuga

Una bomba es un elemento mecánico con el cual se busca lograr una conducción de líquidos en la mayoría de sus aplicaciones para llevarlo de un punto a otro; el término centrífugo se refiere a que el agua ingresa por el eje axial y es expulsada por el eje radial de la bomba, se puede observar ambos ejes en la Figura 10, esto quiere decir que una bomba centrífuga transforma

la energía mecánica de un impulsor rotatorio en la energía cinética y potencial requeridas (McNaughton, 1992).

Las bombas centrífugas son las más producidas y utilizadas a nivel mundial, no solo por sus prestaciones sino por su bajo costo, no requieren de un mantenimiento complejo, su funcionamiento es silencioso y no requiere de mucho espacio.



Figura 10. Bomba centrífuga de agua

Fuente: (PEDROLLO, 2015)

2.2.8. Análisis y procesamiento de imágenes

El ser humano, mediante el sentido visual, percibe e interpreta una extensa variedad de formas, contornos, colores y texturas que se presentan en el mundo real; haciendo que las personas procesen una gran cantidad de información. Con el análisis y procesamiento de imágenes se pretende que una máquina o computadora sea capaz de adquirir las características antes mencionadas por medio de técnicas implementadas en algoritmos básicos y avanzados (Acharya y Ray, 2005).

Analizar y procesar una imagen tiene diferentes significados pero trabaja en conjunto para lograr un objetivo, al analizar una imagen se obtiene información contenida dentro de la misma y es de tipo cuantitativa mientras que procesar una imagen es manipular su estructura interna para obtener

generalmente otra imagen o parte de ella resaltando características de interés para una aplicación específica como se puede observar en la Figura 11.

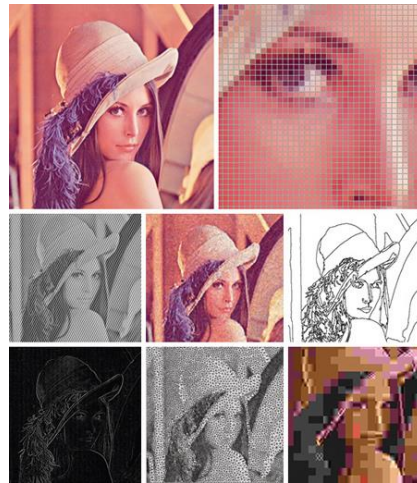


Figura 11. *Procesamiento de imagen con diferentes técnicas*

Fuente: (J. Hutchinson, 2011)

Una imagen puede ser interpretada como una función de dos dimensiones, si se trata de una imagen en escala de grises, o de tres dimensiones si es de tipo RGB (Red, Green and Blue), con un número finito de datos con una localización y valor específico. Al digitalizar una imagen se obtiene siempre una matriz de dos dimensiones ($M \times N$), esta representa cada elemento o pixel que conforman la imagen:

$$f(x, y) = \begin{pmatrix} f(0,0) & \dots & f(0, N - 1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ f(M - 1, 0) & \dots & f(M - 1, N - 1) \end{pmatrix} \quad (1)$$

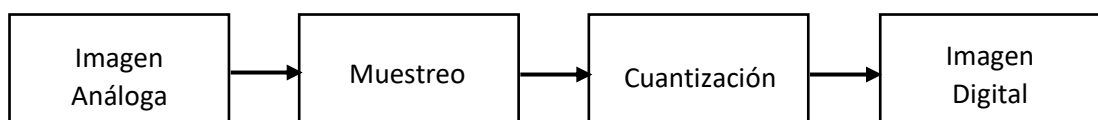


Figura 12. *Imagen digital a partir de una imagen analógica*

En la Figura 12 se muestra un diagrama de bloques básico para convertir una imagen analógica en una imagen digital mediante procesamiento de

imágenes. Es importante resaltar que una computadora puede abarcar casi todo el espectro electromagnético cuando se trata de procesar imágenes, mientras que el ojo humano es muy limitado; por lo tanto, el procesamiento digital de imágenes tiene un amplio campo de aplicación incluso con información de imágenes que el ser humano no es capaz de percibir (Gonzales y Woods, 2002). Según Acharya y Ray (2005), las principales aplicaciones que pueden desarrollarse mediante el análisis y procesamiento de imágenes son:

- Sistemas automáticos de inspección visual
- Interpretación remota de detección de escenas
- Técnicas de imágenes biomédicas
- Vigilancia de seguridad
- Recuperación de imágenes basada en su contenido
- Seguimiento de objetos en movimiento
- Compresión de imagen y video

2.2.9. Software de desarrollo de sistemas NI LabVIEW

LabVIEW es un potente entorno de programación grafica que está enfocado principalmente al área de ingeniería para resolver problemas de forma óptima y en menor tiempo comparado con los lenguajes de programación tradicionales que requieren de una sintaxis y estructura específica. Con este software de desarrollo se implementa sistemas de medición y control gracias a su adaptabilidad con todo tipo de tecnología, es decir, se puede implementar hardware de casi cualquier tipo en un programa que ha sido creado en LabVIEW permitiendo su interacción con sistemas externos o de otros fabricantes (National Instruments, 2016).

Las funciones de LabVIEW se centran principalmente en la medición, control y automatización, simplificando y acelerando procesos gracias a su lenguaje propio de programación que está basado en el flujo de datos (Lajara

y Pelegrí, 2011); la principal ventaja de este último es que la estructura de un programa elaborado en LabVIEW se asemeja al pensamiento humano por la forma de distribuir los bloques o funciones con entradas y salidas que hacen que este software sea lo suficientemente intuitivo y dinámico con el usuario, cabe recalcar que el usuario debe tener conocimientos suficientes para manejar correctamente cada uno de los procedimientos dentro del programa.

LabVIEW contiene un paquete o módulo de visión, el cual permite desarrollar algoritmos de adquisición y procesamiento de imágenes en tiempo real para cualquier aplicación de visión artificial que se desee realizar. El enfoque de este trabajo está en el reconocimiento de patrones, información de imágenes a color, movimiento y seguimiento de objetos, elaborando así un programa completo de procesamiento y análisis de imágenes para una aplicación específica.

2.2.10. Arduino

Arduino es una plataforma de hardware y software libre, enfocado a la educación, investigación y a profesionales, que diseñan prototipos de fácil utilización con un código propio basado en el lenguaje C/C++ y tiene un amplio campo de aplicaciones. Las ventajas de usar este hardware y software libre son su bajo costo, son de tipo multiplataforma, es decir, funciona en los sistemas operativos que existen en uso, Windows, OSX y Linux, el entorno de programación es intuitivo, el código fuente es libre para programadores con experiencia así como su diseño de hardware no se limita al fabricante sino que puede ser construido por cualquier persona para ahorrar costos y mejorar el diseño del mismo. En la Figura 13 se muestra la placa Arduino Mega 2560 que se basa en un microcontrolador. La placa tiene 54 entradas y salidas digitales, 16 entradas análogas, 4 puertos seriales, conexión USB y un puerto de poder (Arduino, 2016); por lo tanto se pueden realizar proyectos y aplicaciones de tamaño considerable y excelente rendimiento.



Figura 13. Placa Arduino Mega 2560

Fuente: (Arduino, 2014)

2.2.11. Redes neuronales artificiales en Matlab

Las neuronas artificiales se asemejan a las neuronas del cerebro humano debido a su capacidad de aprendizaje y almacenamiento de conocimiento para realizar procedimientos automáticamente cuando estos se requieran. Las redes neuronales artificiales son redes que tienen una organización jerárquica y son conectadas paralelamente con el objeto de captar los elementos del mundo real como lo hace un cerebro humano (Aldabas, 2002).

Las redes neuronales artificiales tienen dos partes fundamentales, la arquitectura y el aprendizaje. Dentro de la primera se definen las capas que son la disposición de las neuronas dentro de la red, básicamente estas se derivan en capa de entrada, capa oculta y capa de salida. En la capa de entrada se encuentran todas las entradas del mundo real que serán ingresadas para iniciar la red artificial; la capa o capas ocultas son las que realizan el aprendizaje y todo el proceso necesario para obtener las salidas que sean requeridas, las neuronas de entrada se interconectan entre sí, la multiplicación entre estas conexiones se denominan pesos los cuales al sumarse y pasar por una función de transferencia dan como resultado una

decisión la cual es transmitida a la capa final que es la salida de la red como se observa en la Figura 14 (Mathworks, 2016).

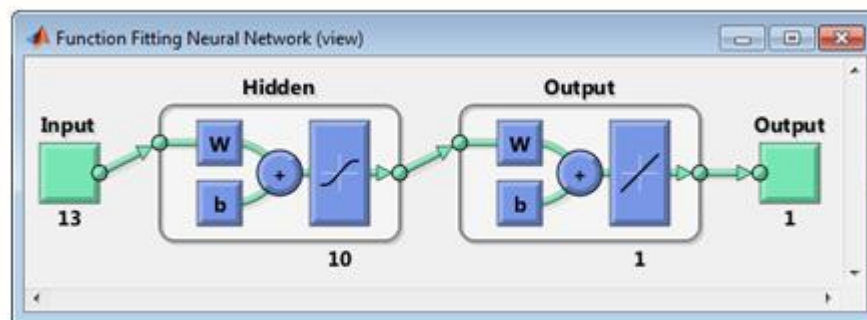


Figura 14. Red Neuronal en Matlab

Existe una infinita variedad de aplicaciones para las redes neuronales, esto se debe a que el campo de aplicación no es específico, puede ir desde el área de ingeniería hasta las finanzas, medicina, procesos simples y complejos que son utilizados en todo el mundo a diario y que mediante esta tecnología, que está involucrándose con fuerza en los últimos tiempos, pueden realizarse procesos que sean automáticos y mucho más eficaces que los tradicionales.

El software Matlab consta de un paquete llamado Neural Network Toolbox ofrece a los usuarios varias funciones y algoritmos de aprendizaje para obtener modelos de sistemas complejos. Mathworks (2016) especifica tres tipos de aprendizaje en las redes neuronales artificiales:

- Supervisado, en este aprendizaje se realiza varias iteraciones de los datos de entrada y salida para ajustar los pesos hasta tener los resultados esperados.
- No supervisado, únicamente se montan datos de entrada que necesitan de una función de coste minimizada para obtener una salida.
- Reforzado, los datos entregados a la red son mínimos, por lo que esta debe indicar únicamente si la respuesta es correcta o errónea.

2.2.12. Toolkit LINX de LabVIEW MakerHub

El Toolkit LINX de LabVIEW elaborado por MakerHub permite simplificar la conexión entre plataformas embebidas tradicionales como chipKIT, Arduino y NI myRIO, así como sensores de uso común en circuiterías de procesos simples y complejos. Mediante este software se pueden realizar controles y adquisición de datos para analizarlos en LabVIEW usando las bibliotecas integradas disponibles y así desarrollar algoritmos para la resolución de problemas con dicho software y hardware (MakerHub, 2016) Figura 15.



Figura 15. Toolkit LINX para LabVIEW de MakerHub

Según MakerHub (2016), la implementación de este toolkit ayuda a la rápida transferencia de información desde un dispositivo que puede ser embebido a LabVIEW sin realizar cambios en la comunicación. Basta con usar las opciones básicas Open, Read/Write, Close en LabVIEW para tener acceso a los diferentes tipos de señales ya sean digitales, analógicas, PWM, I2C y SPI o usar VIs de mayor nivel para controlar actuadores o sensores directamente con algoritmos predeterminados. La mayor ventaja de LINX es que es de fuente abierta, lo que permite acceder al código fuente y ver el funcionamiento de LINX profundamente e incluso contribuir con el fabricante con modificaciones a la herramienta.

CAPÍTULO III

3. DESARROLLO DEL SISTEMA

3.1. Introducción

El presente capítulo especifica de manera técnica y sustentada el proceso de desarrollo y construcción del prototipo de sistema de calibración automática para medidores residenciales de agua. El proceso inicia con la estructuración de la planta mediante la revisión e implementación minuciosa de los diagramas de bloques, flujo y P&ID que caracterizan al presente proceso siguiendo las especificaciones y requisitos necesarios para la implementación un sistema con visión artificial y procesamiento de imágenes.

Los sistemas de calibración por visión artificial necesitan el desarrollo de algoritmos matemáticos y computacionales que permiten alcanzar las especificaciones deseadas; razón por la cual el presente capítulo presenta de manera detallada el algoritmo de la red neural diseñada para la detección del medidor para posteriormente obtener las medidas del rotámetro y medidor de agua, sus algoritmos se especifican en las siguientes secciones. Finalmente se implementa el algoritmo de control encargado de compensar o disminuir el flujo transitorio del medidor en función al cálculo del error obtenido.

3.2. Especificación de requisitos del sistema

El sistema de calibración de medidores de agua residenciales posee un tanque de material plástico de aproximadamente 10 galones de capacidad, una bomba centrífuga PEDROLLO PKm 60-MD de $\frac{1}{2}$ Hp, una llave manual de tipo compuerta accionada por un servomotor utilizada para cambiar el flujo que pasa por el sistema, un rotámetro vertical de una escala de 4-40 Litros

por Minuto (LPM) y 1-10 Galones por Minuto (GPM) y el material de la tubería es PVC de una medida de $\frac{3}{4}$ de pulgada sin reducciones o aumentos.

Para obtener los datos de flujo se utilizan dos cámaras tanto para el rotámetro antes mencionado como instrumento patrón referencial como para el medidor de agua residencial respectivamente. La parte de control está centralizada y programada en LabVIEW en una laptop con procesador i7 de tercera generación 3630QM 2.40GHz, 16 GB en memoria RAM, 1 TB de disco duro y tarjeta gráfica Intel HD Graphics 4000; aquí se realiza la medición automática del caudal en ambos instrumentos por medio de las cámaras instaladas en el sistema y también se encarga de la acción de ajuste correspondiente si esta es requerida a través del servomecanismo adaptado al regulador del medidor de agua residencial.

Para una presentación y análisis adecuado del sistema en funcionamiento se hace necesaria la interacción mediante una interfaz humano-máquina (HMI) la cual permite observar la medida en tiempo real del rotámetro y del medidor de agua residencial así como el error de medida entre estos instrumentos, es decir, se presenta todo el proceso de forma que el usuario pueda supervisar todas las etapas del mismo y generar un registro en una tabla dentro de la interfaz y en Excel para su posterior análisis. El sistema está programado para realizar la acción de ajuste de forma automática para que el medidor residencial tenga un error mínimo dentro de los rangos aceptables. Los valores de medición y calibración son variables gracias a la acción de la llave de tipo compuerta accionada de forma automática, esta controla la cantidad de flujo que pasa por la tubería, teniendo así la capacidad realizar pruebas con diferentes valores de caudal y lograr una calibración más eficiente.

3.3. Diagrama de bloques

El diagrama de bloques mostrado en la Figura 16 representa los mecanismos del sistema necesarios para su implementación, funcionamiento y control. El sistema describe un proceso en lazo cerrado encargado principalmente de una red de succión continua de flujo variable controlado por una bomba y una válvula de compuerta automática; el caudal variable transita por el medidor de agua como elemento a calibrar y un rotámetro utilizado como instrumento patrón. La medición del flujo de agua que circula por cada uno de los dispositivos se realiza mediante visión artificial y procesamiento de imágenes, la lectura se efectúa mediante cámaras de uso casero. Finalmente, los datos adquiridos entran en un computador para ser procesados de manera lógica y en función al error calculado efectuar una acción de control mediante un servomecanismo; todos los datos representativos del proceso son representados en un HMI.

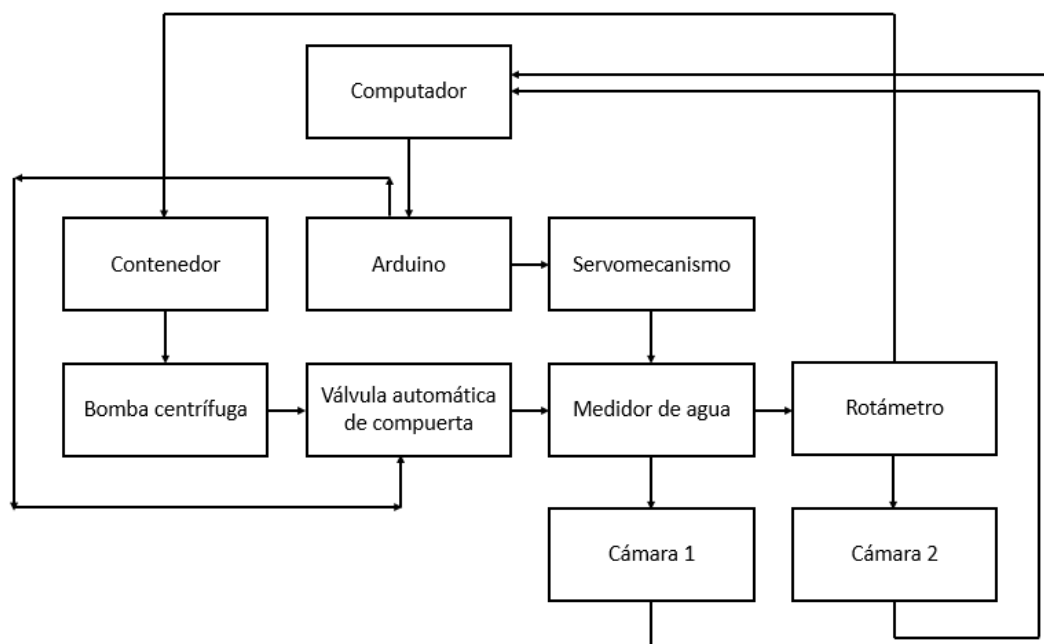


Figura 16. Diagrama de bloques del sistema

- **Contenedor:** De tipo plástico, almacena el agua para que la bomba pueda trabajar como un elemento de impulsión continuo.
- **Bomba centrífuga:** Encargada de la impulsión del agua, su accionamiento es a través de 110V y su velocidad es constante; es el principal elemento de proveer el flujo de agua dentro del sistema de calibración para emitir funcionamiento en el medidor de agua y el rotámetro.
- **Válvula de compuerta automática:** Regula el caudal en un rango de 4 a 36 litros por minuto, su variación se realiza mediante un servomotor adaptado a la misma y permite la operación del sistema a diferente caudal con el fin de obtener la calibración y ajuste requeridos con mayor precisión.
- **Medidor de agua.** Es el elemento esencial dentro del sistema, es de tipo residencial por tal razón es el elemento a calibrar; encargado de medir el flujo de agua que transita en litros por minuto, cuenta con una precisión de 3 dígitos decimales; además cuenta con un lector de flujo operante.
- **Rotámetro:** Es el elemento patrón del sistema de calibración, encargado de medir el flujo de agua total del proceso en litros por minuto. Es de vidrio templado y su tipo de flotador es cilíndrico con borde plano empleado para caudales medios con viscosidad moderada, para el presente caso solo se emplea en medición de flujo de agua con caudales de 2 a 40 litros por minuto.
- **Cámara 1:** Encargada de capturar imágenes sucesivas de las agujas rotoras del medidor para realizar la medición del flujo que circula por el medidor de agua.

- **Cámara 2:** Captura imágenes sucesivas de la posición del flotador del rotámetro para realizar la medición del flujo que circula por el dispositivo patrón del sistema

- **Computador:** Recibe las imágenes sucesivas de las cámaras 1 y 2 respectivamente para en su interior ejecutar los algoritmos de redes neuronales y procesamiento de imágenes según los datos obtenidos, calcula un error para generar la acción de control para el ajuste del medidor de agua.

- **Arduino.** Comunica el computador con el servomecanismo para ejercer la acción de control. Además, se encarga de la conexión entre el computador y el servomotor para la variación de flujo de agua por medio de la válvula automática de compuerta.

- **Servomecanismo:** Ejecuta la acción de control emitida por los algoritmos lógicos del computador, por este medio se regula el controlador de flujo del medidor de agua la cual puede compensarse o eliminarse en función al error y la acción de control.

3.4. Diagrama esquemático

En la Figura 17, se muestra el diagrama esquemático del sistema de calibración diseñado según los requerimientos.

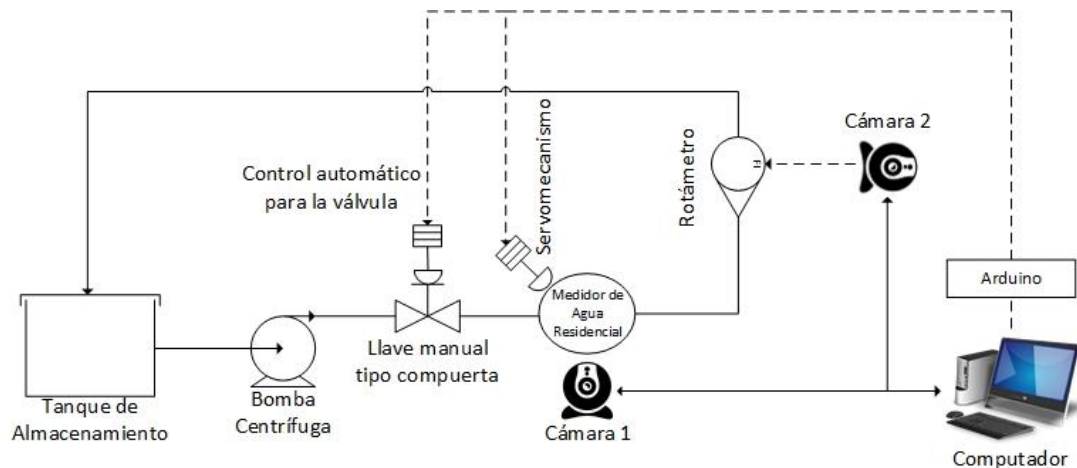


Figura 17. Diagrama esquemático del sistema de calibración

- **Tanque:** el sistema consta de un tanque de almacenamiento de agua de forma rectangular de 10 galones, el mismo es el inicio y fin del sistema, es decir, es retroalimentado.
- **Bomba Centrífuga:** la bomba es tipo monofásica de $\frac{1}{2}$ hp de potencia, impulsa el agua a través del sistema con un caudal máximo de 40 LPM.
- **Llave manual:** es de tipo compuerta para tener una variación estable del flujo de agua, esto permite un buen control sobre el mismo.
- **Control automático para la válvula:** se encarga de ajustar la llave manual automáticamente a través del HMI diseñado según se requiera.
- **Medidor de agua residencial:** es el instrumento sometido a pruebas de medición para su respectiva calibración y ajuste.

- **Servomecanismo:** se encarga de mover automáticamente el tornillo regulador del medidor residencial para corregir el error en su lectura.
- **Rotámetro:** tiene dos escalas graduadas en GPM y LPM, su objetivo es mostrar el flujo de agua de forma física que pasa por la tubería.
- **Cámaras:** toman la lectura de los instrumentos individualmente en el sistema.
- **Laptop:** en el computador se encuentra toda la adquisición y procesamiento necesario para calcular el error en la lectura del medidor de agua residencial y generar la orden de ajuste a través del servomecanismo en tiempo real.

3.5. Diagrama de flujo del sistema

La Figura 18, muestra detalladamente el esquema de flujo del sistema de calibración automático en donde se representa el flujo del proceso.

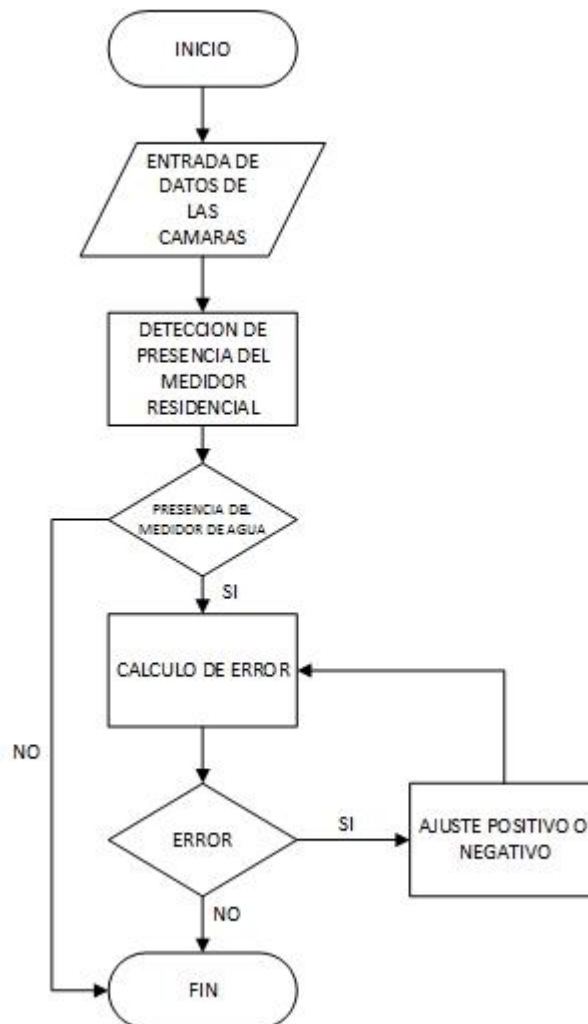


Figura 18. Diagrama de flujo del sistema de calibración

3.6. Diagrama de flujo del HMI

La Figura 19, indica las operaciones que se ejecutan en el software de calibración en LabVIEW.

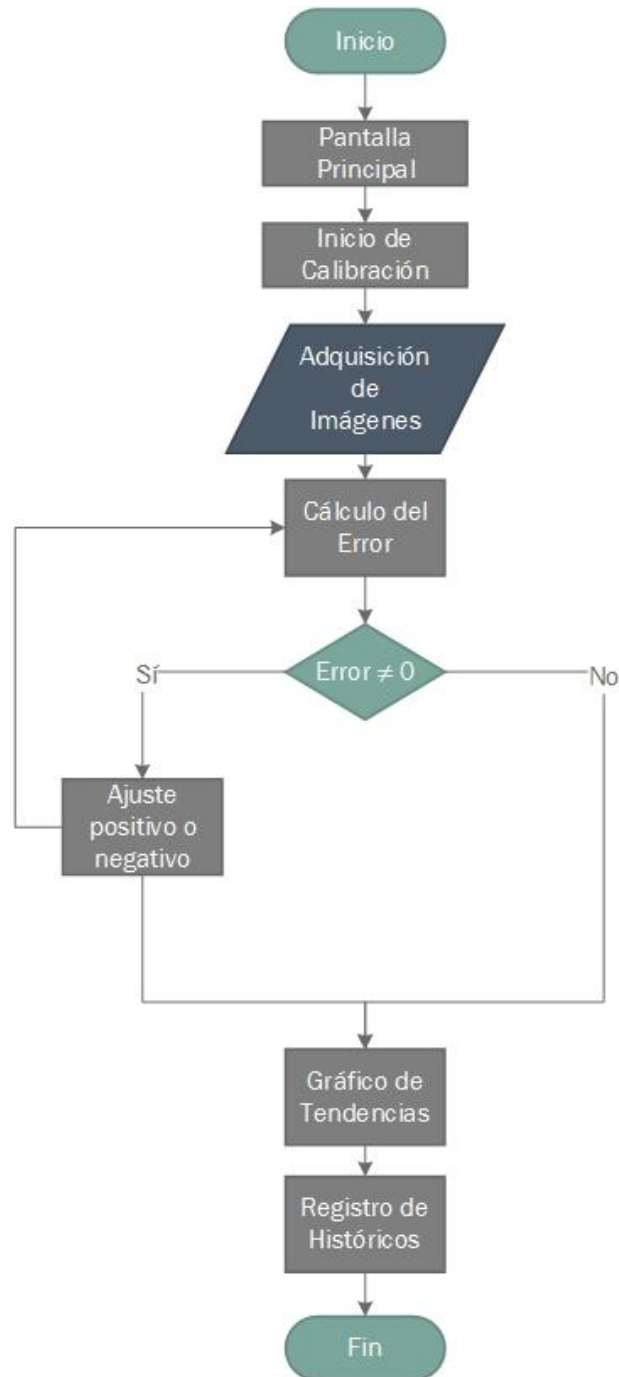


Figura 19. Diagrama de flujo del HMI

3.7. Diagrama de conexión de los servomecanismos

En la Figura 20 se presenta el diagrama de conexión del servomecanismo, tanto del ajuste del medidor de agua como de la llave de agua, al controlador Arduino UNO a través de los terminales de voltaje y de señal PWM.

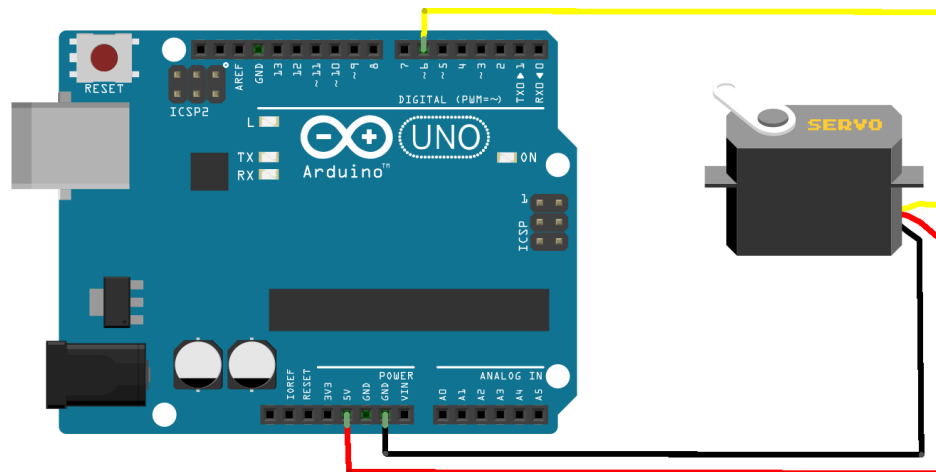


Figura 20. Diagrama de conexión del servomecanismo al controlador

La conexión del servomotor para el control de accionamiento de la válvula automática de compuerta es de manera similar a la efectuada por el servomecanismo adaptado al medidor y descrita en el Figura 20; para el caso del servomotor el único cambio esencial es el puerto de comunicación Arduino-Servomotor que se conecta a la salida digital por PWM número 5; las polarizaciones se mantienen idénticas a lo descrito en la figura anterior.

3.8. Red neuronal para reconocimiento del medidor

El sistema de calibración consta de un reconocimiento del medidor para identificar si este se encuentra instalado o no y poder realizar las calibraciones en función de su existencia. La implementación de la red neuronal necesita de

dos programas que permiten obtener los resultados esperados, LabVIEW es el encargado de obtener las matrices características de la imagen de entrada y la imagen patrón para el entrenamiento de la red neuronal; LabVIEW entrega las matrices a MATLAB el cual realiza el entrenamiento de la red neural y arroja un booleano de salida el cual expresa si el medidor se encuentra o no instalado y si la calibración es o no factible.

La estructuración de la red neuronal consta de diferentes etapas para su consecución desde la obtención de las matrices características del medidor, en entrenamiento de la red y finalmente la obtención del resultado final.

3.8.1. Obtención de las matrices características.

Matlab es un software que opera directamente con matrices en su entorno de programación, por esta razón se crea un algoritmo el cual extrae cada una de las matrices necesarias para la red neuronal mediante LabVIEW. El proceso de extracción de matrices se fundamenta en la matriz patrón del medidor y la matriz de la imagen de entrada. Las imágenes patrón e imagen proveniente de la cámara en tiempo real son imágenes a color, en las cuales principalmente se realiza el procesamiento para obtener la imagen equivalente en blanco y negro respectivamente; el primer paso para adquirir el Array característico de la imagen de entrada y de la imagen patrón es la transformación directa de una imagen a un Array de la dimensión de la imagen. La Figura 21 presenta los bloques utilizados para la obtención del Array de valores RGB de la imagen de entrada y la imagen patrón.



Figura 21. Bloques para la obtención de la matriz RGB y de entrada

Los Arrays obtenidos presentan valores de 0 a 255 característicos de una imagen a color pixel por pixel, el Array de la imagen patrón es constante en sus valores debido a que la imagen es de tipo estática y servirá para el entrenamiento de la red; el Array de la imagen de entrada obtenida por la cámara 1 es de tipo variable ya que en esta cámara se divide el entorno para ser comparado con la imagen patrón y ver la existencia del medidor de agua. Las matrices obtenidas son de una dimensión de 288 por 352 píxeles, por esta razón los arreglos obtenidos son de la misma dirección que la imagen de origen. La Figura 22.a presenta una sección del Array de la imagen de entrada, mientras que la Figura 22.b representa una parte de la matriz de la imagen patrón.

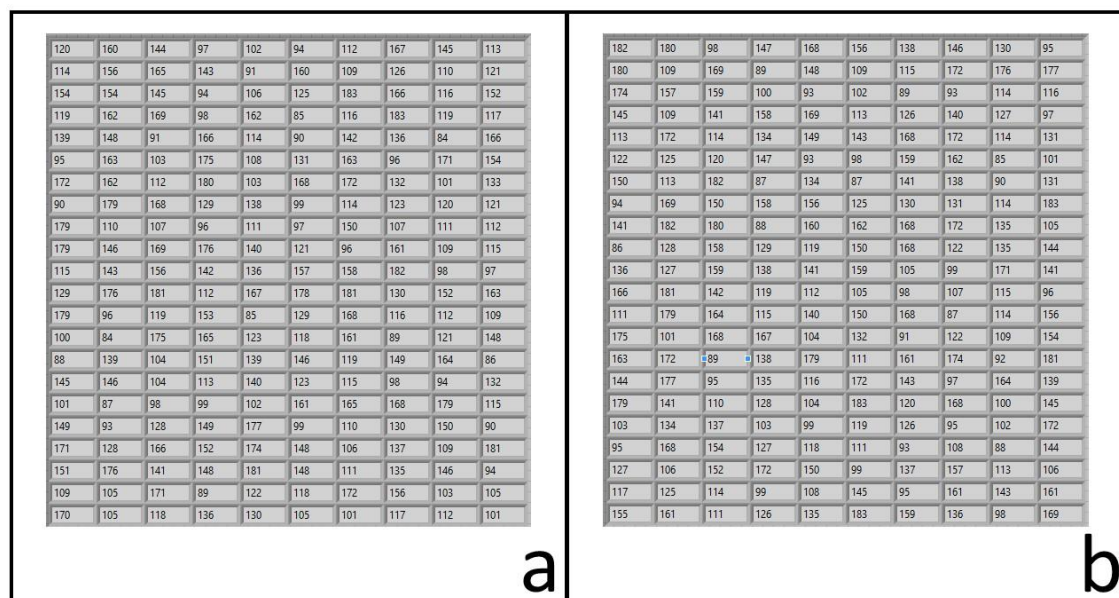


Figura 22. Matrices en el plano RGB de entrada (a) y el patrón (b)

Una vez obtenidas las matrices en el plano RGB, como se describe en las secciones anteriores, el siguiente paso es la binarización de cada una de las matrices con el fin que la red neuronal pueda trabajar con valores comprendidos entre 0 y 1, este método permite disminuir de manera significativa el tiempo computacional que denota el entrenamiento de una red así como su respuesta de salida; la binarización se realiza mediante comparación de cada uno de los elementos de las matrices para obtener su

valor característico en el plano de los contrastes de blanco y negro. La Figura 23 presenta el diagrama de bloques empleado para la comparación de los elementos de la matriz para la formación de la matriz de plano blanco y negro de binarización.

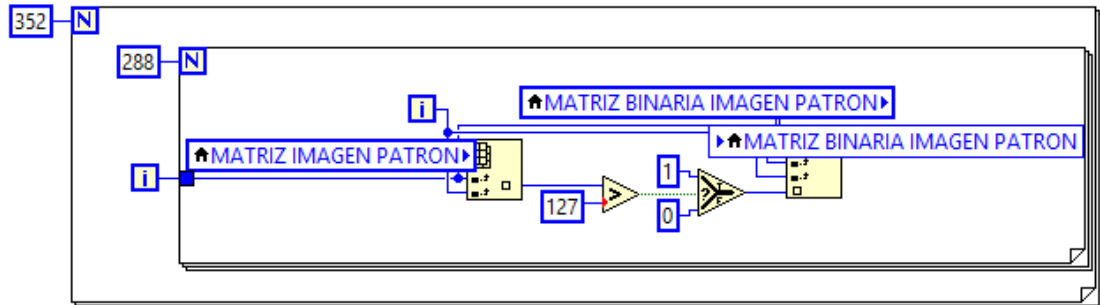


Figura 23. Binarización de las matrices RGB

Finalmente, la matriz binarizada se reduce a un plano de 100 por 100 píxeles seleccionando su plano más representativo con el fin de eliminar drásticamente el tiempo computacional del entrenamiento de la red neuronal sin perder las características de procesamiento y eficacia del sistema deseado. La Figura 24 presenta un extracto de las matrices (a) de entrada y (b) de patrón de los arreglos finales de elementos de 100 por 100 píxeles binarizados.

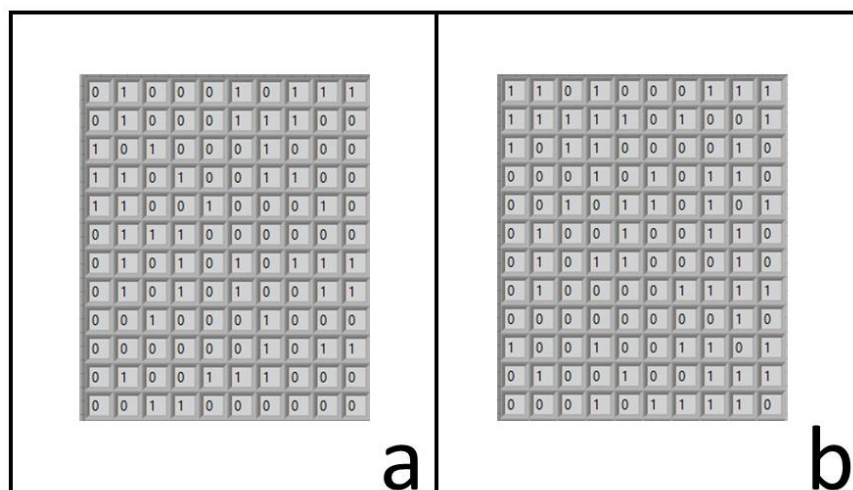


Figura 24. Extracto de matrices binarizadas (a) entrada y (b) patrón

3.8.2. Diseño de la red neuronal

Una vez obtenidas las matrices desarrolladas en secciones anteriores y descritas como resultado final en la Figura 24 se procede al diseño de la red neuronal para el reconocimiento del medidor de agua, MATLAB es el software encargado del diseño e implementación de la red con las matrices de entrada obtenidas en LabVIEW. La conexión entre LabVIEW y MATLAB se desarrolla mediante la ejecución de código C en LabVIEW con la utilización de MATLAB script como se presenta en la Figura 25.

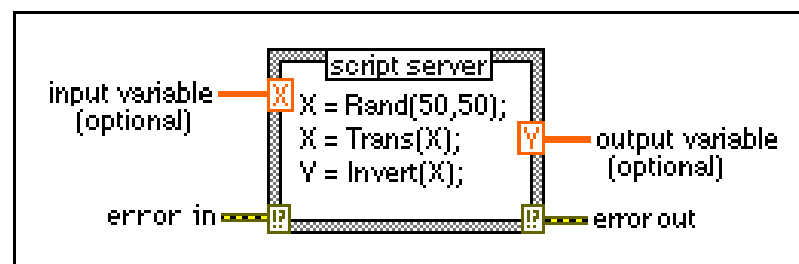


Figura 25. MATLAB script para ejecución de código C en LabVIEW

MATLAB script es un bloque para la ejecución de comandos secuenciales de MATLAB en el entorno de programación de LabVIEW, se ejecuta en los computadores con versiones de MATLAB 6.5 o superiores ya que ejecuta códigos de nodos y secuencias que invocan a lenguajes C y tecnologías ActiveX disponibles en las plataformas de Windows; admite entradas y salidas de datos de las mismas características y tipos que los de MATLAB en su plataforma tradicional, su ejecución y desempeño de tareas está ligado directamente al tipo de procesador en el cual se emplee y los tiempos de retardos administrados por el programador en el diagrama de bloques de LabVIEW, es una herramienta de gran utilidad ya que su manejo de datos por DLL es de alta velocidad con prestaciones de manejo de ficheros en tiempo real.

La red neuronal consta de dos entradas: La primera entrada es la matriz de la imagen patrón del medidor la cual se utiliza como base de comparación para rastreo de su existencia, la segunda entrada es la matriz binaria adquirida y procesada por la cámara 1 la cual expresa valores variables dentro de la matriz por tomar valores en tipo real; la red consta de una sola salida de tipo booleano la cual arroja el valor de verdadero en caso de existir el medidor de agua o falso en caso contrario.

La red neuronal implementada en MATLAB script consta del siguiente código como lo presenta la Figura 26.

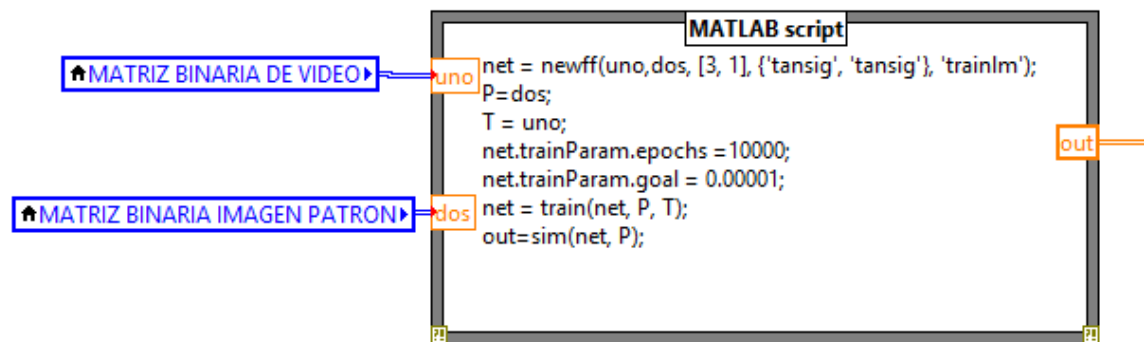


Figura 26. Programación de la red neuronal en MATLAB script.

3.8.3. Estructura y funcionamiento de la red neuronal.

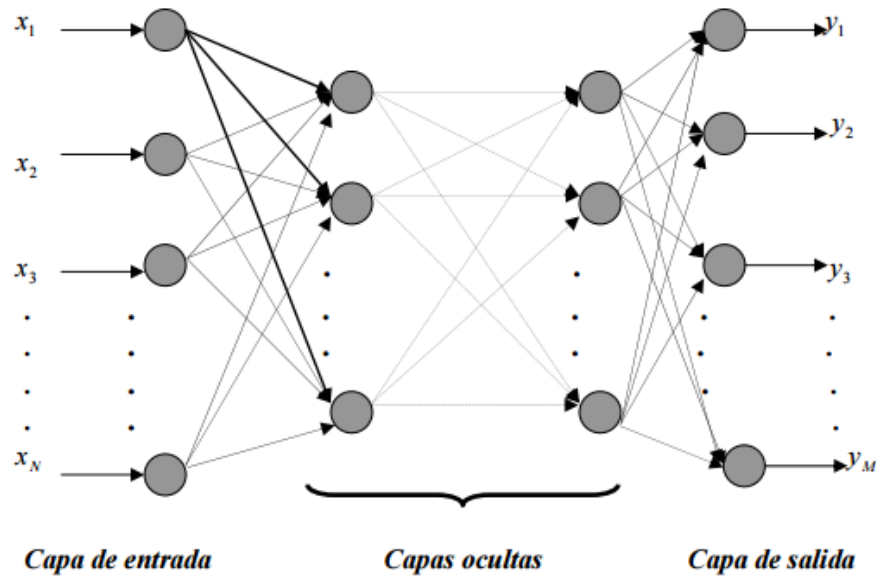


Figura 27. Topología de un perceptrón multicapa

La red consta de un diseño de tipo perceptrón multicapa el cual consta de 1 capa de entrada, 1 capa de salida y 1 capa oculta como se presenta en la Figura 27; el sistemas multicapa en las redes neuronales elimina el tiempo computacional, de reacción y procesamiento de la red de manera considerable lo cual permite obtener datos mucho más rápidos con diseños mucho más sencillos analizando de manera más rápida la proyección de los patrones de entrada asignados para una salida deseada, de esta manera esta topología cumple la misma finalidad de una red con una solo capa oculta de un gran número de neuronas.

El funcionamiento se enfoca en una matriz binaria de entrada a la red, dicha matriz se la toma como matriz patrón para el reconocimiento del rotámetro; seguidamente la red toma como dato la matriz binaria proveniente de la cámara la cual es de tipo variable y está en contacto con el entorno del medidor, la red al obtener las dos matrices empieza a entrenarse de manera sucesiva por medio de comparaciones en cada uno de los elementos de las matrices, la red actúa de manera similar a la lógica XOR entre cada uno de

los elementos, es decir, compara cada elemento de la matriz generando valores de 0 si son iguales o 1 si estos son contrarios.

Esta forma de operación y comparación permite que se contrasten dos patrones de matrices diferentes, si la imagen de entrada es igual a la imagen patrón entonces el medidor está presente; el algoritmo de la red neuronal ejecuta esta lógica de manera matricial: Si la matriz binaria de entrada es igual a la matriz binaria de patrón entonces todos los elementos de la matriz son 0 (por la lógica XOR); por principios básicos una red neuronal nunca emite valores de 0 y 1 exactos, por lo cual la red neuronal en el caso de ser 0 o 1 por la lógica XOR escribe valores de 0.1 o 0.9 respectivamente cumpliendo la función de tipo sigmoidea como función característica de salida. Como método final la red ejecuta un comando final de análisis del determinante de la matriz resultante en la cual en caso de ser el determinante un valor comprendido entre 0.1 a 0.3 el medidor se encuentra instalado, caso contrario no existe el medidor de agua.

El uso de la red neuronal para el presente caso es necesario e imprescindible, no se puede realizar una comparación directa de dos matrices binarias por el método XOR convencional de lógica digital debido a que en caso de ser las matrices iguales todos sus elementos sería un 0 lógico teniendo como resultado una matriz nula en la cual no se puede analizar el determinante y por consiguiente no se puede obtener el valor verdadero de la existencia del medidor de agua dentro del rotámetro.

Al tener este tipo de topologías mucho más complejas, se complica el método de entrenamiento de la red así como el cálculo de los pesos sinápticos para su desarrollo lógico, al dar inicio al entrenamiento de la red MATLAB ejecuta directamente comando Neural Network Training el cual se encarga del entrenamiento, cálculo de pesos y diseño de la red neuronal de manera directa y con un bajo tiempo de procesamiento y ejecución. La Figura 28 presenta la ventana de entrenamiento de la red por medio de Neural Network Training que indica el progreso de entrenamiento de la red así como el diseño final de la misma, la presenta red neuronal consta esencialmente de: 1 capa de entrada, 1 capa de salida y 4 capas ocultas. Finalmente, y en función a las

características antes expuestas, la red arroja un valor de 0 en caso de no existir el medidor de agua o 1 en caso de estar instalado permitiendo continuar con el proceso de calibración deseado.

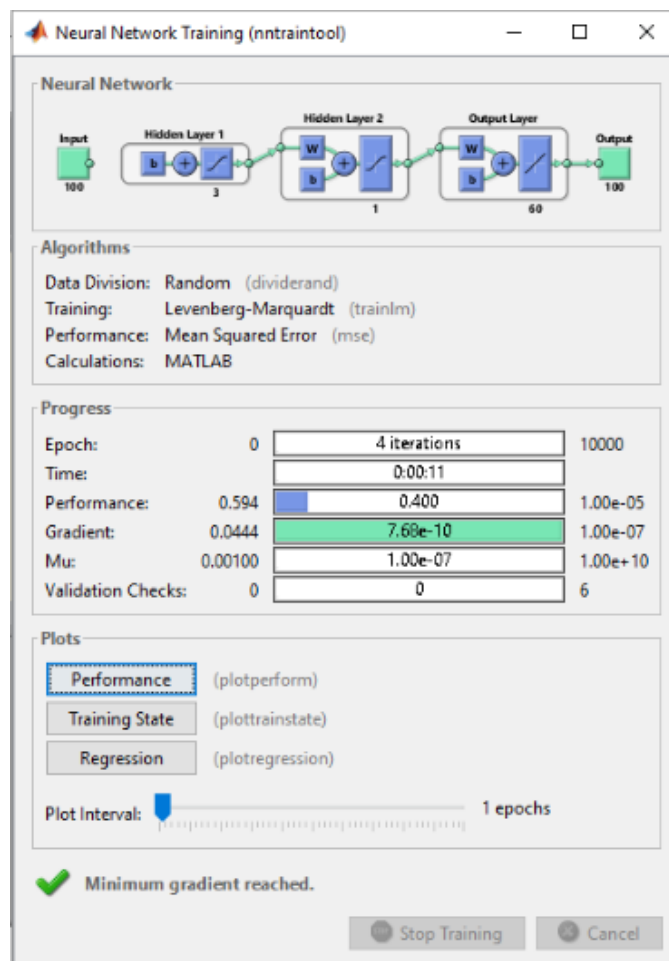


Figura 28. Diseño de la red neuronal y entrenamiento con cálculo de pesos

3.9. Reconocimiento de medidor de agua residencial

La lectura del medidor de agua residencial es tomada con una cámara conectada al computador mediante programación en LabVIEW, la primera etapa es reconocer la presencia del medidor que se explicó previamente en la sección anterior, cuando el sistema está funcionando se calcula en tiempo real el error entre los datos del instrumento patrón y el medidor para determinar si se necesita un ajuste positivo o negativo del caudal de agua que pasa por el mismo hasta que el error sea el mínimo aceptable para una lectura correcta.

La adquisición de datos a través de la cámara requiere abrir el puerto antes de iniciar el lazo de proceso repetitivo (while loop) para controlar sus prestaciones, en la Figura 29 se muestra el algoritmo inicial para la toma de datos.

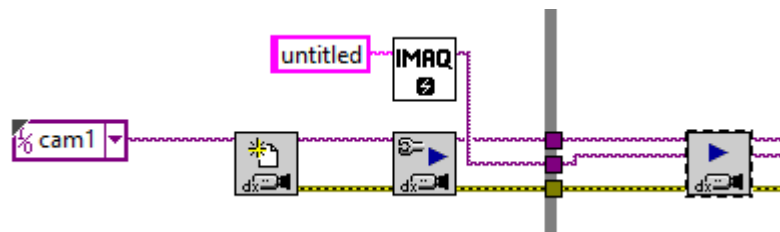


Figura 29. Algoritmo de adquisición de imágenes

Mediante el ícono de la Figura 30 se carga la configuración de la cámara y se crea una única referencia de la misma para usarla dentro del programa.

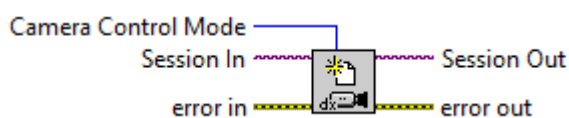


Figura 30. Función de configuración de cámara

La función mostrada en la Figura 31 configura e inicia una adquisición de video, este tipo de adquisición genera un bucle que almacena imágenes en un buffer continuamente. Este VI se utiliza principalmente cuando se necesita adquirir datos con una alta velocidad.



Figura 31. Función para adquirir video en LabVIEW

En la Figura 32 se describe una función que crea una ubicación de memoria temporal para una imagen. Esto permite que la imagen almacenada en el buffer se ubique temporalmente en una locación a la cual el programa principal accederá para procesar dicha imagen.

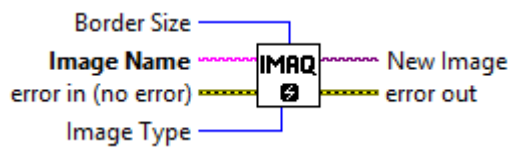


Figura 32. Función para abrir un buffer

Las funciones mencionadas anteriormente permiten iniciar la adquisición fuera del bucle repetitivo del programa principal, en su interior se requiere la función que se muestra en la Figura 33 para obtener la imagen de salida a partir del último frame creado, incluso si es que el formato del video no corresponde a uno compatible, esta función se encarga de transformarlo para que sea manejable por cualquier proceso dentro de LabVIEW.

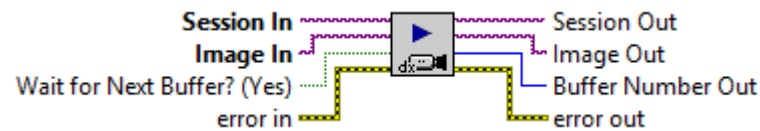


Figura 33. Función para obtener el último frame creado

El procesamiento de imágenes realizado se basa en la detección del borde circular del indicador de menor escala que es en litros en el medidor residencial que se aprecia en la Figura 34.

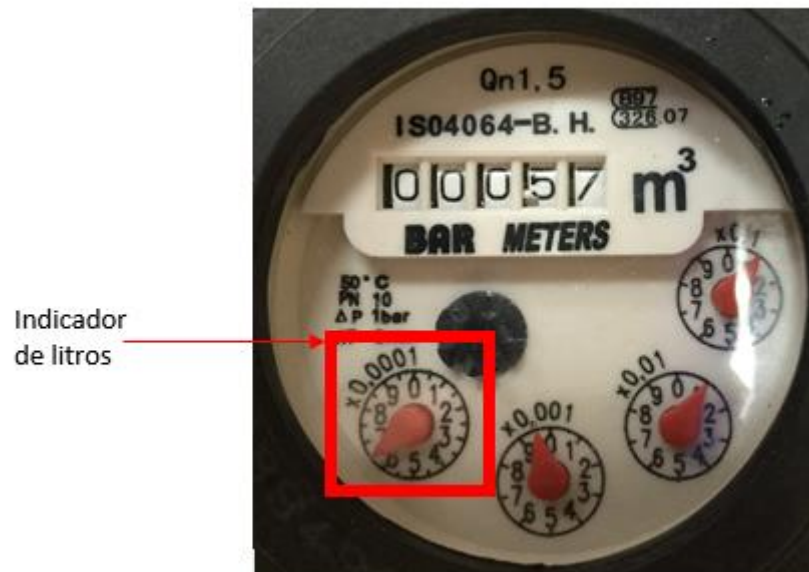


Figura 34. Indicador en litros del medidor de agua residencial

La región de interés se genera una vez que se haya iniciado el programa de calibración y reconocido el indicador de litros dentro del medidor residencial. El primer paso para el reconocimiento del borde circular del mencionado indicador es determinar manualmente el patrón que debe ser encontrado por el software creado a través de la herramienta de bordes circulares en la paleta de visión en LabVIEW como se observa en la Figura 35.

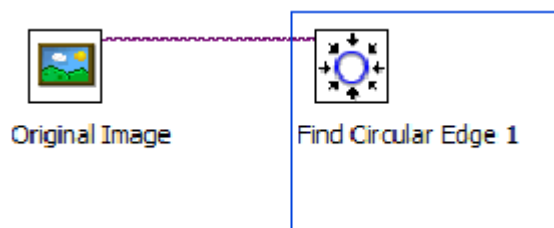


Figura 35. Función de visión para encontrar bordes circulares

En la Figura 36 se determina el área de búsqueda en donde se desea encontrar el borde circular que interesa al proceso. Este borde que se encuentra marcado con un círculo rojo, mediante un acondicionamiento y extracción de coordenadas permite dibujar una ROI de forma rectangular alrededor del número cero en donde se analizará el espectro de color únicamente en esta región, el cambio de valores generado en el espectro debido al paso de la plumilla es analizado en un vector de una dimensión, mediante esto se puede iniciar un algoritmo para medir el tiempo que tarda la plumilla del indicador de litros en dar una revolución, es decir, cada vez que el espectro de color experimente un cambio en su estructura dentro de la región de interés es porque la plumilla ha pasado por cero.

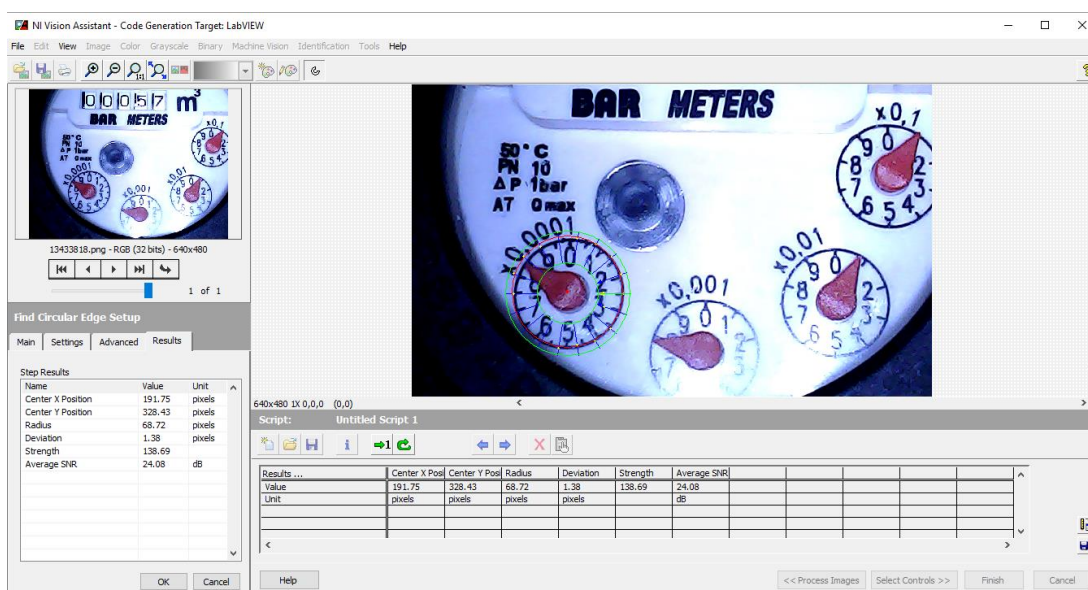


Figura 36. Interfaz del asistente de visión para procesamiento

Dentro de la función de detección de bordes se debe configurar el parámetro del valor mínimo de detección, es decir, cuando se establece el área de búsqueda en la imagen, el algoritmo genera resultados de los cuales un valor llamado “Strength” es el de mayor interés, estos resultados se observan en la Figura 37, el cual se tiene de referencia para evitar confusiones con otros bordes no deseados y así enfocar únicamente el área de interés, para este caso el algoritmo genera una Strength de 138.69, por lo tanto se debe determinar dicho parámetro dentro del rango entre 0 y el valor generado; para no discriminar totalmente el límite circular se realizaron pruebas con diferentes valores y el que presentó una gran estabilidad es 114 para el parámetro Strength que se aprecia en la Figura 38, dicha estabilidad es de gran importancia para el procesamiento posterior, que será descrito en los siguientes párrafos, para tener valores exactos sin alteraciones causadas por cambios de luminosidad o pequeñas desviaciones de posición.

Step Results		
Name	Value	Unit
Center X Position	191.75	pixels
Center Y Position	328.43	pixels
Radius	68.72	pixels
Deviation	1.38	pixels
Strength	138.69	
Average SNR	24.08	dB

Figura 37. Resultados del borde circular detectado

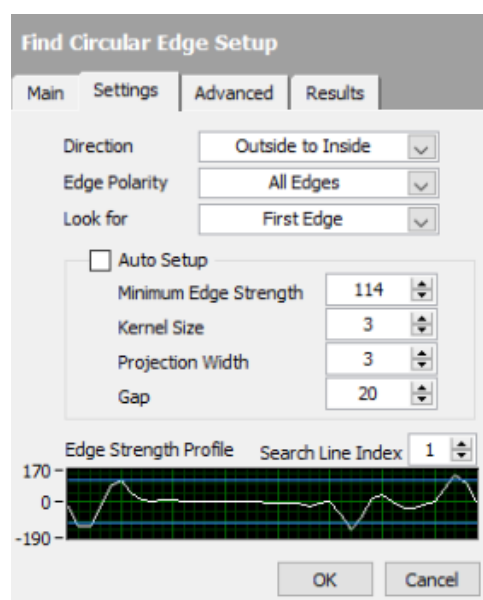


Figura 38. Configuración de parámetros de detección de bordes

Una vez determinada el área de búsqueda se indica el proceso para dibujar la región rectangular a partir del borde circular detectado como se muestra en la Figura 39. Se extrae las coordenadas del centro de dicho borde y mediante una descomposición de ejes se especifican los puntos en donde debe ser dibujada la ROI, estas nuevas posiciones se insertan dentro de las herramientas tanto de dibujo en el front panel y en el diagrama de bloques para ser usado en sus cálculos pertinentes del espectro.

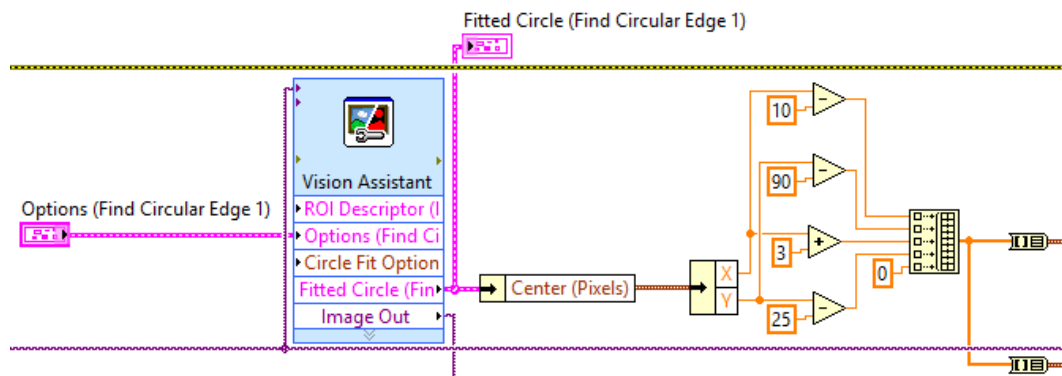


Figura 39. Generación del área de interés a partir del borde detectado

Este procesamiento depende de la capacidad y velocidad del computador con el que se trabaja para tener valores reales del sistema ininterrumpidos. Técnicamente este algoritmo indica que un litro de fluido ha sido sentido por el medidor y mediante un acondicionamiento se lo pasa a LPM que es el valor determinístico para el proceso. La región de interés generada por el algoritmo anterior se indica en la Figura 40.



Figura 40. Región de interés generada

El ROI especificado alrededor del número cero en el indicador es ingresado a la función 'Color Learn' el cual permite la extracción del espectro de color a partir de la región de interés, la imagen original y la sensibilidad de color que se requiere para los fines pertinentes; estos parámetros se observan en la Figura 41.

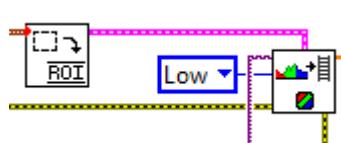


Figura 41. Función color learn

La función de la Figura 42, extrae ciertas características de una imagen, la cual puede ser utilizada para comparación de colores u otras aplicaciones relacionadas con la información del color, estas aplicaciones generalmente son identificación y segmentación de colores.

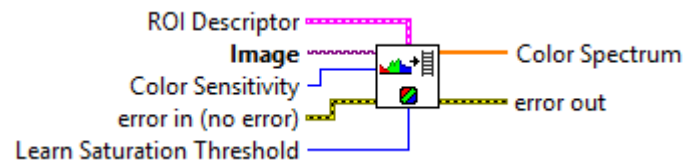


Figura 42. Extracción de las características de color de la imagen

El análisis del espectro de color antes descrito es el paso esencial para la detección posterior de la plumilla roja, en la Figura 43 se muestra el vector unidimensional el cual indica los valores de los colores presentes en el ROI graficado en el paso previo, las dos primeras posiciones corresponden al rango mínimo y máximo del color rojo presente en el área; mediante la función 'Index Array' se extraen los valores en ambas posiciones individualmente para verificar si los valores constan dentro de un rango entre 0.08 y 1.1 especificado por el programador para detectar el color requerido como se observa en la Figura 44, si el valor analizado está dentro del rango se envía una señal booleana de salida la cual será el inicio del algoritmo posterior.

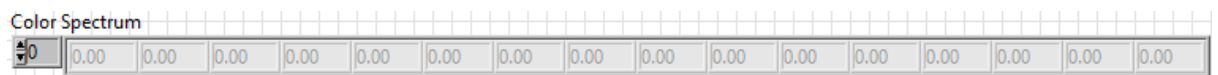


Figura 43. Vector unidimensional del espectro de colores

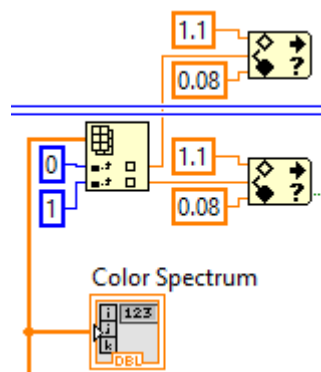


Figura 44. Comparación de rangos de color específicos

Cada vez que la plumilla del indicador pasa por cero la señal booleana envía un valor verdadero y el algoritmo de la Figura 45 empieza a correr, esto permite determinar el tiempo que se tarda en dar una vuelta completa, es decir, un litro de agua pasa por el medidor. El algoritmo consta de un cronometro interno programado para activarse con la detección del cruce por cero y mediante cálculos matemáticos con milisegundos se establece el tiempo exacto que se necesita para deducir los litros por minutos que están pasando por el medidor de agua residencial.

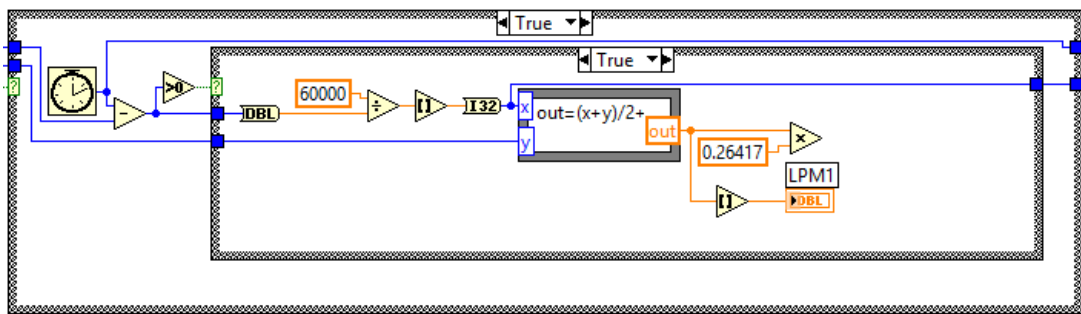


Figura 45. Algoritmo de medida de tiempo para el medidor de agua

3.10. Sistema de adquisición del rotámetro

El sistema de medida del rotámetro es un conjunto de software y hardware, la integración de cada uno de estos elementos permite un sistema de visión por computadora capaz de monitorear la posición del flotador con el objetivo de obtener la medición exacta emitida de manera física por el dispositivo patrón. La cámara es el elemento principal para el monitoreo de la medida del rotámetro, este dispositivo permite la captura sucesiva de imágenes las cuales al momento de ser procesadas permiten obtener la posición en la cual se encuentra ubicado el flotador y por su intermedio la medida.

El rotámetro cuenta con una cámara propia destinada a su adquisición de datos (cámara 2), la Figura 46 indica el diagrama de bloques encargado de la toma de imágenes por medio de la cámara, el programa contiene con un buffer encargado de almacenar las imágenes en tiempo sucesivo en tiempo real, esto permite generar un video continuo de varios cuadros de imágenes por segundo los cuales ingresan hacia el asistente Vision Assistant encargado del procesamiento y reconocimiento de patrones internos de las imágenes adquiridas.

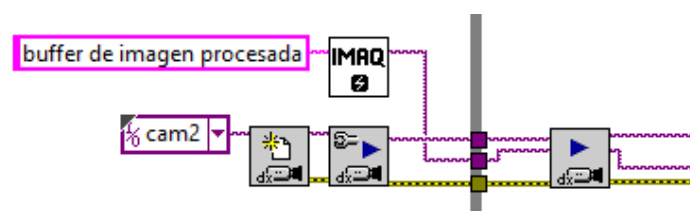


Figura 46. Bloques de adquisición de imágenes del rotámetro en tiempo real.

Las imágenes adquiridas entran directamente hacia Vision Assistant un bloque encargado de crear diferentes algoritmos de procesamiento de imágenes para sistemas de visión por computador, sus características son completas y permiten el manejo de contrastes en la imagen, fondos,

tonalidades, manejo de patrones, binarización, identificación. Las funciones principales para el manejo de sistemas de visión artificial en tiempo real se encuentran en Machine Vision un menú que obtiene diferentes componentes para el procesamiento de imagen por visión artificial. La Figura 47 presenta el bloque de Vision Assistant en Labview.

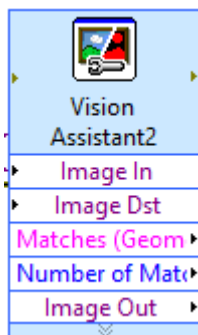


Figura 47. Bloque Vision Assistant en LabVIEW

Dentro de este bloque existen diferentes formas de tratamiento y procesamiento de imágenes para sistemas de visión por computador como se ha descrito en párrafos anteriores. La Figura 48 representa la composición interna de Vision Assistant en el cual se observa los diferentes entornos de visualización y procesamiento de imagen con el cual cuenta.

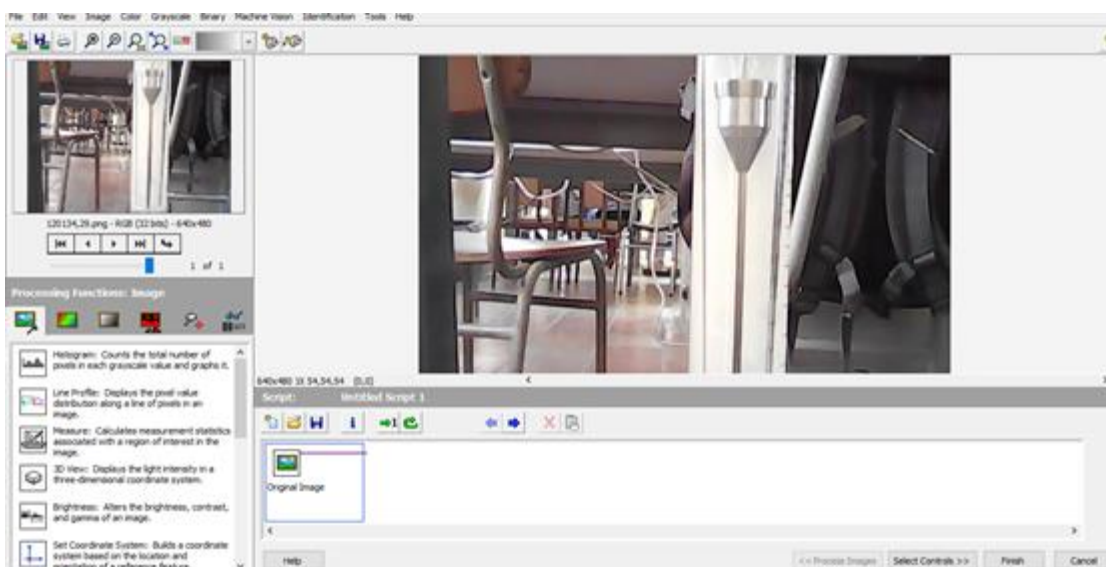


Figura 48. Interfaz del asistente de visión para el rotámetro

Dentro del algoritmo de reconocimiento del flotador del rotámetro se sigue el proceso que se explica en las secciones siguientes.

3.10.1. Extracción del plano HSI.

A la imagen original de entrada se extrae el plano HSI o denominado plano de intensidad, el plano HSI en el procesamiento de imagen y sistemas de visión por computador permite la conservación del brillo, saturación e intensidad de una imagen cambiada a blanco y negro, este plano corresponde al modelo más cercano de visualización que tiene el ser humano en la percepción de una imagen a color. La Figura 49.a representa la imagen de entrada con sus colores RGB, la Figura 49.b presenta la imagen en su plano HSI en el cual se presenta a blanco y negro con su saturación, brillo e intensidad correspondiente.

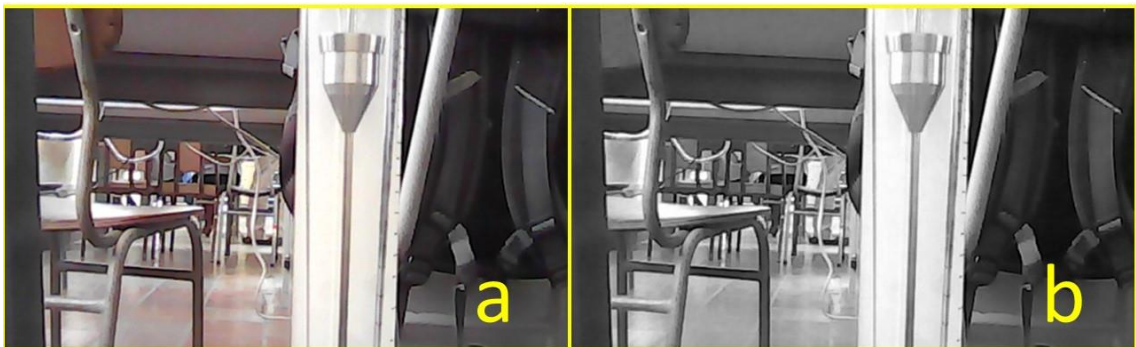


Figura 49. Imagen de entrada e imagen con el plano HSI

3.10.2. Creación del patrón para reconocimiento del flotador

LabVIEW ofrece distintas formas de reconocimiento de entornos geométricos, entre los sistemas más utilizados se encuentra el reconocimiento por patrón el cual se encarga esencialmente de la formulación de una matriz específica para una imagen u objeto deseado; esta matriz es comparada en nota la imagen hasta buscar el patrón o la matriz específica,

de esta manera el objeto es encontrado al ser localizada su matriz específica de color. La segunda forma es el reconocimiento geométrico, este método se encarga de la búsqueda de una figura previamente establecida por el programador; es el proceso más común utilizado en la industria y sistemas de producción en masa debido a que su forma nunca se altera.

El algoritmo presenta el desarrollo de un sistema de reconocimiento geométrico debido a la forma única e invariable del flotador del rotámetro, en el cual, sin importar el flujo que transite tendrá siempre su forma predefinida sin estar sujeto a deformación alguna. La Figura 50 presenta la ubicación de Geometric Matching dentro de Vision Assistant.

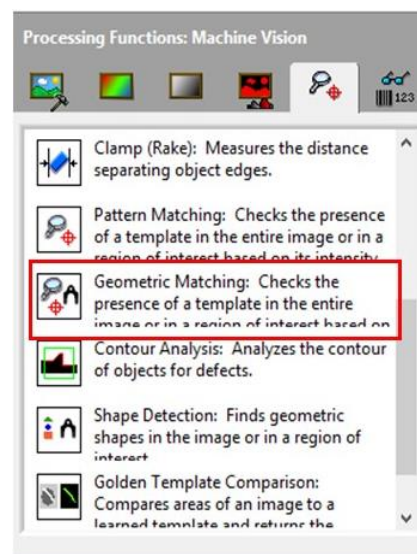


Figura 50. Ubicación de Geometric Matching en la paleta de Machine Vision

Geometric Matching trabaja por medio de template los cuales son los patrones geométricos a ser buscados por el algoritmo, se crea un template por cada uno de los patrones geométricos definidos; al crear el nuevo template se elige la figura a ser monitoreada y localizada. La Figura 51 describe la selección del nuevo template y la selección del flotador del rotámetro como figura geométrica a ser rastreada por el software, el contorno verde sobre el flotador indica los detalles relevantes de la figura tales como semiformas, cambios de tono, saturación y contraste; mientras mayor sea el detalle de la

figura seleccionada mayor será las líneas verdes que bordean el objeto seleccionado además de producir un rastreo mucho más detallado del objeto. Edge Threshold es un parámetro que nos permite controlar el nivel de detalle de rastreo de la imagen, es decir, controla la intensidad de las líneas verdes que bordean el objeto teniendo la capacidad de eliminar o añadir detalles al rastreo de la imagen.

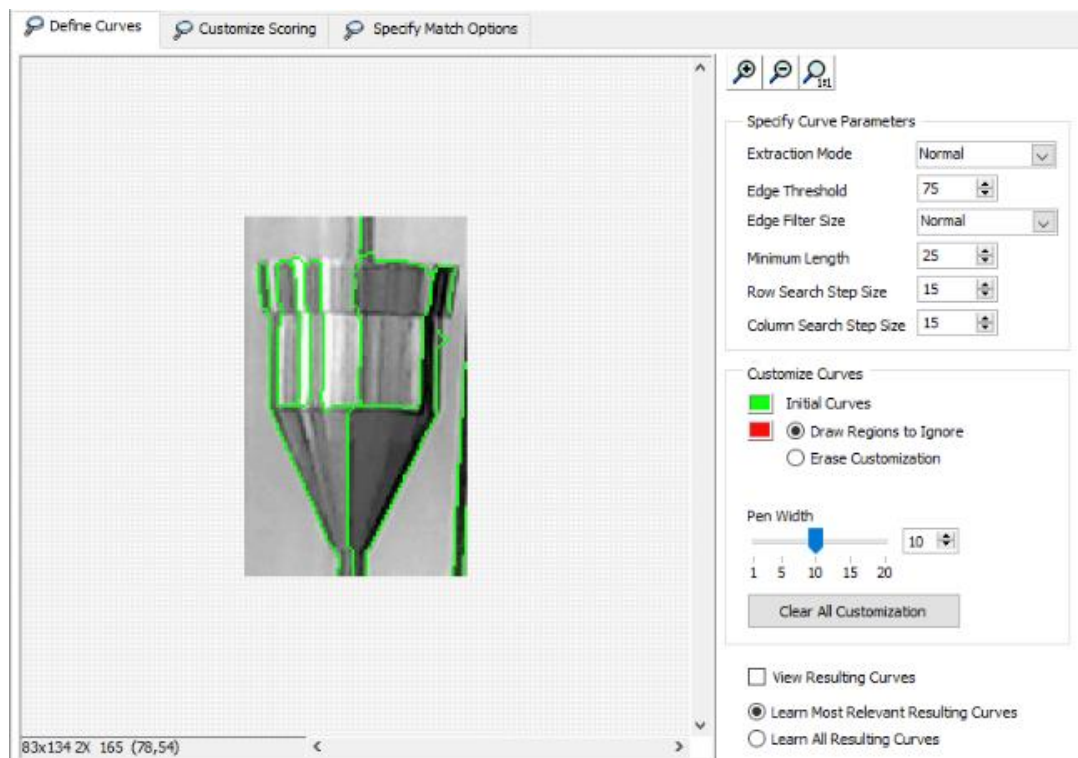


Figura 51. Creación del patrón geométrico del flotador del rotámetro

Cuando el patrón geométrico está seleccionado el siguiente paso es seleccionar el área de búsqueda y rastreo en el cual el algoritmo investigará la ubicación del patrón geométrico ya antes establecido, entre menor sea esta área el rastreo llevará menor tiempo de ejecución y por consiguiente el tiempo computacional será reducido de manera notable. La Figura 52 representa el área de búsqueda de patrón descrita en color verde, esta área puede ser manipulada directamente por el programador según el caso deseado; para el presente proceso se selecciona un área de rastreo igual al tubo cilíndrico del rotámetro debido que solo en esa área podrá variar la posición del flotador en

función al flujo variable. Finalmente se puede observar la localización del patrón geométrico deseado a rastrear, el marco en color rojo indica la ubicación del patrón (flotador del rotámetro) respecto al área de búsqueda seleccionada.

El patrón geométrico puede ser manipulado de diferentes formas para que el algoritmo de búsqueda lo pueda encontrar, dentro de las características esenciales se puede manejar: rotación del patrón, escala del patrón o balance de color; para el presente caso el flotador del rotámetro presenta un movimiento vertical concéntrico con respecto al centro de la cámara por lo cual no presenta variación en su tamaño y no es necesario la utilización de un rango de escala tolerable, a su vez, el flotador solo se mueve en forma vertical por lo cual no presenta características de rotación; finalmente, no presenta variaciones lumínicas excesivas entonces no es necesario la utilización del factor de variación de tonalidades.

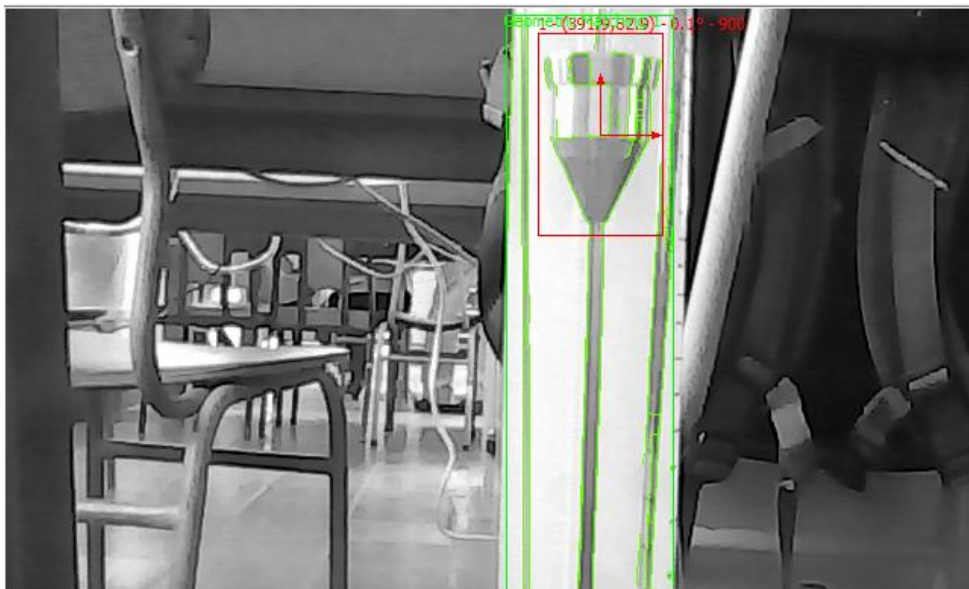


Figura 52. Posición del flotador (rojo) y selección del ROI (verde).

Cuando las configuraciones descritas anteriormente se realizan de manera correcta Vision Assistant despliega la posición actual del objeto encontrado en color azul, esta es la posición en píxeles x, y del flotador dentro de la resolución total de la pantalla. La Figura 53 presenta los parámetros característicos del flotador encontrado en el área de búsqueda (recuadro

amarillo), dichos cuantificadores son presentados en el bloque de salida del Vision Assistant para su manejo.

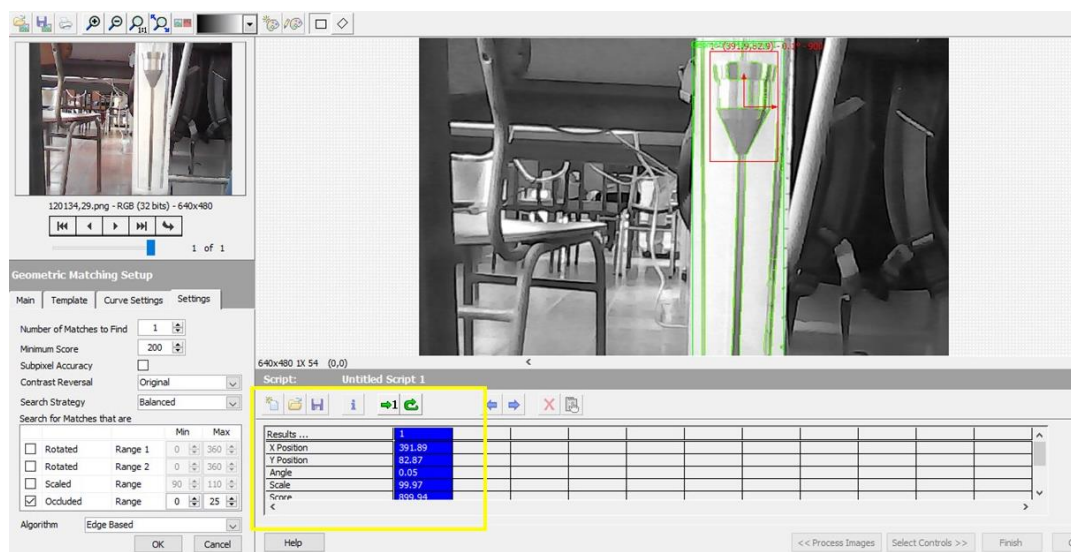


Figura 53. Parámetros característicos de flotador encontrado

3.10.3. Ecuación característica del rotámetro.

Los principales valores a manejarse dentro de la obtención de la medida del rotámetro son las cantidades de “X”, “Y” proporcionadas por Vision Assistant, una vez realizado el procesamiento antes descrito; el principal valor de trabajo es el valor de “Y” debido a que el flotador del rotámetro varía su posición en forma vertical en función al flujo que transita por él, en tal virtud el valor de “X” es una constante la cual no se toma en cuenta para futuros desarrollos de algoritmos.

El valor en “Y” representa el desplazamiento del rotámetro en pixeles dentro de la zona de trabajo y área de rastreo preestablecida en secciones anteriores. El rotámetro presenta una medida de tipo logarítmica por lo cual es necesario obtener su curva característica de funcionamiento dentro del sistema, la curva permite obtener una expresión matemática para obtener el valor esperado en función al desplazamiento emitido por el flotador.

Mediante pruebas experimentales se procede a tomar datos característicos del rotámetro a diferentes flujos, el procedimiento esencial consiste en someter al rotámetro a diferentes flujos nominales descritos en la escala del rotámetro mediante la variación de la válvula de compuerta automática; de esta forma varía la posición del flotador y a su vez la posición en pixeles del mismo dentro del algoritmo de adquisición de datos. La Tabla 2 presenta los datos obtenidos de manera experimental del flujo aplicado al rotámetro y la posición en pixeles obtenida por el algoritmo del flotador.

Tabla 2.

Valores en LPM y posición en pixeles del rotámetro.

Litros por minuto	Posición de pixeles en "Y"
6	418
8	390
10	360
12	333
14	310
16	287
18	270
20	250
22	225
24	205
26	186
28	170
30	151
32	134

Cada uno de los puntos obtenidos representa una posición en los ejes coordenados. El siguiente paso es la obtención de una expresión matemática que contiene a cada uno de los puntos antes descritos; para lo cual se procede a realizar una interpolación de puntos para la obtención de una recta cada uno

de los pares ordenados obtenidos. El proceso de interpolación se realiza en Matlab como lo describe la Figura 54 la cual representa los puntos obtenidos (negro) y la curva interpolada aproximada (azul). El polinomio obtenido consta de cuatro términos:

$$f(x) = p1 * x^2 + p2 * x + p3$$

Donde:

$$p1 = 9.05x10^{-5}$$

$$p2 = -0.1417$$

$$p3 = 49.46$$

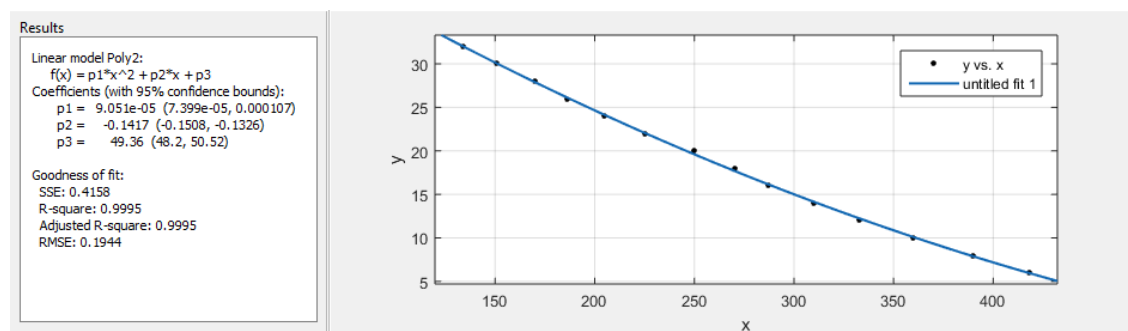


Figura 54. Puntos experimentales (negro) y curva interpolada (azul)

La ecuación obtenida tiene el 1% de error lo cual implica que es una buena aproximación para la curva característica y lectura para la obtención de la medida correcta por el algoritmo de visión artificial. Finalmente la medida obtenida por visión artificial es expresada en un indicador gráfico virtual similar a un rotámetro dentro de un HMI. La Figura 55 presenta el resultado final del procesamiento de imágenes y la obtención de la medida del rotámetro por medio de visión artificial y tratamiento de imágenes.

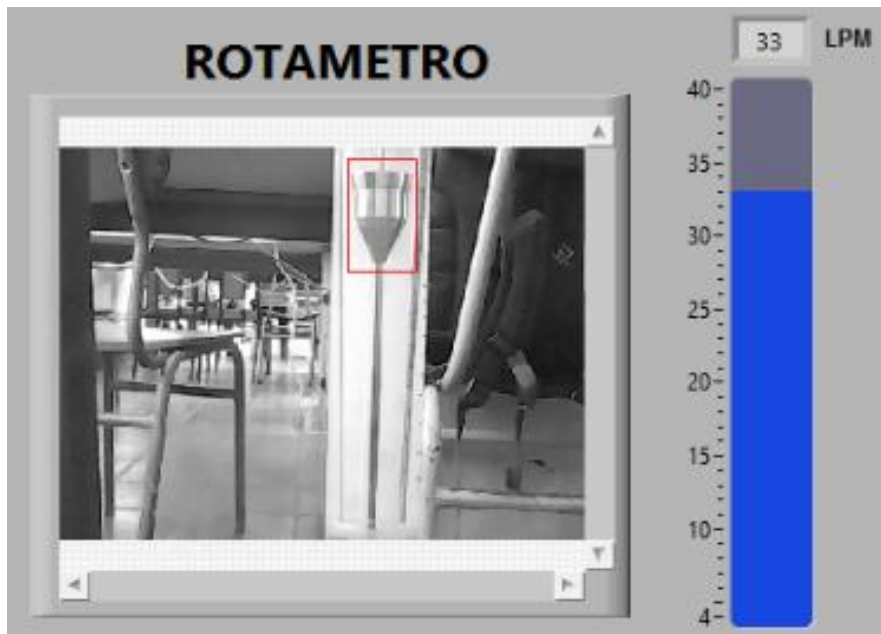


Figura 55. Rotámetro e indicador virtual con la medida obtenida

3.11. Algoritmo de control

El servomecanismo instalado en el sistema de calibración que se enmarca de color rojo en la Figura 56, es el encargado de realizar la acción de ajuste establecida por el algoritmo de control dentro del software.



Figura 56. Servomecanismo instalado en el sistema de calibración

La comparación de medidas entre el instrumento patrón que es el rotámetro vertical y el medidor de agua residencial, como se mencionó en secciones previas, determinan un error positivo o negativo, dependiendo de la cantidad de fluido que atraviesa las partes mecánicas móviles dentro del medidor, el error se calcula con los valores de los indicadores como se observa en la Figura 57; este flujo puede ser modificado mediante el tornillo regulador externo propio del medidor residencial; el tornillo está protegido por un perno metálico y se encuentra bloqueado por un alambre numerado para evitar fraudes por parte de los usuarios o empresas al momento que las autoridades toman lecturas del consumo de agua.

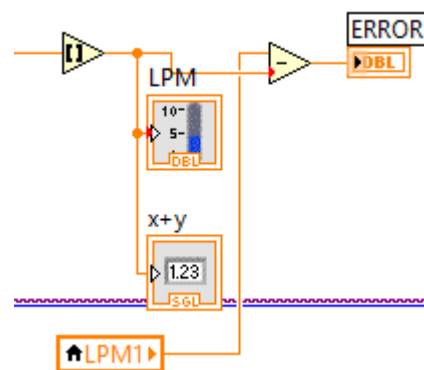


Figura 57. Cálculo del error de medición

En la ciudad de Latacunga los medidores residenciales no son controlados periódicamente, la mayoría presentan un deterioro impresionante ya que no se realizan mantenimientos de ningún tipo, lo que provoca que la lectura de los medidores generalmente no sea la correcta. La calibración y ajuste de medidores de agua residenciales propuesto en este trabajo se realiza de forma automática, el error calculado previamente provoca la acción de ajuste en tiempo real ya sea positiva o negativamente, para esto, el programa envía una señal al servomecanismo para que mediante dicho ajuste el error tienda al valor mínimo permisible, en este caso se pretende un error de cero; cuando el operador haya realizado todas las pruebas necesarias entonces se da por terminada la calibración y ajuste del medidor de agua residencial.

3.12. Programación del controlador arduino UNO

La programación de la acción de ajuste que se realiza a través de la tarjeta Arduino UNO se encuentra interconectada con el algoritmo de control por medio del toolkit LINX para LabVIEW del fabricante MakerHub, para descargar e instalar esta herramienta se debe acceder al VI Package Manager (VIPM), Figura 58, que es el software propio de National Instruments para descargar complementos de LabVIEW a través de una conexión a internet.

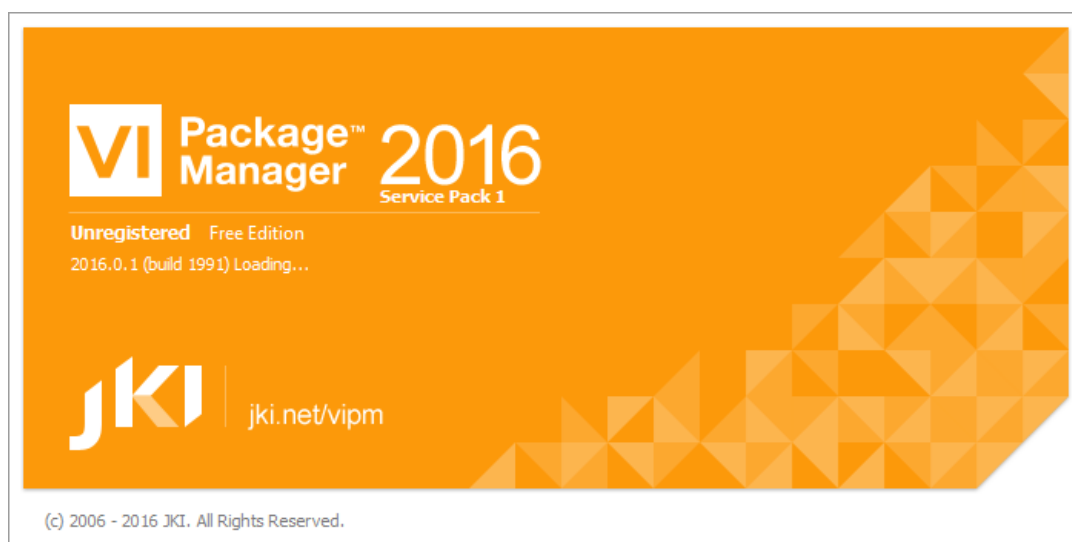


Figura 58. Pantalla de inicio del VI Package Manager

Una vez dentro del VIPM se observa un buscador en la pantalla principal como se enmarca de color rojo en la Figura 59.

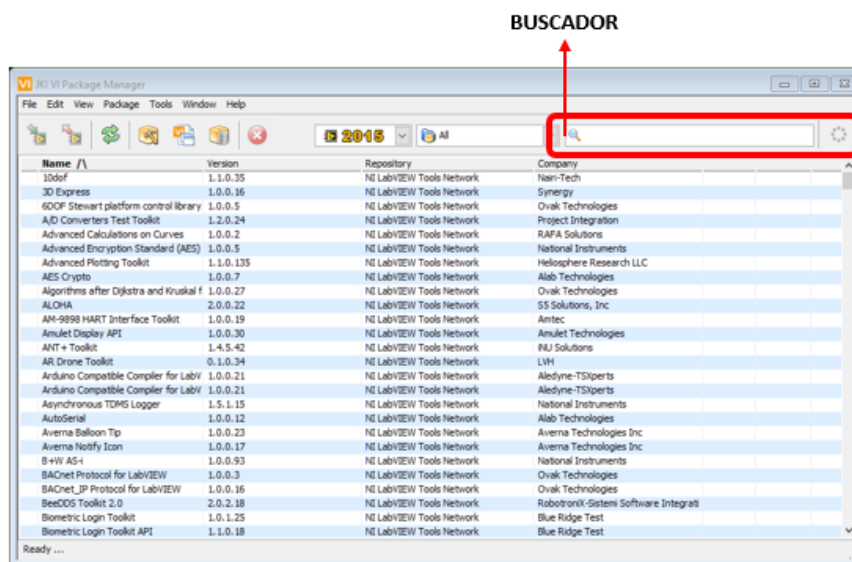


Figura 59. Interfaz del VI Package Manager

En la caja de texto se ingresa el nombre del complemento, que en este caso es LINX de MakerHub se observa en la Figura 60 y el programa automáticamente despliega todas las opciones relacionadas con la o las palabras ingresadas:

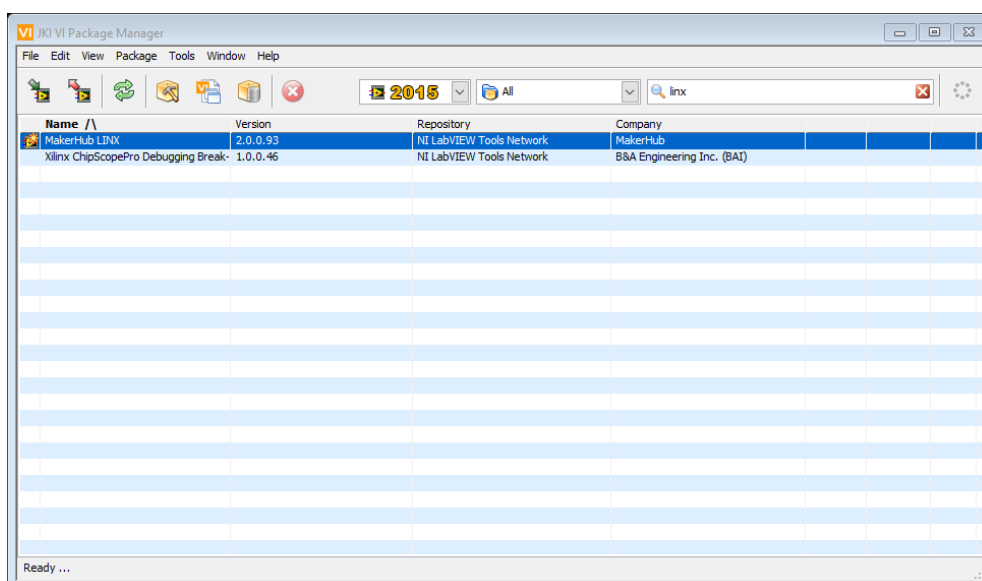


Figura 60. Búsqueda del complemento LINX para LabVIEW

Se selecciona haciendo doble clic en el complemento deseado y se despliega una ventana emergente con toda la información del paquete: fecha de lanzamiento, autor(es), tipo de licencia, versiones de LabVIEW compatibles, descripción y las notas adicionales de la versión, tal como se muestra en la Figura 61 y finalmente se da clic en el botón 'Install' para descargarlo y agregar la nueva herramienta a LabVIEW.

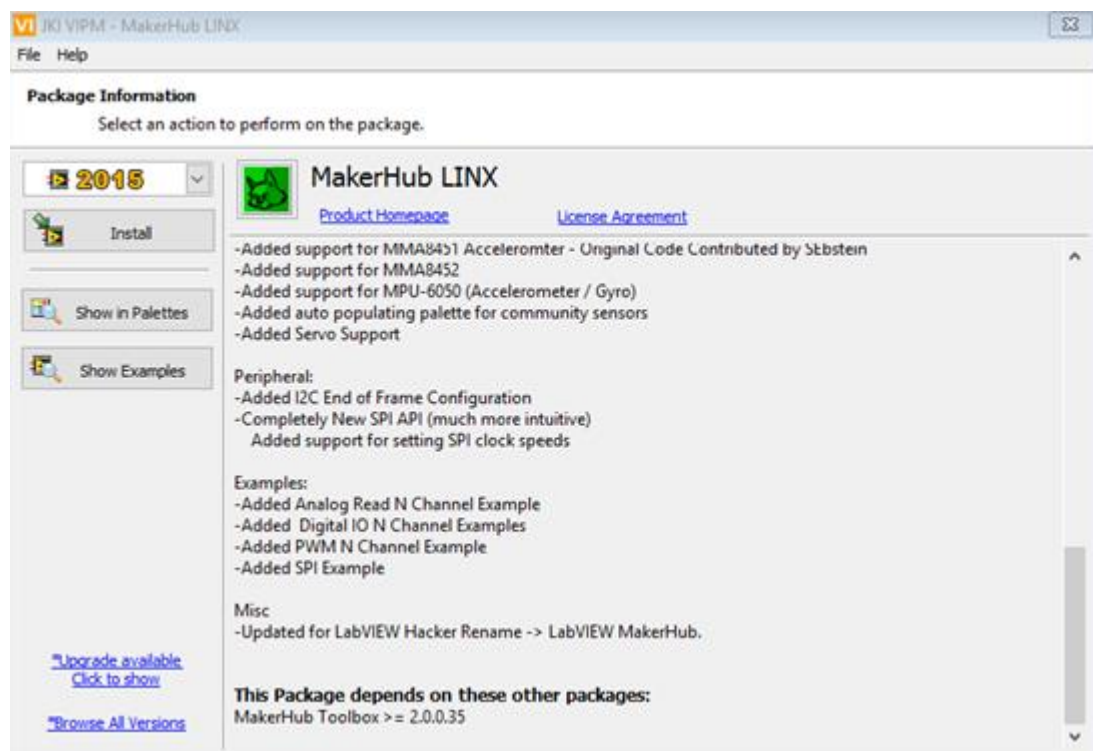


Figura 61. Pantalla previa a la instalación de LINX

Este toolkit permite al programa usar algoritmos predeterminados para ciertos elementos de hardware, en este caso se utiliza para controlar el servomecanismo, para esto el toolkit ofrece firmware para plataformas embebidas comunes como un servomotor y se conecta con LabVIEW mediante conexión serial o USB generalmente.

Para cargar el firmware del complemento LINX en el Arduino UNO que se usa en este trabajo se deben seguir los siguientes pasos antes de correr el programa realizado en LabVIEW.

1. Dar click en la pestaña Tools o Herramientas del Front Panel en LabVIEW → MakerHub → LINX → LINX Firmware Wizard...en la Figura 62 se muestran las opciones antes mencionadas.

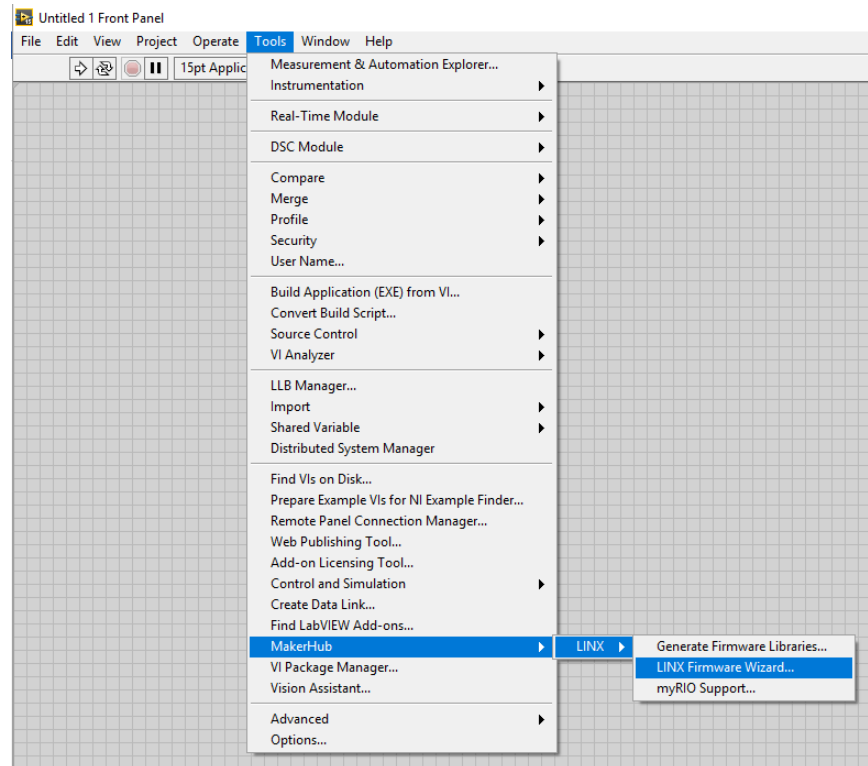


Figura 62. Selección del Wizard de LINX

2. Se despliega la ventana de LINX Firmware Wizard, Figura 63, en donde se debe seleccionar la familia y el tipo de dispositivo, para este caso se debe elegir la familia Arduino y el tipo es Arduino UNO, la última opción es el tipo de comunicación del dispositivo que por defecto es Serial/USB y dar clic en el botón Next para continuar la configuración.

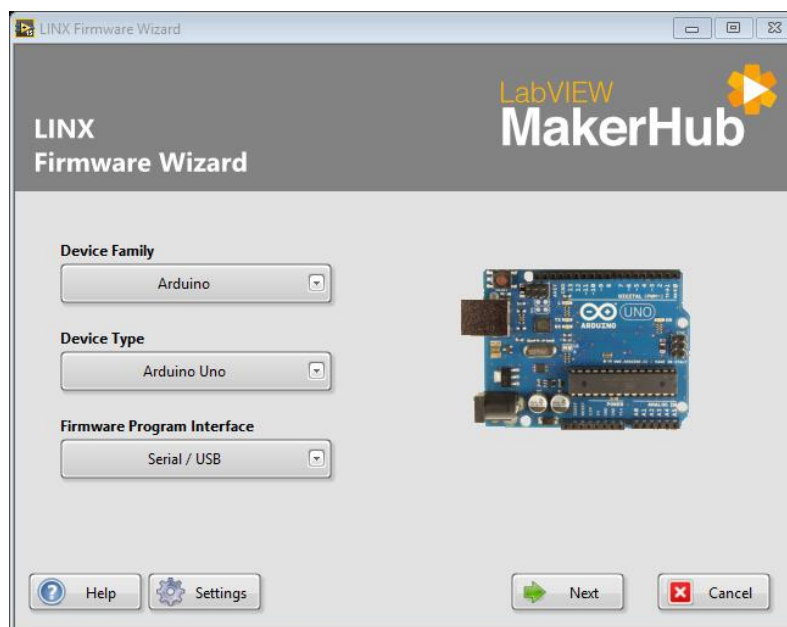


Figura 63. Configuración de la tarjeta controladora en LINX

3. Al conectar la tarjeta Arduino UNO al computador se crea un Puerto COM, que se debe verificar en el Administrador de Dispositivos del Sistema, para seleccionar el correcto. Este puerto es el que se deberá elegir dentro del Wizard como se muestra en la Figura 64 y nuevamente dar clic en 'Next'.

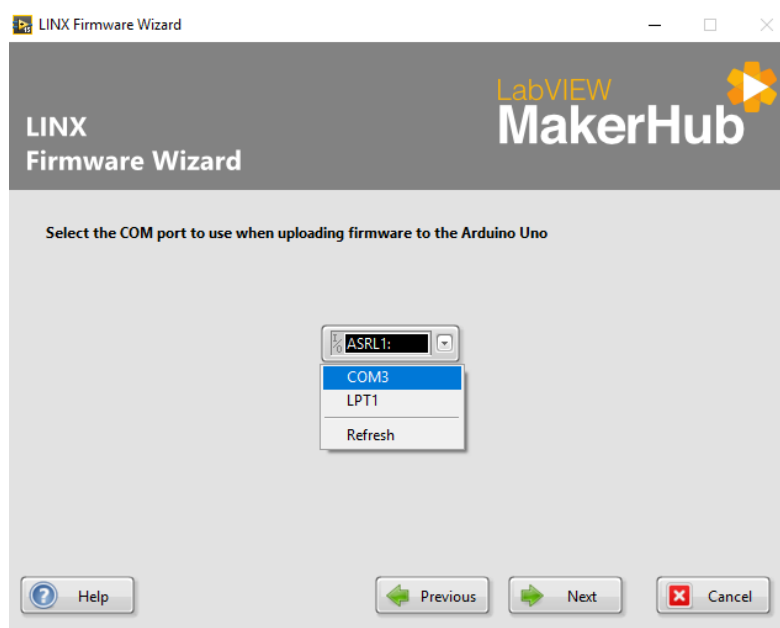


Figura 64. Selección del puerto de conexión en LINX

4. La siguiente opción es verificar el tipo de comunicación, la cual es LINX-Serial/USB, con el dispositivo y al dar clic una vez más en 'Next' el Firmware se carga en el Arduino UNO como se observa en la Figura 65 y finalmente dar clic en 'Finish' para cerrar el Wizard de LINX.

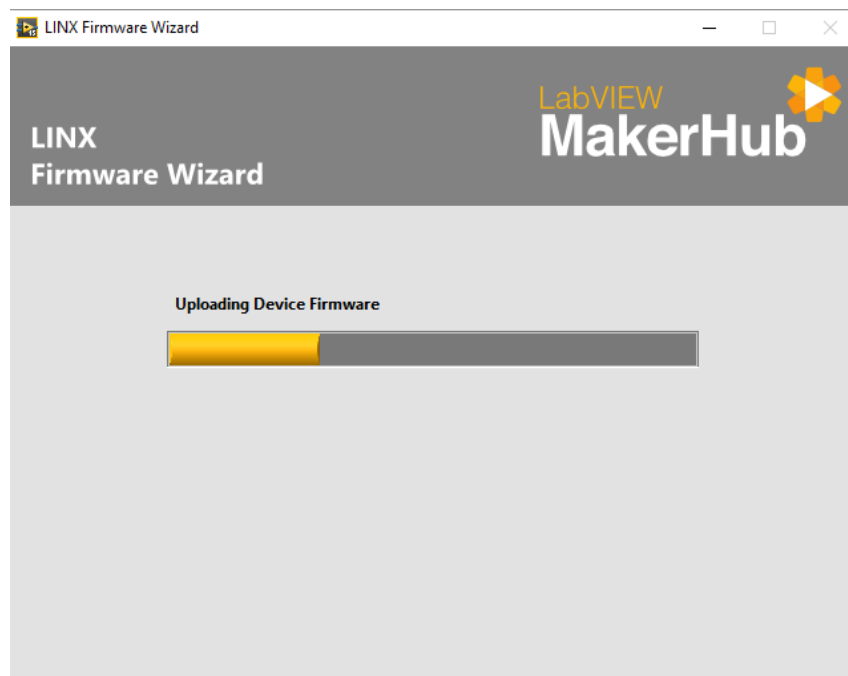


Figura 65. Subiendo configuración de Firmware al Arduino UNO

Una vez cargado el Firmware de LINX en el dispositivo se procede con la configuración o programación que se requiere, para usar dispositivos externos se debe abrir un proceso dentro de la paleta LINX, seleccionar las opciones de lectura o escritura que se necesitan para el programa y finalmente cerrar el proceso como se observa en la Figura 66.

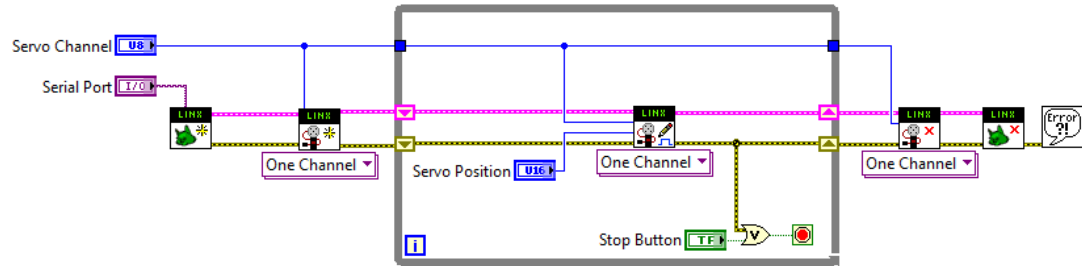


Figura 66. Algoritmo básico de control para un servomotor

Este es el algoritmo básico para el control de posición de un servomotor, la programación mediante el toolkit LINX reduce instrucciones innecesarias optimizando el proceso final requerido. Al tener opciones predeterminadas nativas de este toolkit se pueden integrar fácilmente con elementos de LabVIEW obteniendo una respuesta rápida a nivel tanto de software como de hardware.

CAPÍTULO IV

4. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Consideraciones generales

Con el fin de cumplir los objetivos planteados en este trabajo se interpretan y analizan las pruebas de calibración realizadas en un sitio cerrado con luminosidad poco variable. Los instrumentos son visibles para el operador en todo momento tanto virtual como físicamente lo cual ofrece transparencia al proceso como se observa en la Figura 67.



Figura 67. Sistema de calibración automática implementado

Para empezar se debe tomar en cuenta las conexiones del sistema de calibración, se necesitan 3 puertos USB (2 para las cámaras y 1 para el controlador Arduino UNO), además una toma de energía de 110V correspondiente a la red convencional para la bomba centrífuga.

Las pruebas consisten en variar el flujo de agua a través del sistema, mediante la válvula automática de compuerta, el flujo y posición deseado es establecido por el usuario por medio del HMI fijando valores específicos de flujo a diferentes escalas. El operador, usando el computador observa el instrumento patrón y de medición para inicialmente realizar la calibración respectiva a múltiples puntos seleccionados; en caso de existir un error en cualquier punto antes obtenido el sistema realiza una acción de ajuste automático mediante la selección de un control con la opción de ajuste automático únicamente se debe esperar a que el error tome el valor de cero como se observa en la Figura 72 y Figura 73 y mover el switch a la posición manual para cambiar el valor del flujo nuevamente y continuar con la calibración. Al realizar la acción de ajuste se muestra un indicador visual, que se observa en la Figura 68, en la interfaz.

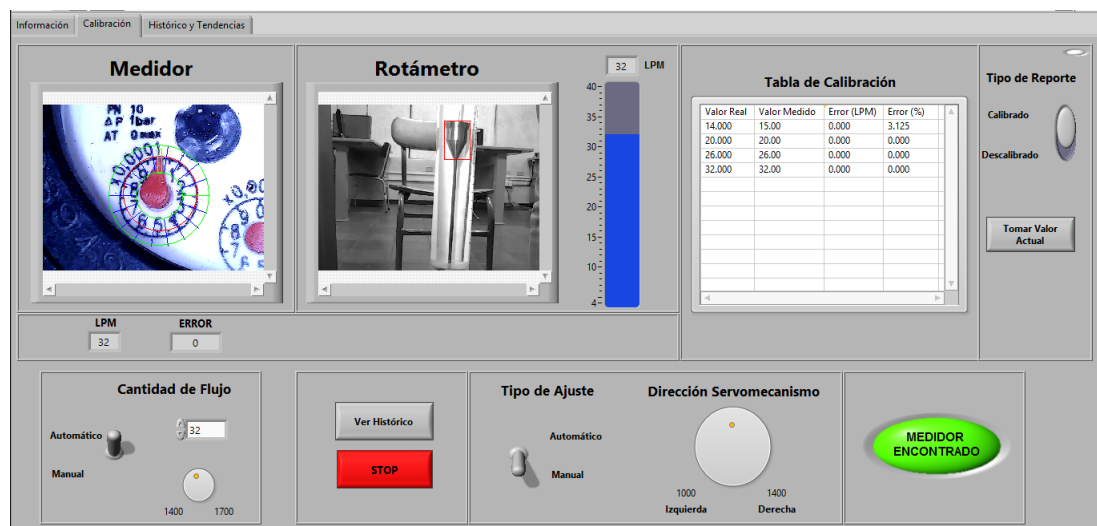


Figura 68. Interfaz principal durante la acción de ajuste

4.2. Pruebas preliminares

Para corroborar el correcto funcionamiento y lectura del rotámetro, el cual es el dispositivo patrón del sistema, se toman muestras a diferente caudal para comparar la medida tomada directamente en el rotámetro con la de visión artificial proporcionada por el sistema y verificar su veracidad. La Tabla 3 muestra los datos antes mencionados.

Tabla 3.

Valores directos y virtuales del rotámetro

LECTURA DIRECTA (LPM)	LECTURA POR VISIÓN ARTIFICIAL (LPM)
10	10
12	12
14	14
16	16
18	18
20	20
22	22
24	24
26	26
28	28
30	30
32	32
34	34

La comparación de los datos mostrados en la Tabla 3 se obtiene físicamente como se observa en la Figura (69-70-71).

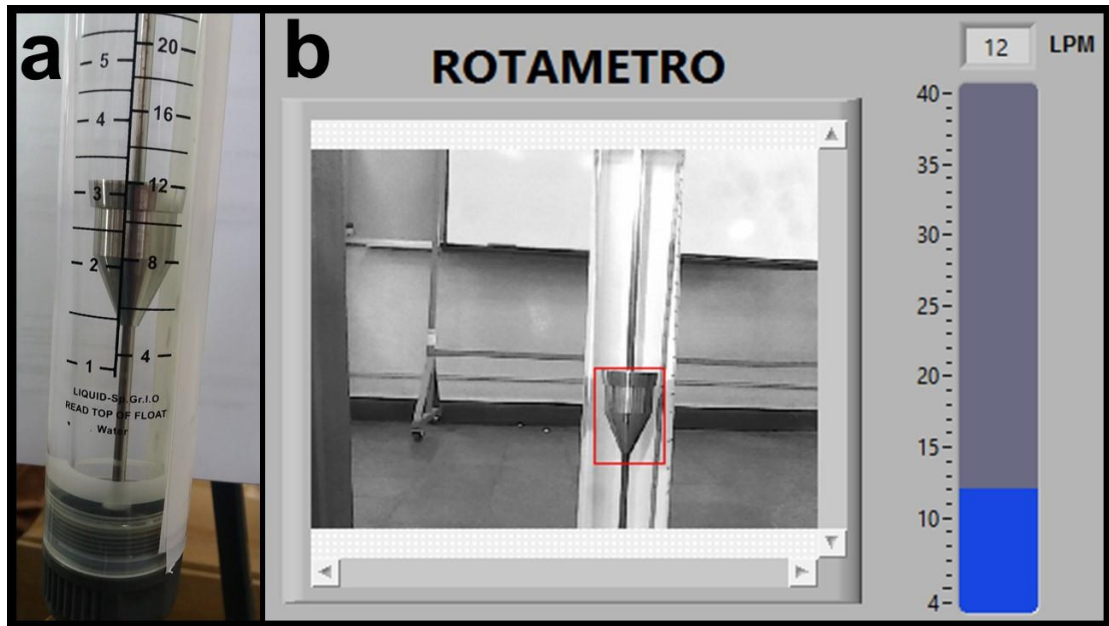


Figura 69. Comparación física y virtual con un caudal de 12 LPM

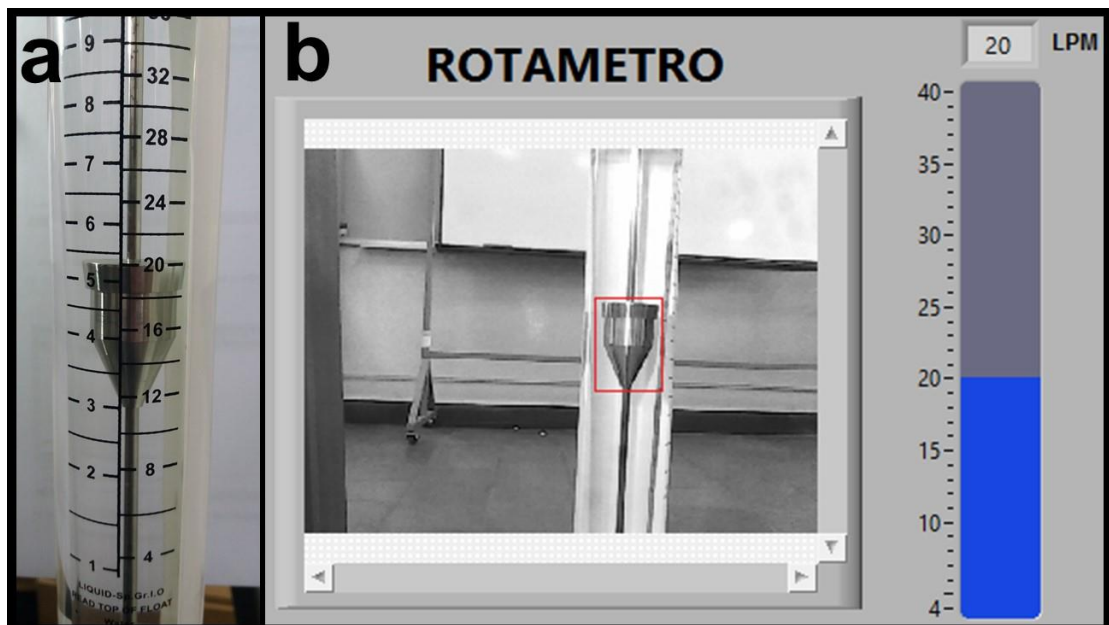


Figura 70. Comparación física y virtual con un caudal de 20 LPM

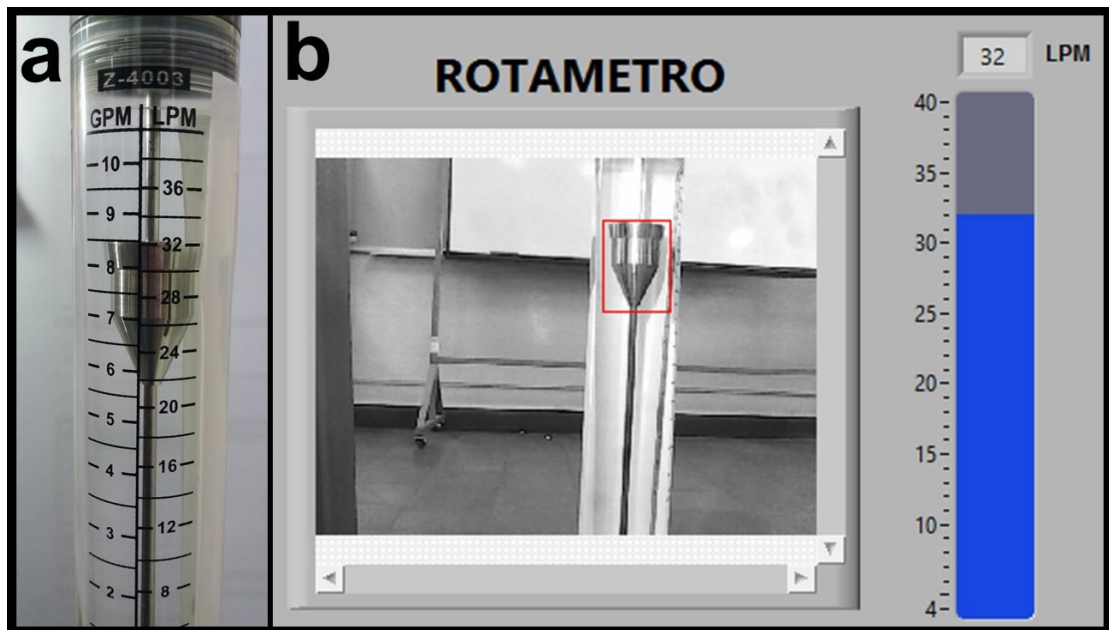


Figura 71. Comparación física y virtual con un caudal de 32 LPM

Las pruebas generales se realizan tomando en cuenta tres niveles de caudal especificado como alto, medio y bajo; una vez explicado el proceso de esta forma se continúa con el procedimiento específico realizado con 3, 5, 7 y 9 puntos de calibración con sus respectivos cálculos de error porcentual en cada caso.

4.3. Caudal alto (25 – 35 LPM)

El caudal medido en esta prueba es de 33 LPM con un error absoluto de -1 LPM como se observa en la Figura 72, es decir, el caudal correcto mostrado en el instrumento de vidrio o rotámetro es 34 LPM el mismo que se presenta en la Figura 73.

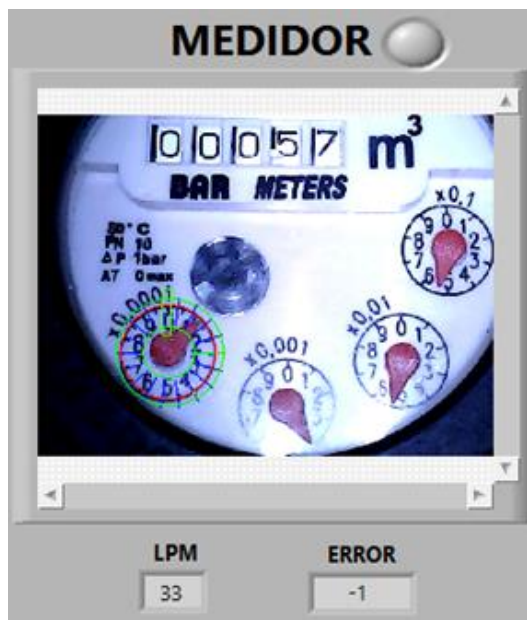


Figura 72. Prueba con caudal alto y error -1

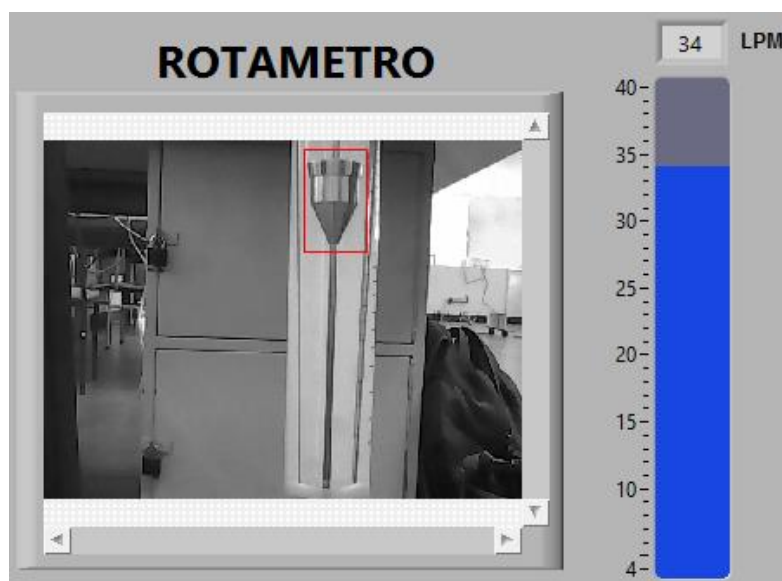


Figura 73. Medida del rotámetro para caudal alto (34 LPM)

Una vez realizado el ajuste a través del regulador de tornillo del medidor de agua residencial se logra tener un error de cero como se muestra en la Figura 74 en comparación al rotámetro de la Figura 75.

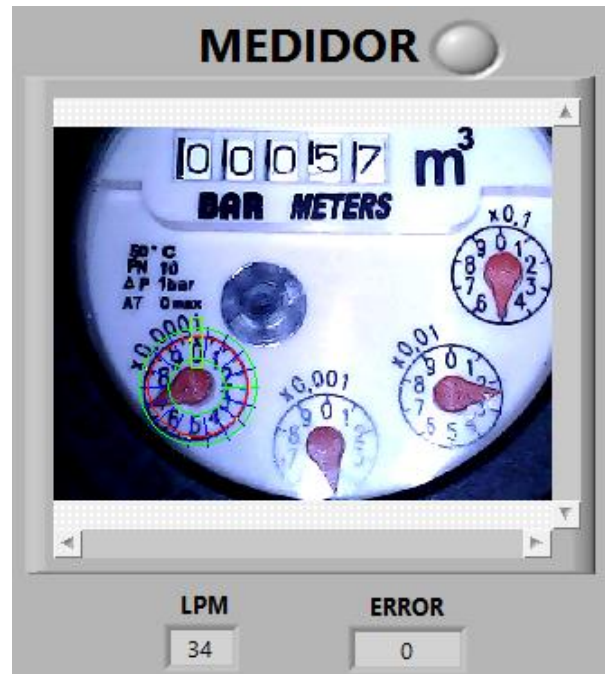


Figura 74. Medidor con caudal alto y error ajustado a cero

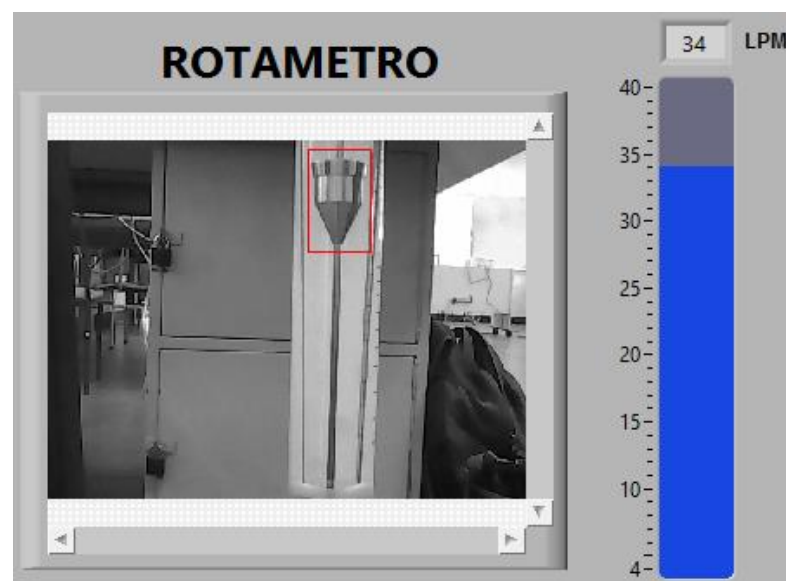


Figura 75. Rotámetro con 34 LPM y ajuste del medidor de agua

4.4. Caudal medio (15-24 LPM)

Se sigue el mismo procedimiento explicado previamente para un caudal real de 19 LPM, Figura 76; el medidor de agua residencial muestra un error de 1 LPM positivo como se aprecia en la Figura 77.

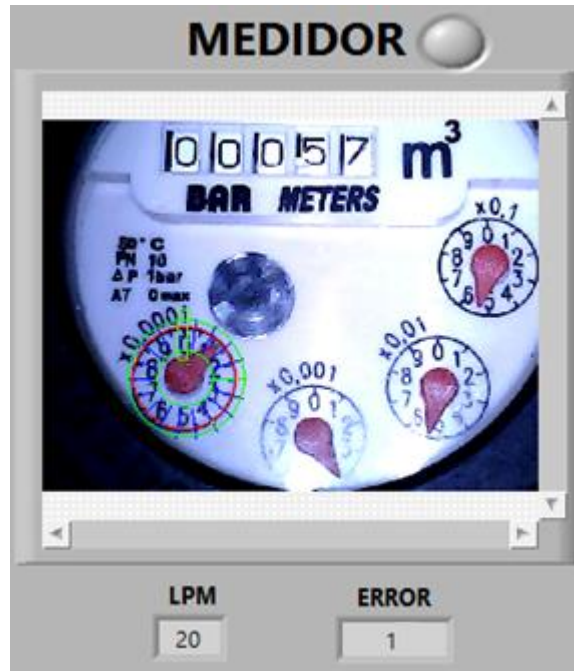


Figura 76. Prueba con caudal medio y error +1

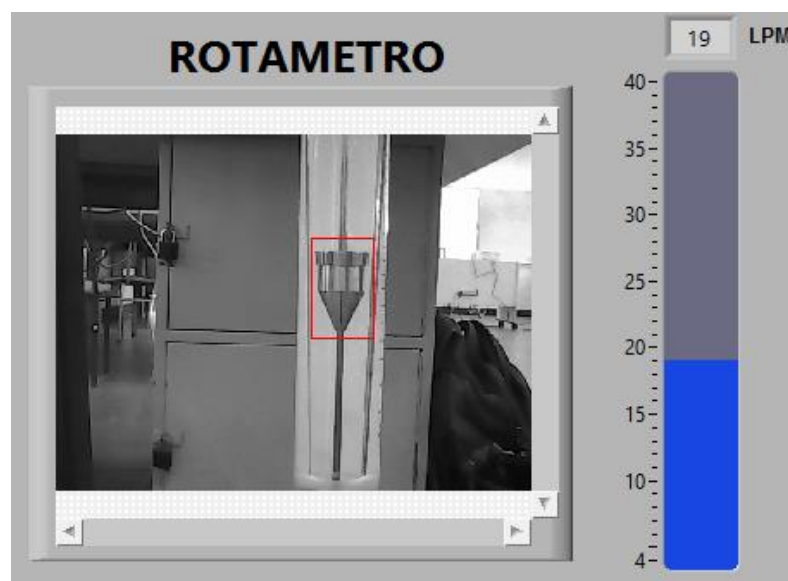


Figura 77. Rotámetro a caudal medio con valor 19 LPM

El ajuste realizado por el servomecanismo automático logra eliminar el error de caudal del medidor como presenta la Figura 78 en relación al rotámetro de la Figura 79.

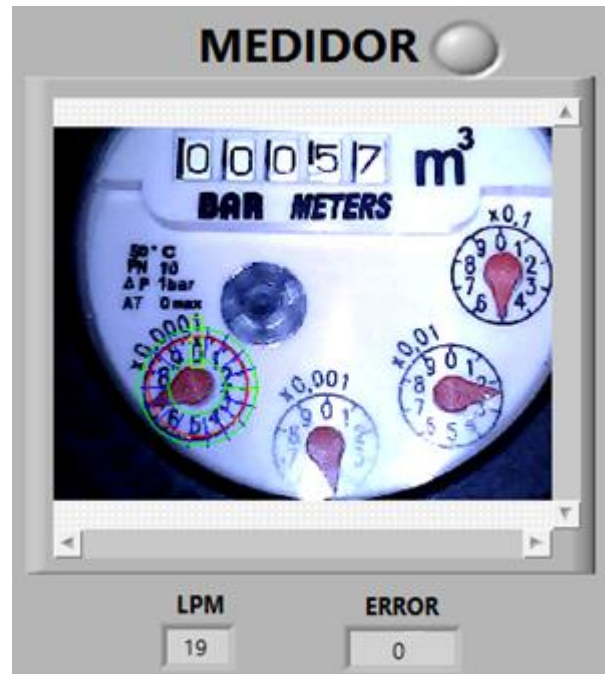


Figura 78. Medidor con caudal medio y error ajustado a cero

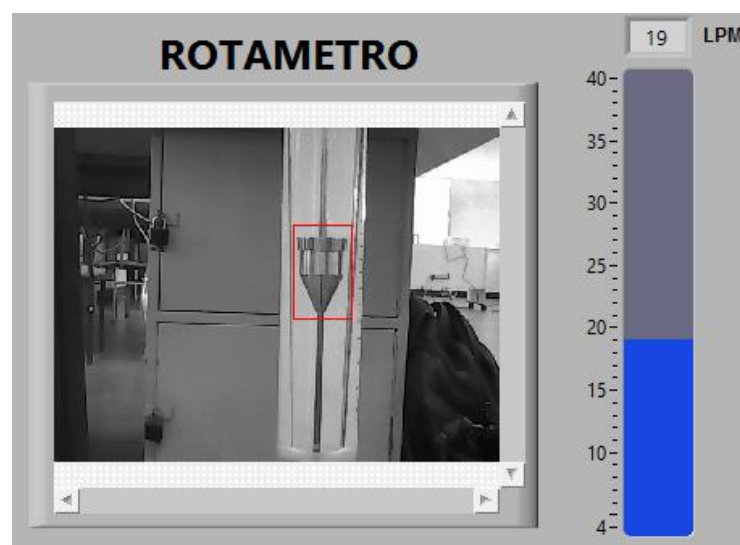


Figura 79. Rotámetro con 34 LPM y ajuste del medidor de agua

4.5. Caudal bajo (5 – 14 LPM)

La tercera prueba realizada es con un caudal bajo de 6 LPM mostrando un error de -1 LPM de la Figura 80, el cual es compensado con el sistema de calibración automática comparado con el rotámetro de la Figura 81.

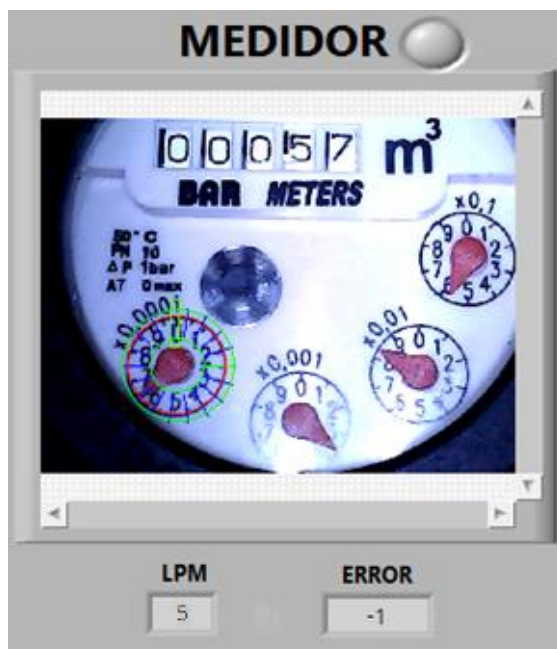


Figura 80. Prueba con caudal bajo y error -1

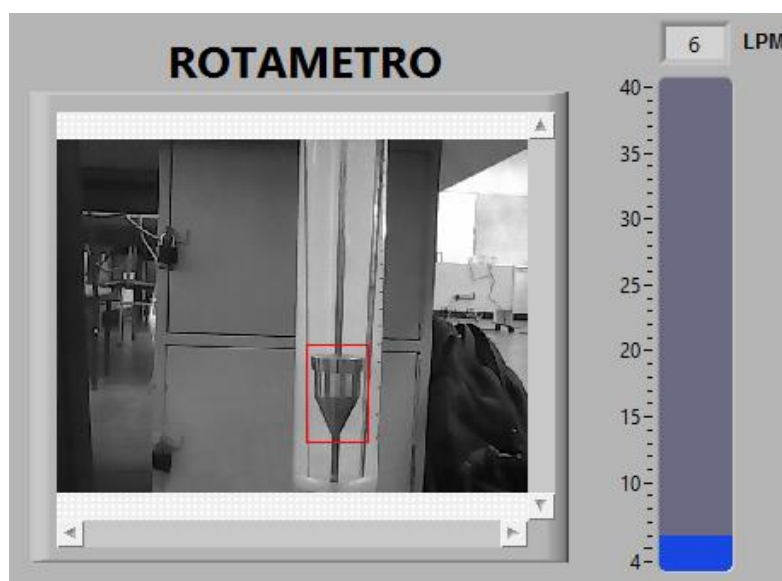


Figura 81. Rotámetro a caudal bajo con valor 6 LPM

El sistema calibra y ajusta el medidor de agua residencial para medir correctamente el flujo de agua en la Figura 83 se observa que trabaja de forma adecuada incluso con caudales bajos como es 6 LPM, en la Figura 82 se aprecia el medidor calibrado con error cero una vez realizado el ajuste necesario.

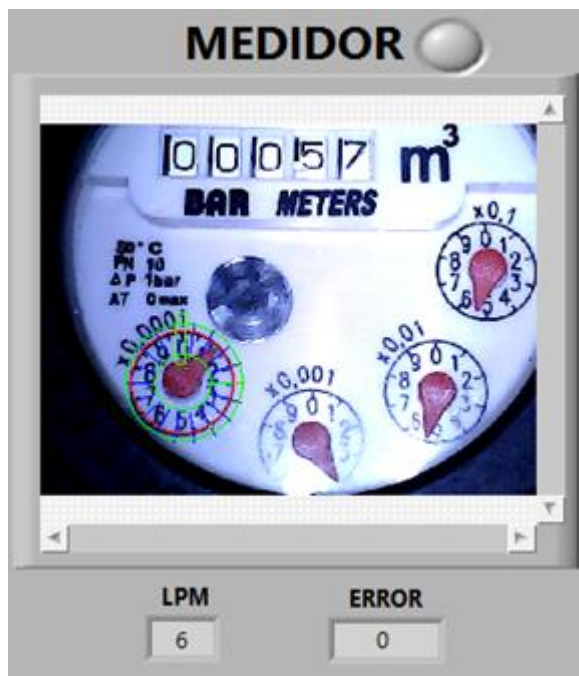


Figura 82. Medidor con caudal bajo y error ajustado a cero

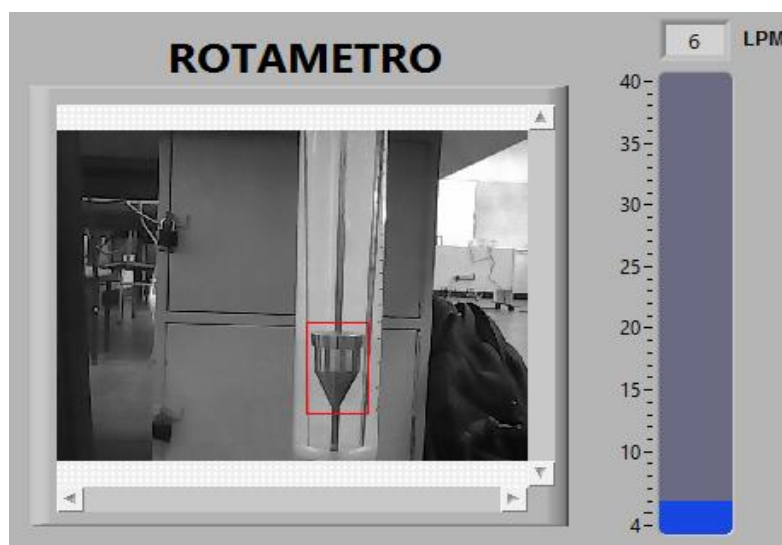


Figura 83. Rotámetro con 34 LPM en el ajuste del medidor de agua

4.6. Tendencias

El manejo de tendencias dentro del HMI permite analizar de manera visual el comportamiento del proceso mientras se realiza la calibración del medidor de agua en función a su error característico, el grafico de tendencia representa el valor del medidor de agua en color azul y la medida del rotámetro como instrumento patrón del sistema. La Figura 92 ilustra el gráfico de tendencias de un sistema calibrado en el cual el valor del rotámetro tanto del medidor presenta valores iguales, es decir, el error es cero.

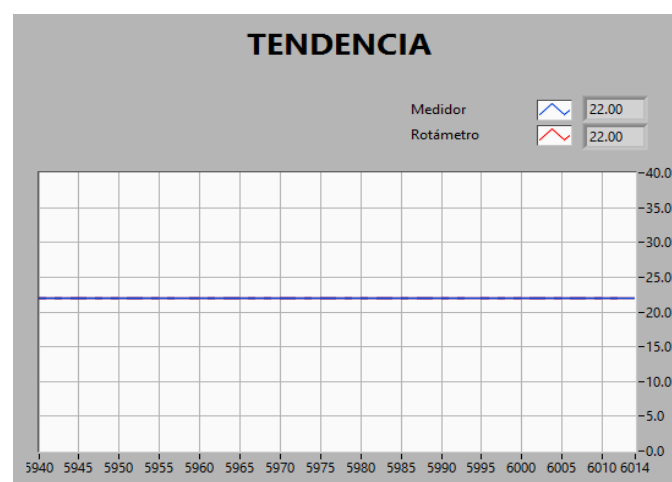


Figura 84. Sistema calibrado con un error igual a cero a 22 litros por minuto

Cuando se produce un error la acción de control procede a regular el flujo del medidor de agua mediante el accionamiento del servomecanismo para compensar o eliminar el flujo que transita por el medidor, la Figura 93 presenta el grafico de tendencias de un calibración con un error positivo de 1 litro y su respectiva acción de control ejecutada para reducir el error a cero y finalmente obtener los mismos valores mediante el ajuste.

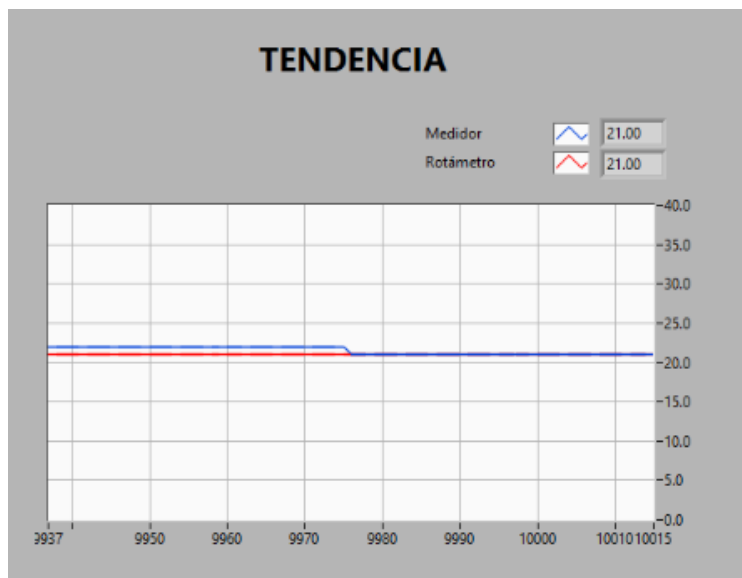


Figura 85. Tendencia de calibración y ajuste de un error positivo de 1 LPM

Cuando el error supera al litro por minuto la acción de control es mucho más demorada en el transcurso del movimiento del tornillo regulador de flujo del medidor de agua, por esta acción de control mucho más extensa el error se va disminuyendo de manera progresiva descendente hasta alcanzar el cero como se observa en la Figura 94 la cual representa una calibración y ajuste de un error negativo de dos litros por minuto en la cual se observa la compensación sucesiva litro por litro en el medidor de agua (azul) hasta alcanzar la medida del instrumento patrón (rojo).

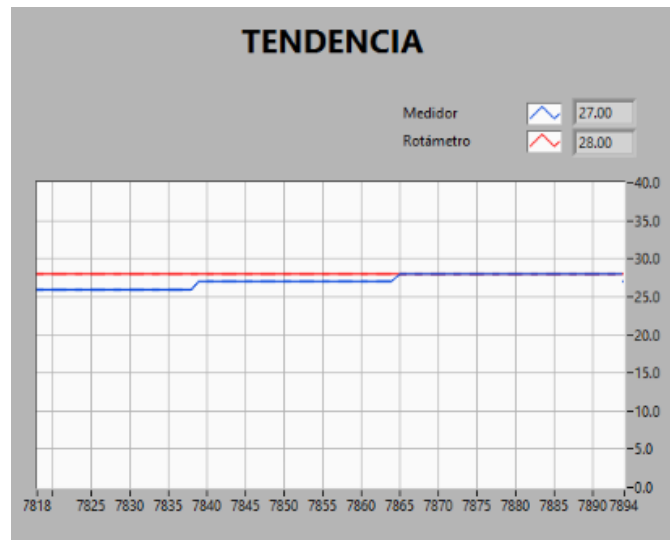


Figura 86. Tendencias de calibración y ajuste de un error negativo de 2 LPM

4.7. Históricos

El HMI cuenta con el manejo de históricos en el cual se visualizan el caudal del medidor y rotámetro así como su error característico, cuenta también con la hora y fecha en el cual ocurre cada uno de las mediciones; la Figura 95 simboliza la tabla de históricos en los cuales se visualiza cada uno de los eventos ocurridos en el sistema de calibración.

HISTÓRICO				
03-Feb-17	07:55:14	34.000	33.000	-1.00
03-Feb-17	07:55:14	34.000	34.000	0.00
03-Feb-17	07:55:14	34.000	33.000	-1.00
03-Feb-17	07:55:14	34.000	33.000	-1.00
03-Feb-17	07:55:14	34.000	34.000	0.00
03-Feb-17	07:55:14	34.000	34.000	0.00
03-Feb-17	07:55:15	34.000	34.000	0.00
03-Feb-17	07:55:15	34.000	34.000	0.00
03-Feb-17	07:55:15	34.000	34.000	0.00
03-Feb-17	07:55:15	34.000	33.000	-1.00
03-Feb-17	07:55:15	34.000	34.000	0.00
03-Feb-17	07:55:15	34.000	33.000	-1.00
03-Feb-17	07:55:15	34.000	34.000	0.00
03-Feb-17	07:55:15	34.000	34.000	0.00
03-Feb-17	07:55:15	34.000	33.000	-1.00
03-Feb-17	07:55:15	34.000	34.000	0.00
03-Feb-17	07:55:15	34.000	32.000	-2.00
03-Feb-17	07:55:15	34.000	34.000	0.00
03-Feb-17	07:55:16	34.000	33.000	-1.00
03-Feb-17	07:55:16	34.000	34.000	0.00
03-Feb-17	07:55:16	34.000	33.000	-1.00

Figura 87. Histórico de eventos ocurridos en el sistema de calibración

4.8. Tablas de calibración

La presente sección detalla la calibración efectuada a un medidor de agua residencial en la cual se puede observar los errores de lectura realizados a 3, 5, 7 y 9 puntos de calibración como se muestra en las tablas 4, 6, 8 y 10 respectivamente; después de efectuar el ajuste en cada uno de los casos expuestos el error se reduce a su mínimo valor como se expresa en las tablas 5, 7, 9 y 11 respectivamente.

4.8.1. Calibración de 3 puntos

Tabla 4.

Calibración a 3 puntos con error de medida

Valor real (LPM)	Valor medido (LPM)	Error %
12	14	6.25
22	24	6.25
32	34	6.25
Error promedio		6.25

Tabla 5.

Calibración a 3 puntos después de realizar el ajuste

Valor real (LPM)	Valor medido (LPM)	Error %
12	12	0
22	22	0
32	32	0
Error promedio		0

4.8.2. Calibración de 5 puntos.

Tabla 6.

Calibración a 5 puntos con error de medida

Valor real (LPM)	Valor medido (LPM)	Error %
12	14	6.25
22	24	6.25
32	33	3.125
22	24	6.25
12	14	6.25
Error promedio		5.625

Tabla 7.

Calibración a 5 puntos después de realizar el ajuste

Valor real (LPM)	Valor medido (LPM)	Error %
12	12	0
22	22	0
32	32	0
22	22	0
12	12	0
Error promedio		0

4.8.3. Calibración de 7 puntos

Tabla 8.

Calibración a 7 puntos con error de medida

Valor real (LPM)	Valor medido (LPM)	Error %
12	14	6.25
20	23	9.375
28	30	6.25
32	34	6.25
28	30	6.25
20	22	6.25
12	14	6.25
Error promedio		6.69

Tabla 9.

Calibración a 7 puntos después de realizar el ajuste

Valor real (LPM)	Valor medido (LPM)	Error %
12	12	0
20	20	0
28	28	0
32	32	0
28	28	0
20	20	0
12	12	0
Error promedio		0

4.8.4. Calibración de 9 puntos

Tabla 10.

Calibración a 9 puntos con error de medida

Valor real (LPM)	Valor medido (LPM)	Error %
12	14	6.25
17	19	6.25
22	23	3.125
27	29	6.25
32	33	3.125
27	29	6.25
22	24	6.25
17	19	6.25
12	14	6.25
Error promedio		5.55

Tabla 11.

Calibración a 9 puntos después de realizar el ajuste

Valor real (LPM)	Valor medido (LPM)	Error %
12	12	0
17	17	0
22	22	0
27	27	0
32	32	0
27	27	0
22	22	0
17	17	0
12	12	0
Error promedio		0

4.9. Alcances y limitaciones

4.9.1. Alcances

En el proceso de implementación y funcionamiento del prototipo de sistema de calibración mediante visión artificial se determinan los siguientes alcances:

- El prototipo permite visualizar la conducta de la variable caudal a través de un medidor de agua residencial el cual pretende ser calibrado tomando como referencia un instrumento patrón, que en este caso es un rotámetro; todo esto gracias al HMI implementado.
- El HMI desarrollado permite analizar tendencias y datos históricos del proceso en tiempo real.
- El sistema cuenta con dos cámaras integradas entre sí que permiten medir la variable caudal en los instrumentos implementados y con una excelente precisión.
- La visualización del funcionamiento del sistema puede ser de forma directa en el prototipo construido y también de forma virtual a través del computador.
- El prototipo funciona con una alimentación de 120Vac y el sistema de calibración funciona con la energía que entrega el computador por medio de los puertos USB.

4.9.2. Limitaciones

De la misma forma se presentan limitaciones en el prototipo implementado y estas se mencionan a continuación:

- La velocidad del procesamiento está ligada directamente a la capacidad del computador en donde se ejecuta el algoritmo.
- El sistema está diseñado para un tipo de medidor en específico y si se desea manejar otro modelo se deben hacer ajustes en el algoritmo de control.

- A bajo caudal, comprendido entre 4 y 12 LPM, la calibración se tarda debido al tiempo que el algoritmo toma para realizar el cálculo del flujo que pasa por el medidor de agua residencial; por lo tanto no es fiable realizar una calibración con valores tan bajos de caudal.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se implementó un sistema viable y flexible que permite la calibración de forma automática de medidores de agua residenciales mediante el uso de visión artificial que brinda la suficiente precisión para tener resultados fiables reduciendo el error a un valor mínimo y sin pérdidas o interferencias que perjudiquen al sistema.
- El HMI realizado permite que el proceso sea totalmente intuitivo y transparente para el operador al visualizar datos característicos del sistema como históricos, tendencias y calibración en tiempo real.
- Se demuestra la efectividad del presente método de calibración y ajuste mediante la eliminación de errores positivos y negativos; las pruebas realizadas corroboran la garantía del proceso.
- Para la identificación y tratamiento tanto del rotámetro como del medidor de agua residencial no es necesaria la implementación de redes neuronales debido a que las imágenes presentan patrones definidos y no justifica el tiempo computacional alto en el entrenamiento y procesamiento de los patrones deseados dentro de cada imagen.
- El rango de calibración del medidor de agua residencial depende directamente de la capacidad de variación del tornillo regulador externo para compensar el flujo que transita por el instrumento.
- Los medidores de agua residenciales trabajan únicamente con valores enteros, la escala mínima que maneja el medidor utilizado en este

proyecto de investigación es de un litro, lo que indica la resolución del instrumento; la precisión del rotámetro Z-4003 es de $\pm 6\%$ por lo tanto el error no llega a cero pero se aproxima con una pequeña desviación la misma que está ligada directamente a la precisión del instrumento patrón.

- La red neuronal implementada sirve para validar la correcta instalación del medidor de agua residencial, es decir, al iniciar el sistema se verifica que el medidor este presente y en la posición correcta para continuar con la calibración.

5.2. Recomendaciones

- El ajuste realizado por el servomecanismo debe ser lento para evitar fugas importantes de agua a través del tornillo regulador, debido a que éste tiene un límite en su desplazamiento.
- Evitar el uso de HUB's para USB debido a que se multiplexan las señales al ingresar al computador; esto causa un error fatal y pérdida de datos en los algoritmos del proceso.
- No trabajar en rangos de caudal demasiado bajos por un tiempo excesivo debido a que el estrangulamiento del flujo causa el sobrecalentamiento de la bomba.
- Verificar la correcta comunicación e instalación de los dispositivos de adquisición y control antes de iniciar el proceso de calibración.
- No mover el prototipo mientras este se encuentra en funcionamiento; realizando la acción de calibración y ajuste para tener resultados fiables.
- Asegurarse que el computador tenga las características técnicas necesarias explicadas en el desarrollo del proyecto de investigación para evitar lecturas y acciones de control erróneas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acharya, T. and Ray, A. (2005). *Image Processing: Principles and Applications*. Estados Unidos, New Jersey: Wiley-Interscience, John Wiley & Sons, Inc.
- Akshatha K., Anitha H., Karunakar A., Raghavendra U., Dinesh S. (2016). Source camera identification using noise residual. *2016 IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT)*. Pp. 1080 - 1084, doi: 10.1109/RTEICT.2016.7807997
- Aldabas, E. (2002). Introducción al reconocimiento de patrones mediante redes neuronales. *IX Jornades de Conferències d'Enginyeria Electrònica del Campus de Terrassa*, Terrassa, España.
- Arduino. Recuperado el: 15 de Diciembre de 2016.
Obtenido de: <http://www.arduino.org>
- AWWA, S. (2011). *Manual of Water Supply Practices: Water Meters, Selection, Installation, Testing, and Maintenance: Selection, Installation, Testing, and Maintenance (5)*. Denver, US: American Water Works Assoc. Obtenido de: <http://www.ebrary.com>
- AWWA S. (2005). *AWWA Manual: Flowmeters in Water Supply (2)*. Denver, US: American Water Works Assoc. ProQuest ebrary.
- AWWA, S. (2005). *AWWA Manual: Distribution Valves: Selection, Installation, Field Testing, and Maintenance (2)*. Denver, US: American Water Works Assoc. Obtenido de: <http://www.ebrary.com>
- Bharath, A. Petrou, M. (2008). *Next Generation Artificial Vision Systems*. Norwood, US: Artech House Books.

- Casale A., Spadafina L., Porcelli A., Matrino D. and Sarcina V. (2016). A water meter reading middleware for smart consumption monitoring. *IEEE Workshop on Environmental, Energy, and Structural Monitoring Systems (EESMS), Bari, 2016*, pp. 1-6. doi: 10.1109/EESMS.2016.7504814
- Constante P., Gordon A., Chang O., Pruna E., Acuña F. and I. Escobar. (2016). Artificial Vision Techniques to Optimize Strawberry's Industrial Classification, *IEEE Latin America Transactions*, vol. 14, no. 6, pp. 2576-2581. doi: 10.1109/TLA.2016.7555221
- Duan, H. (2014). Biological Vision-Based Surveillance and Navigation in Bio-inspired computation in unmanned aerial vehicles, *Springer-Verlag*, pp. 215-246.
- EPMAPAL, Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Latacunga, contacto 032801413, Latacunga, Ecuador.
- Fardo, Stephen W., and Patrick, Dale R. *Industrial Process Control Systems* (2). Lilburn, US: The Fairmont Press, Inc., 2009. ProQuest ebrary.
- Food, A. A. O. O. T. (2001). Manual para el diseño e implementación de un sistema de información para la seguridad alimentaria y la alerta temprana (SISAAT). Rome, IT: Food & Agriculture Organization of the United Nations.
- Forrest, M. (2000). *The Forrest Mims Circuit Scrapbook*. Estados Unidos, San Diego: LLH Technology Publishing.
- Gonzalez, R. C. and Woods, R. E. (2002). *Digital Image Processing* (2nd ed.). Estados Unidos, New Jersey: Prentice Hall.

Kashid S., Pardeshi S, Sirsat S. and Bonge V. (2015). Remote capturing of water meter reading using DSP processor. *Third International Conference on Image Information Processing (ICIIP), Waknaghat, 2015*, pp. 45-49. doi: 10.1109/ICIIP.2015.7414738

Lajara, J. R. y Pelegrí, J. (2011). *LabVIEW Entorno Grafico de Programación* (2da ed.). España, Barcelona: MARCOMBO S.A.

Mathworks. Recuperado el 15 de Diciembre de 2016. Obtenido de:
<https://es.mathworks.com/discovery/redes-neuronales.html>

MakerHub. Recupado el 16 de Diciembre de 2016. Obtenido de:
<https://www.labviewmakerhub.com/doku.php?id=libraries:linx:start>

McNaughton, K. (1992). *BOMBAS – Selección, uso y mantenimiento*. México: Editorial Interamericana.

National Instruments. Recuperado el 12 de Diciembre de 2016. Obtenido de:
<http://www.ni.com/labview/esa/>

Silva A., Da Rocha Souto C., Da Silva S., Dos Santos A. and Filho E. (2015). "Application of artificial vision as measurement validation tests on a robotic hand driven by shape-memory alloys". *IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC) Proceedings, Pisa, 2015*, pp. 522-526. doi: 10.1109/I2MTC.2015.7151322

Sereno J. E., Bolaños F. and Vallejo M. (2016). Artificial vision system for differential multiples robots, *Technologies Applied to Electronics Teaching (TAEE), 2016*, pp. 1-5. doi: 10.1109/TAEE.2016.7528379

Vera, D., "Resultados del censo 2010 de población y vivienda en el Ecuador", INEC, pp. 1-7, 2010.

Zhang C. and Zeng Y. (2012). "New Flow Equation for Rotameter," *2012 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference*, Shanghai. pp. 1-4. doi: 10.1109/APPEEC.2012.6307015

Zhu L., Zou B., Gao S., Wang Q. and Jia Z. (2015). "Research on gate valve gas internal leakage AE characteristics under variety operating conditions," *IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA)*, Beijing, 2015, pp. 409-414. doi: 10.1109/ICMA.2015.7237520

ANEXOS

Anexo A: Manuales de Instalación

Instalador LabVIEW

1. Ingresar a la dirección <http://www.ni.com/download-labview/esa/> y hacer clic en Descargue la última versión.



2. En la siguiente página se debe crear una cuenta de usuario o si ya posee una se debe ingresar a la misma.



3. En la página siguiente dar clic en Descargue LabVIEW (1.43GB).

Descargar LabVIEW

Gracias por su preferencia al descargar LabVIEW. Una vez instalado, este software es completamente funcional por 7 días. Si tiene una membresía SSP activa, simplemente proporcione su número de serie para activar LabVIEW por más de 7 días.

[Descargue LabVIEW \(1.43 GB\)](#)

Nota: Esta descarga incluye un archivo de instalación que debe incrementar la velocidad de transferencia del software y le permitirá reanudar el proceso en caso de que éste sea interrumpido. La descarga de su software comienza después de que el archivo de instalación es instalado.

[Sistemas Operativos Adicionales y Descargas de Lenguaje de LabVIEW](#) [+]

[LabVIEW 2016 Módulos y Juegos de Herramientas](#) [+]

[Controladores de NI](#)

[Descargue Controladores](#)

Información Adicional sobre LabVIEW

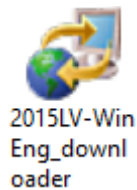
- [LabVIEW Notas Actualizadas](#)
- [Prácticas Recomendadas para Actualizar a LabVIEW](#)
- [Opciones de Formación y Capacitación para LabVIEW](#)
- [Información sobre la compatibilidad del sistema operativo y la compatibilidad para las versiones recientes de LabVIEW](#)
- [Foros de Discusión de LabVIEW](#)

Contáctenos

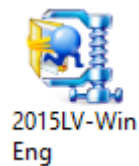
Los representantes técnicos en todo el mundo pueden responder sus preguntas de hardware y software, proporcionar cotizaciones y programar visitas en campo con Ingenieros de aplicación. Solicite que un representante le llame o llame al (866) 463-3364.

Si se encuentra fuera de los E.U. o Canadá, puede encontrar la información de contacto de su oficina local en ni.com/contact.

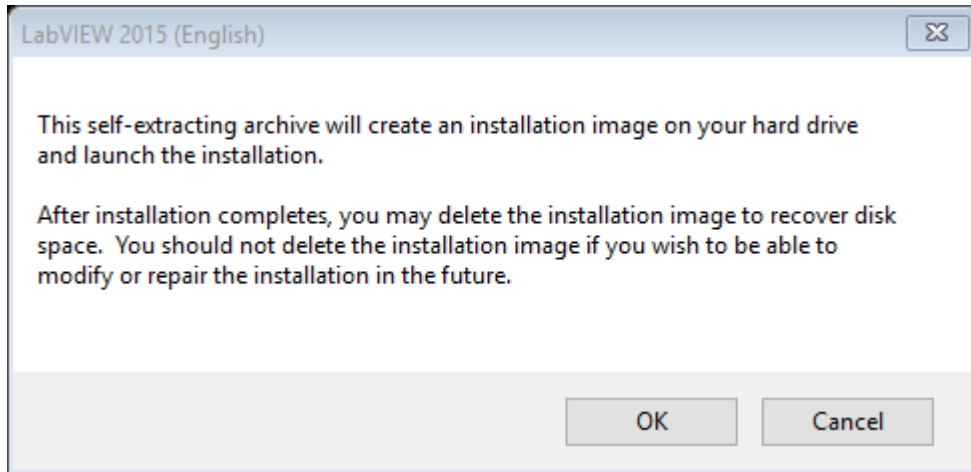
4. Se descarga en el computador un asistente para obtener LabVIEW con el icono siguiente.



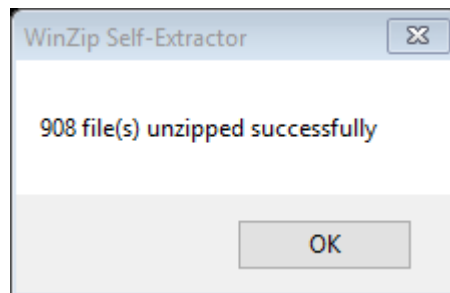
5. Al finalizar la descarga del instalador se guarda un archivo con el siguiente icono y se debe abrir el mismo.



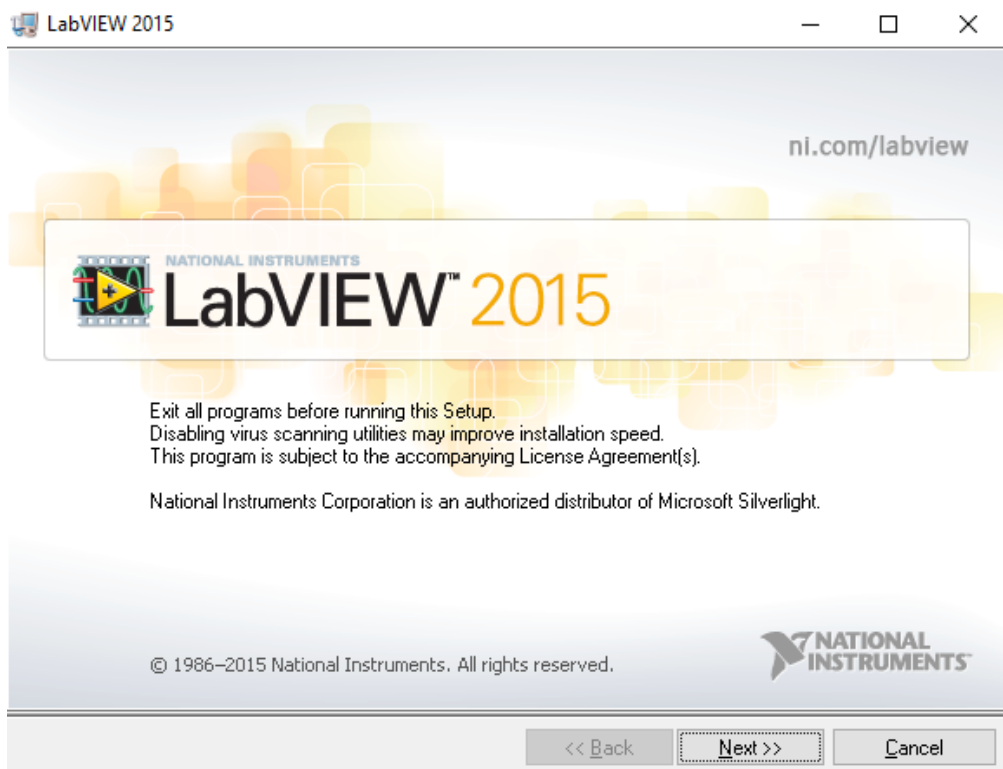
6. Al ingresar al archivo se abre una ventana de extracción, dar clic en OK.



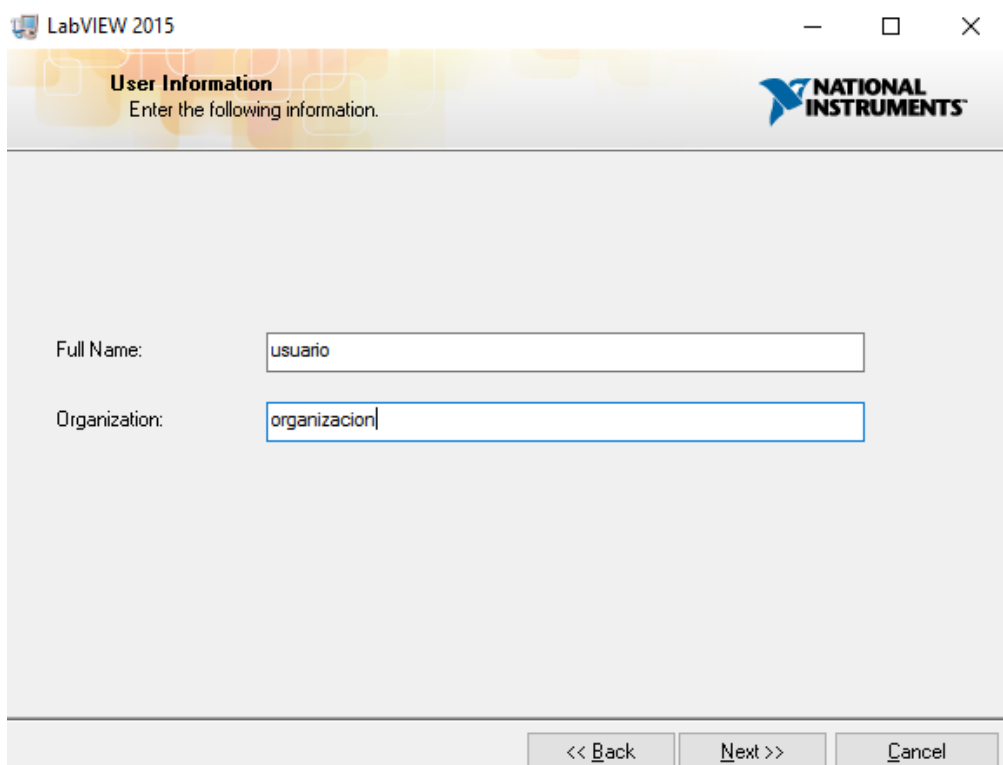
7. Una vez finalizado dar clic en OK para continuar con la instalación.



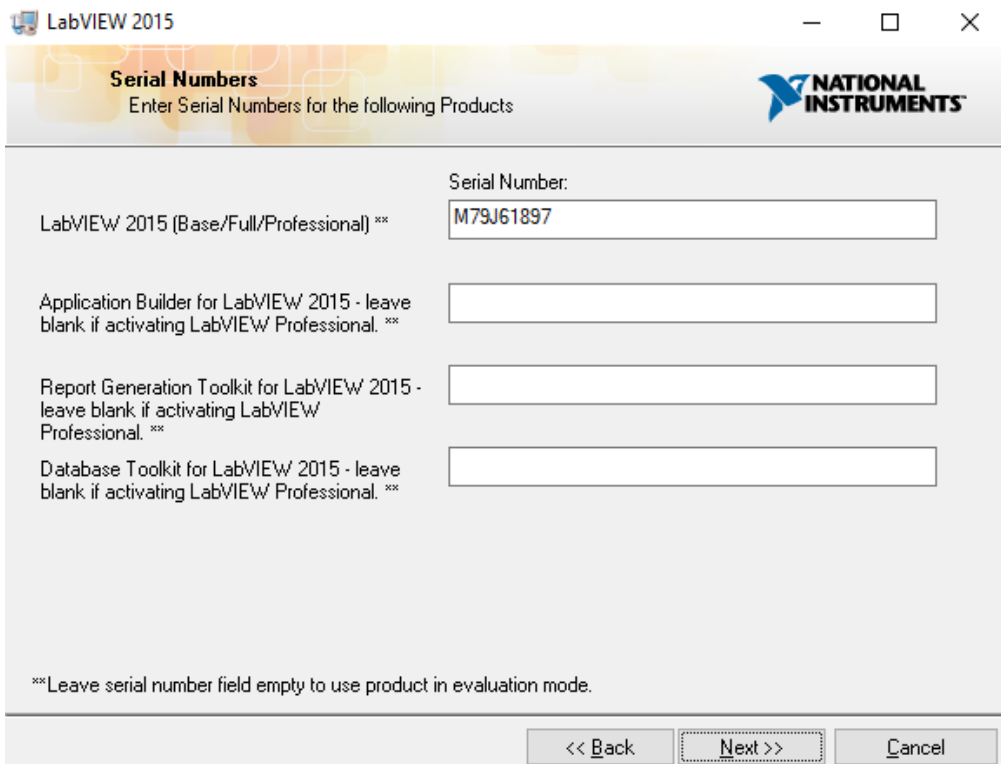
8. El asistente de instalación se abre automáticamente y dar clic en Next.



9. Ingresar el nombre del Usuario o Propietario y de la Organización, para continuar dar clic en Next.



10. Ingresar el número de serie del producto para su posterior activación y dar clic en Next.



LabVIEW 2015

Serial Numbers
Enter Serial Numbers for the following Products

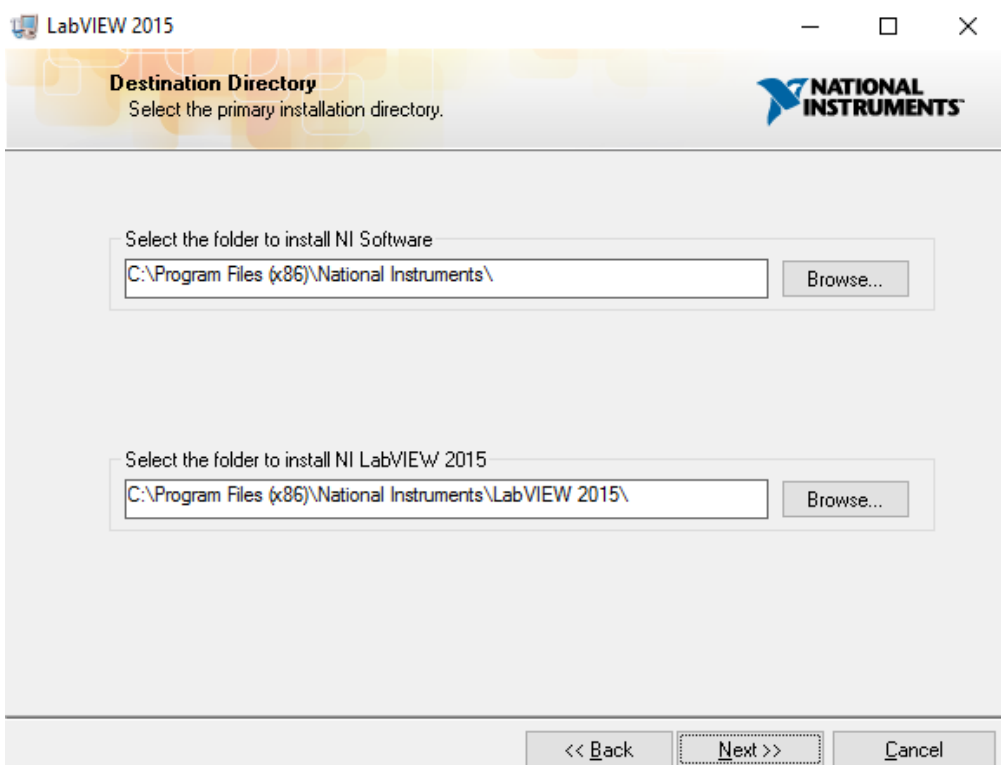
NATIONAL INSTRUMENTS

LabVIEW 2015 (Base/Full/Professional) **	Serial Number: <input type="text" value="M79J61897"/>
Application Builder for LabVIEW 2015 - leave blank if activating LabVIEW Professional. **	<input type="text"/>
Report Generation Toolkit for LabVIEW 2015 - leave blank if activating LabVIEW Professional. **	<input type="text"/>
Database Toolkit for LabVIEW 2015 - leave blank if activating LabVIEW Professional. **	<input type="text"/>

**Leave serial number field empty to use product in evaluation mode.

<< Back Next >> Cancel

11. Seleccionar la dirección de destino para la carpeta de instalación dentro del disco C y continuar dando clic en Next.



LabVIEW 2015

Destination Directory
Select the primary installation directory.

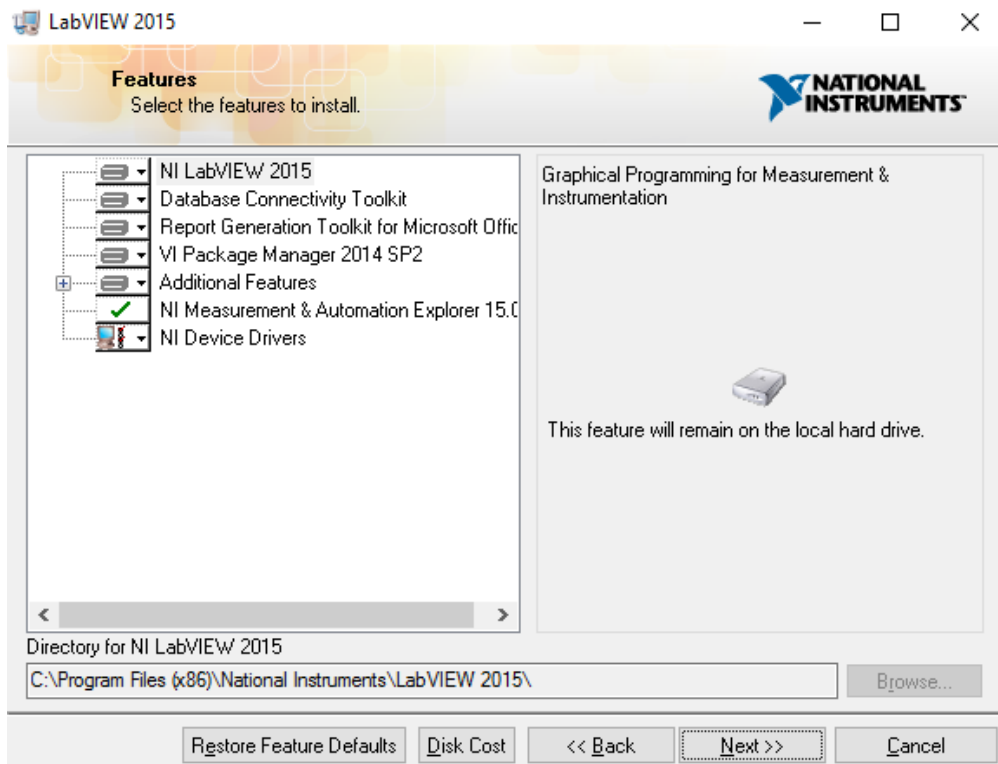
NATIONAL INSTRUMENTS

Select the folder to install NI Software
 Browse...

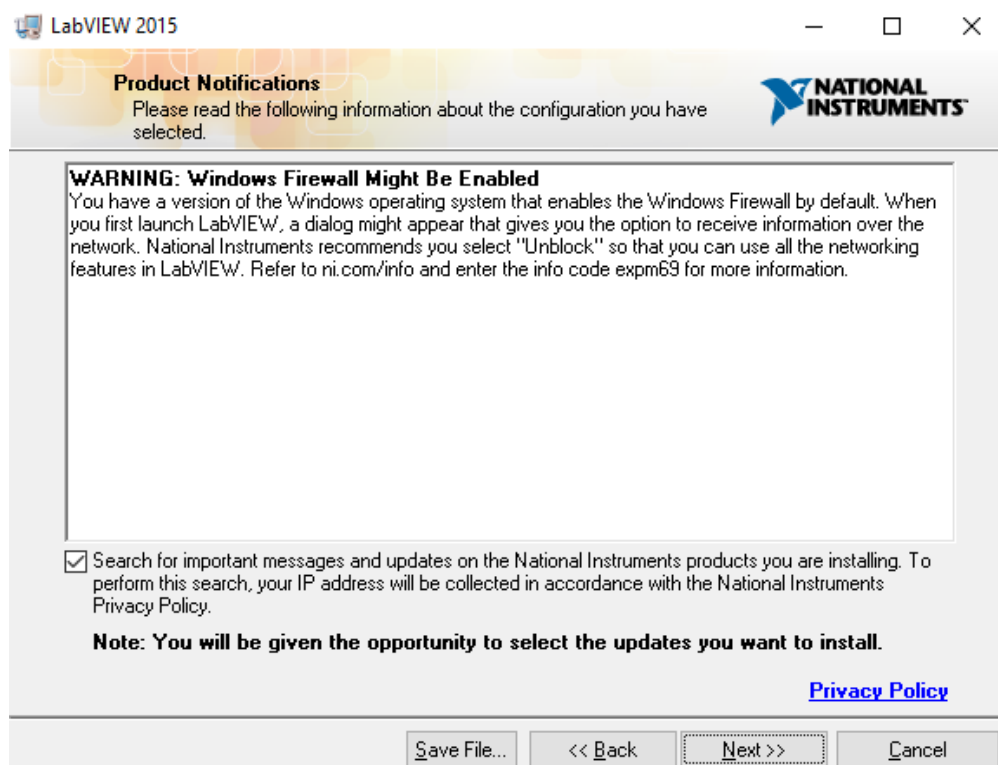
Select the folder to install NI LabVIEW 2015
 Browse...

<< Back Next >> Cancel

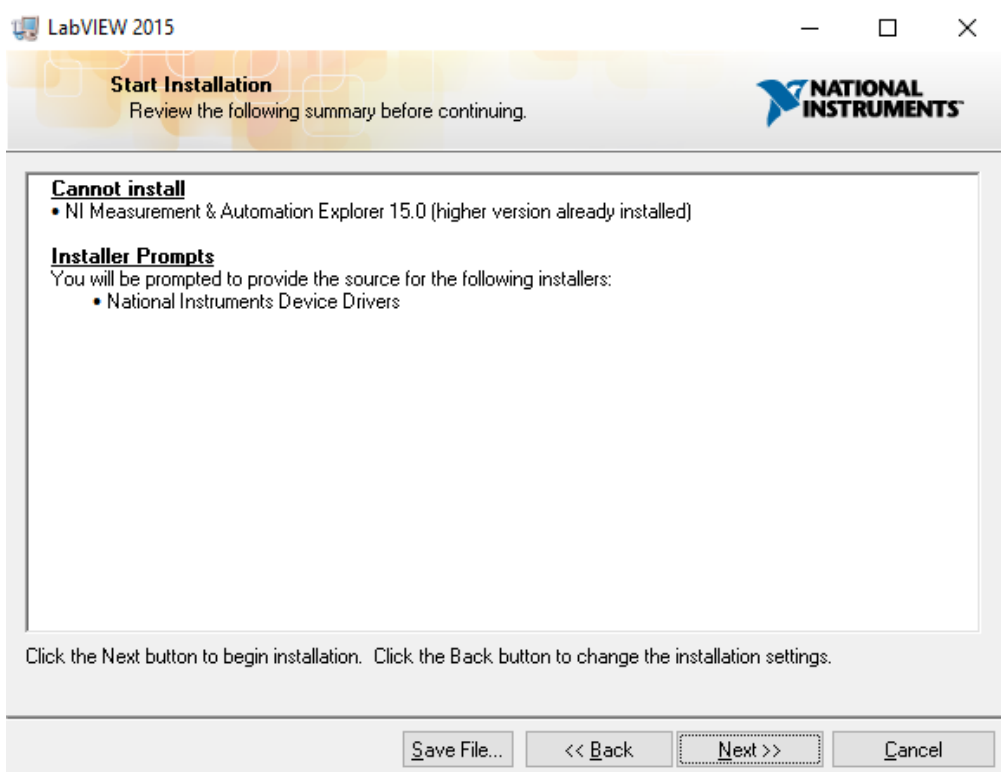
12. En la siguiente ventana seleccionar las prestaciones que se desean instalar según el criterio del usuario y dar clic en Next.



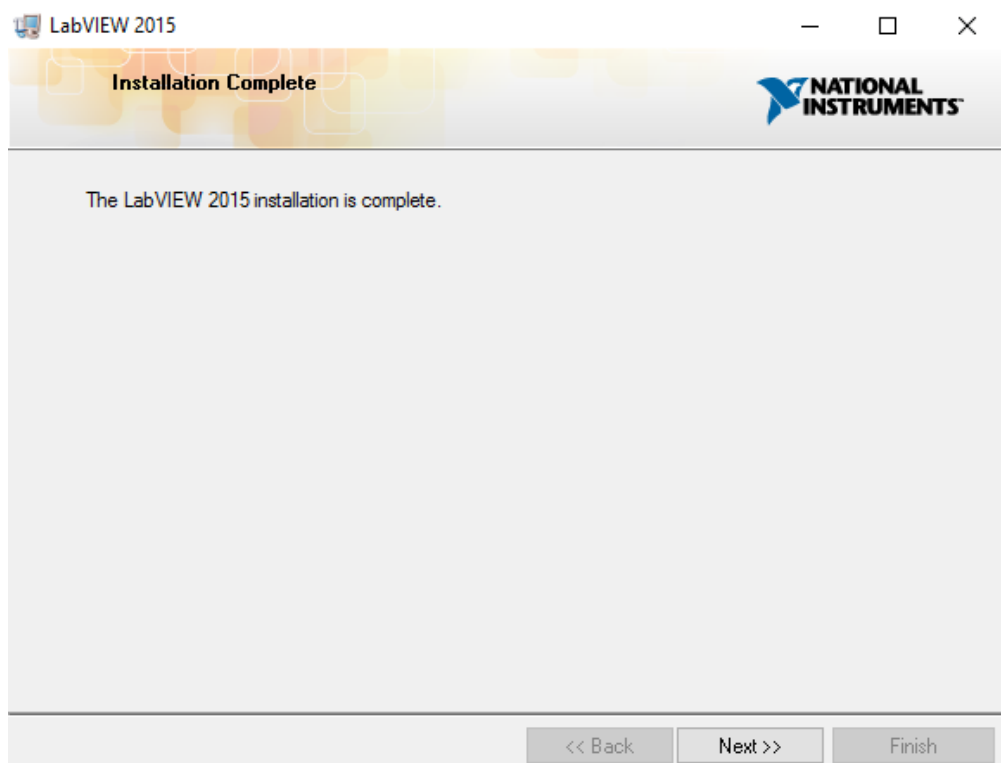
13. Las notificaciones y advertencias son notificadas antes de continuar con la instalación.



14. Para iniciar la instalación se notifica al usuario de los productos que serán instalados y los que no también. Al dar clic en Next se inicia la instalación.



15. Cuando la instalación dar clic en Next para cerrar la ventana.



Instalador Vision and Motion

Módulo NI Vision Development

1. Ingresar a la dirección:

http://www.ni.com/gate/gb/GB_EVALTLKTSIGPROC/ESA

Para descargar la última versión del Módulo para Procesamiento de Imágenes NI Vision Development.



Choose your country ▾

Evalúe Algoritmos Avanzados de Procesamiento de Señales e Imágenes con NI LabVIEW

1 Paso Uno: Inicie la Descarga

Tiempo Aproximado: 4 horas para descargar todos los componentes (con conexión de banda ancha)

[Descargue el Sistema de Desarrollo de NI LabVIEW](#)

Sistema de Desarrollo Profesional de LabVIEW

NI LabVIEW es un software de desarrollo de sistemas usado por millones de ingenieros y científicos para desarrollar sistemas sofisticados de medidas, pruebas y control. La plataforma LabVIEW es escalable a través de múltiples dispositivos y sistemas operativos, desde su introducción en 1986 se ha vuelto un líder en la industria.

[Descargue LabVIEW \(14.5 GB\)](#)

Nota: Para poder descargar y evaluar los Módulos y Juegos de Herramientas adicionales de LabVIEW que se muestran a continuación, debe tener una licencia activa o la versión de evaluación de Sistema de Desarrollo de LabVIEW.

[Descargue el Módulo para Procesamiento de Imágenes](#)

Módulo NI Vision Development

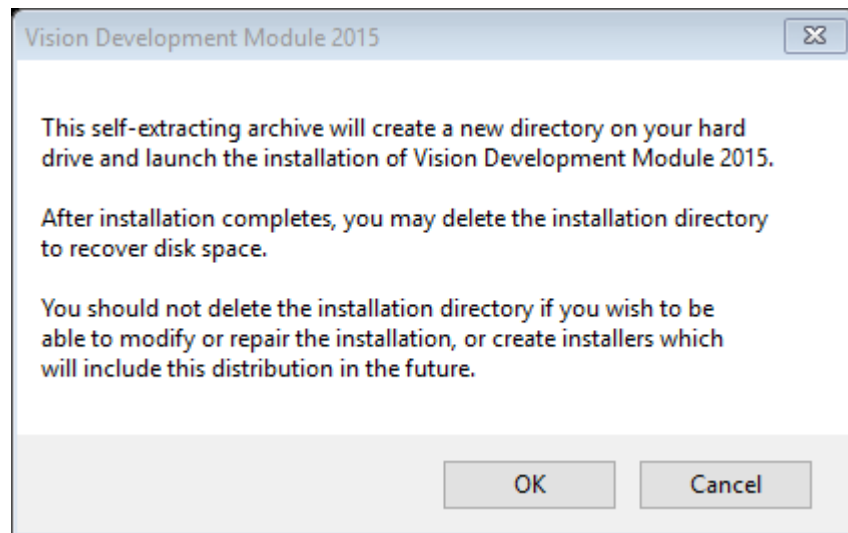
Este módulo está diseñado para ayudarle a desarrollar e implementar aplicaciones de visión artificial.

[Descargue el Módulo \(2,04 GB\)](#)

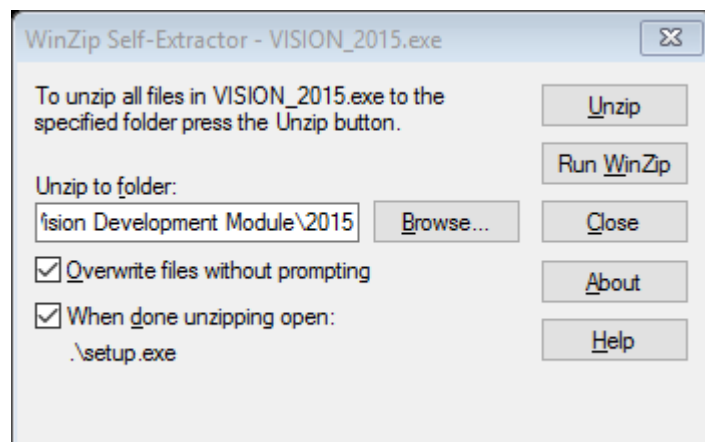
2. Al descargar el archivo se crea con el ícono siguiente, dar doble clic para acceder.



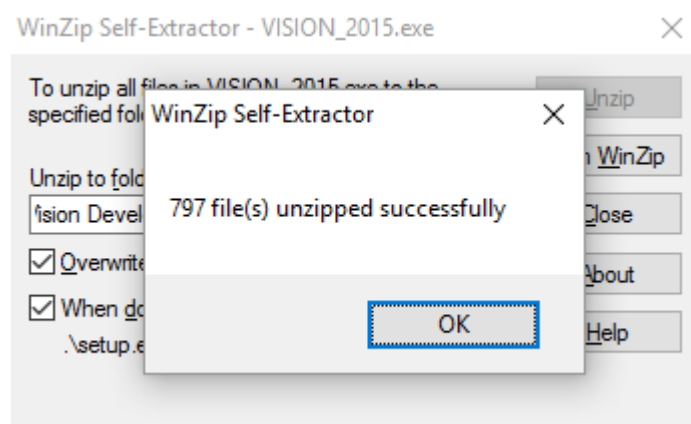
3. Se abre una ventana para extraer los archivos del módulo descargado, dar clic en OK.



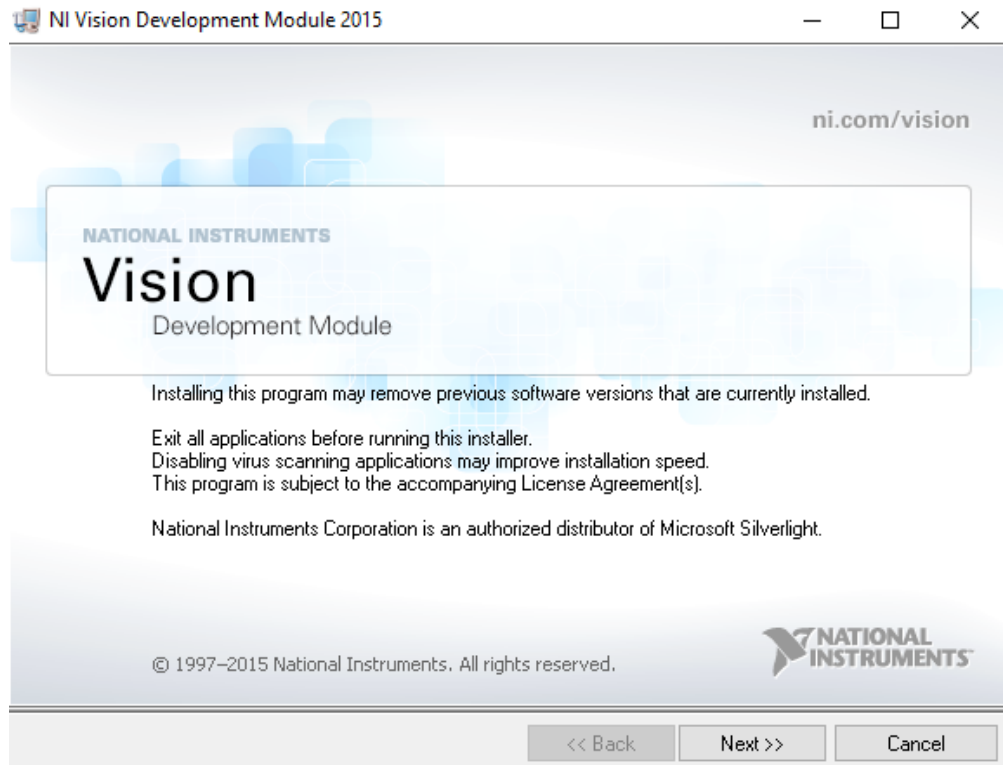
4. Para extraer los archivos únicamente se debe dar clic en Unzip.



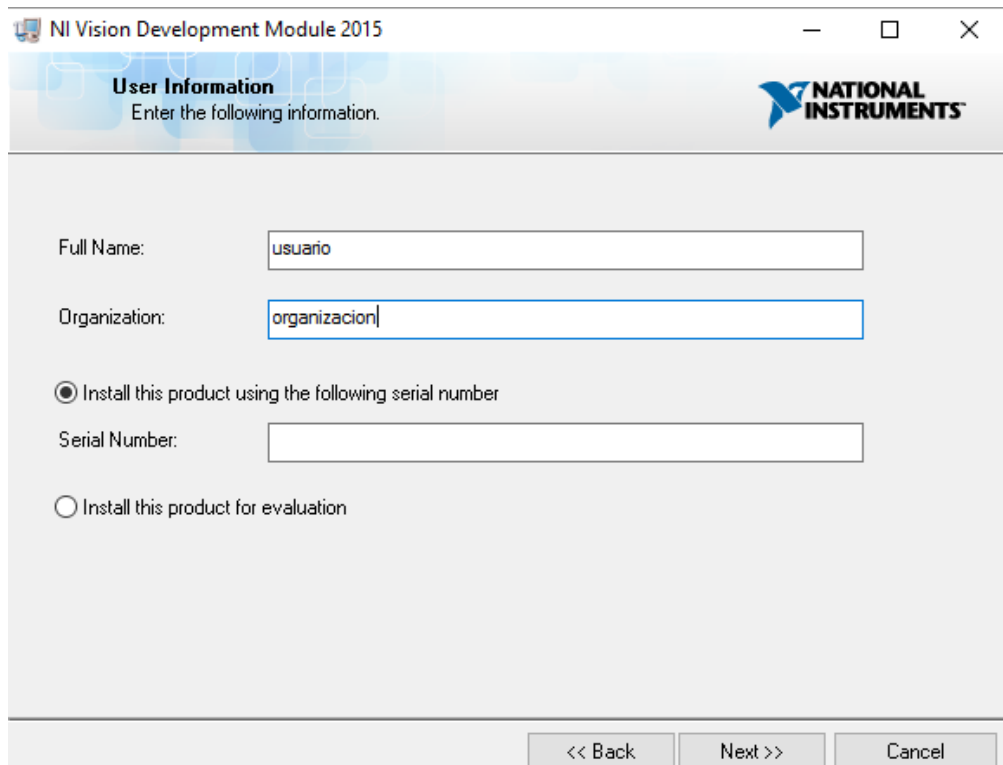
5. El programa indicará al usuario cuando la extracción finalice, dar clic en OK.



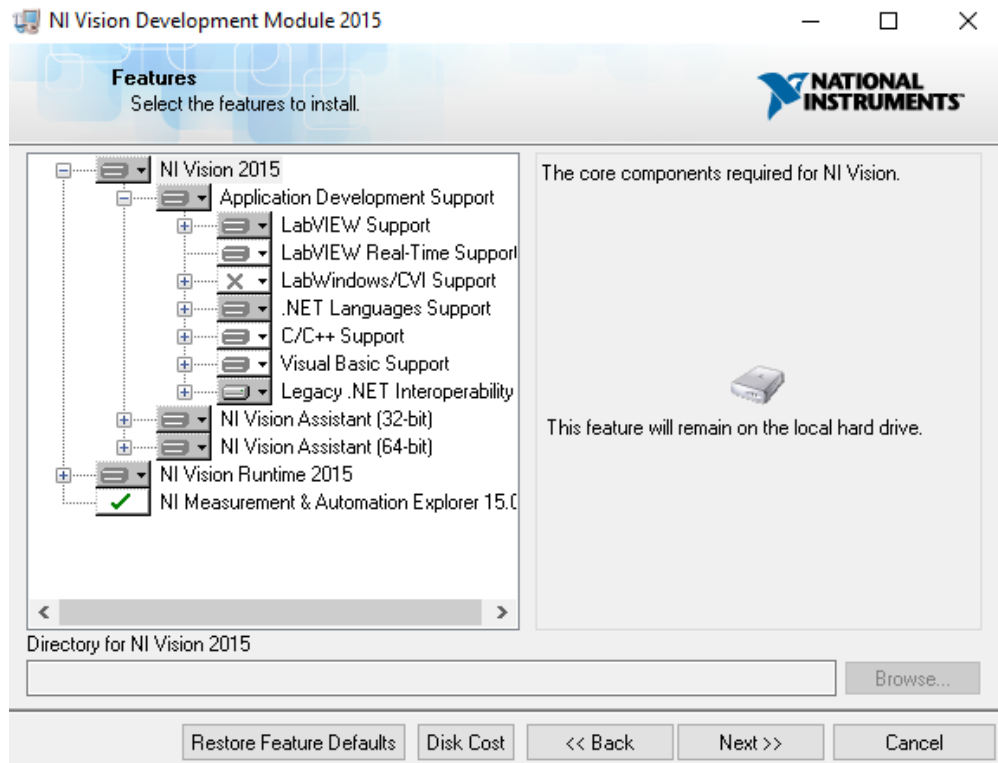
6. El asistente de instalación es similar al de LabVIEW, dar clic en Next para comenzar.



7. Ingresar los datos de Usuario, Organización y activar el producto mediante el número de serie o si se desea la versión de prueba.



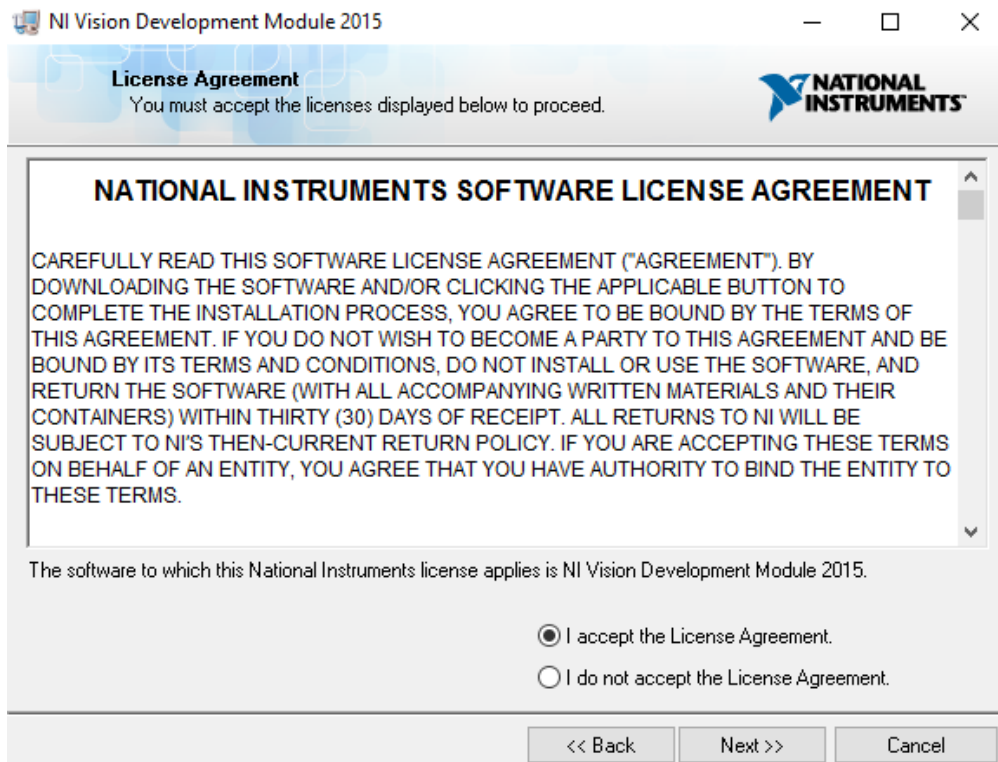
8. Elegir las prestaciones necesarias y dar clic en Next.



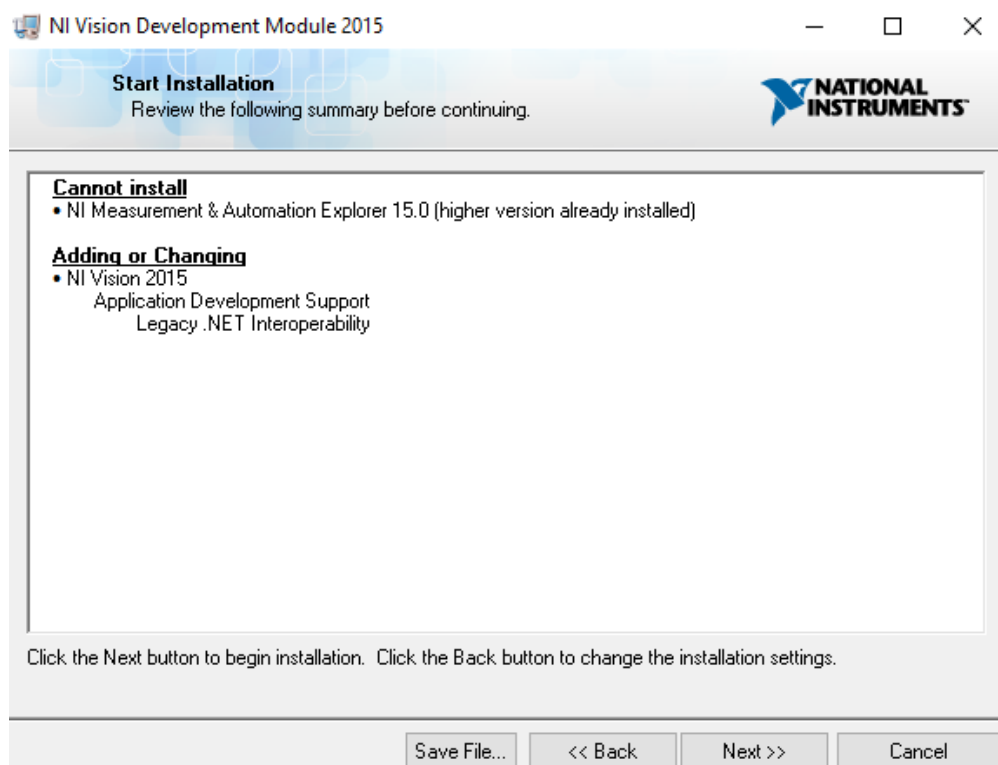
9. Se presentan las notificaciones del producto a instalarse en el sistema.



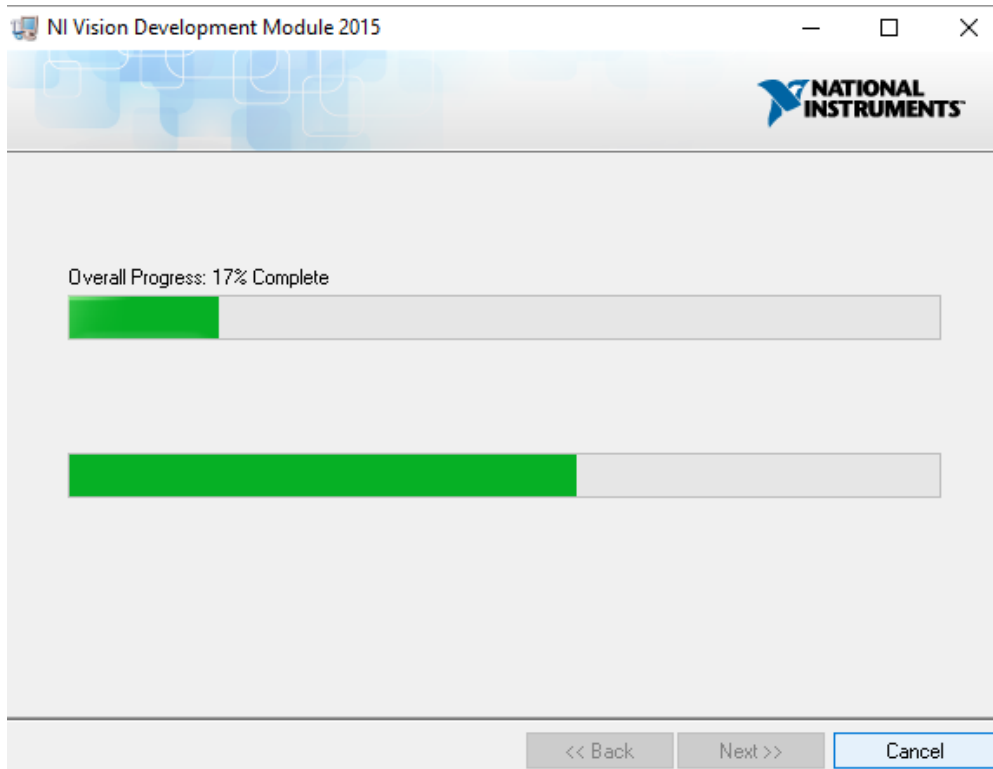
10. El siguiente paso es aceptar los términos y condiciones de la licencia del producto a ser instalado.



11. El asistente indica los elementos que serán instalados y los que no debido a la presencia de una versión más reciente.

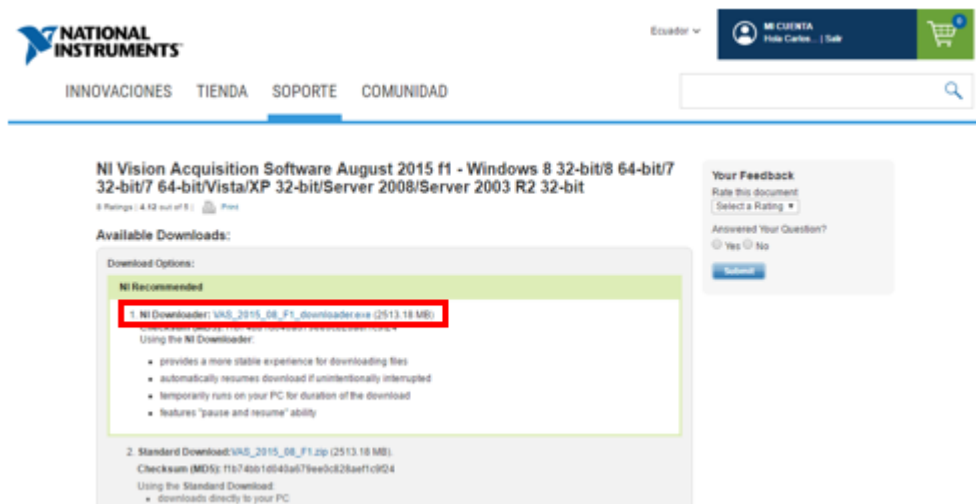


12. El asistente inicia la instalación y al finalizar dar clic en Next para cerrar la ventana.



NI Vision Acquisition Software

1. Ingresar a la dirección <http://www.ni.com/download/ni-vision-acquisition-software-august-2015-f1/5486/en/> y seleccionar el enlace de NI Downloader enmarcado en rojo



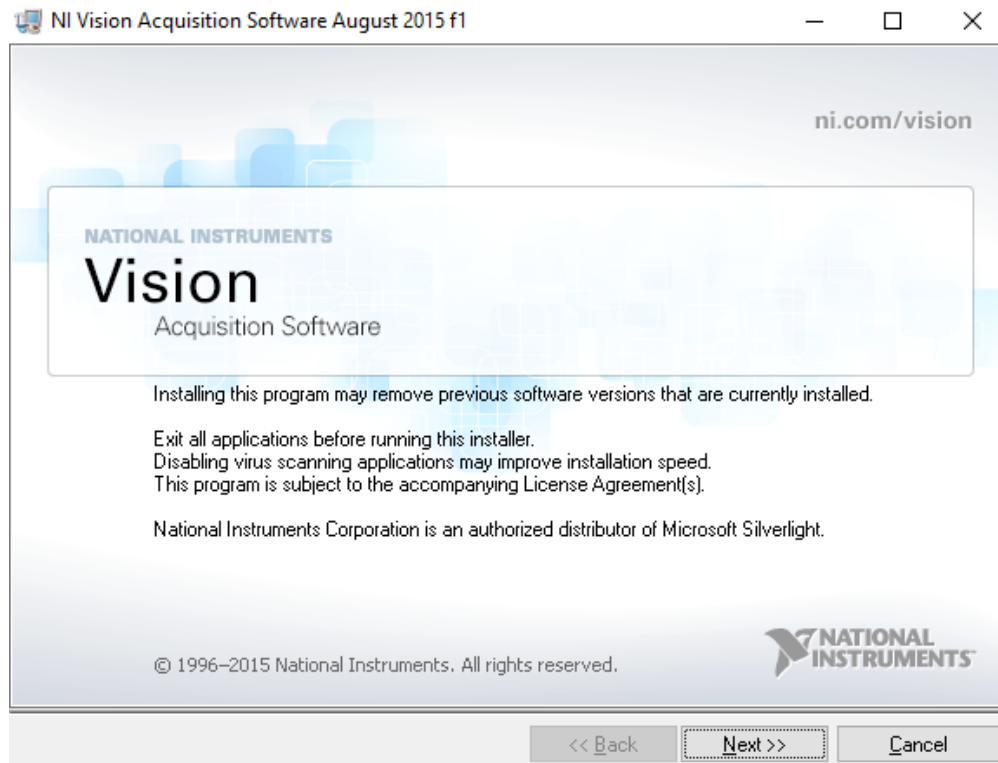
- Al descargar el complemento se crea una carpeta comprimida del software y sus archivos, la cual se extrae para acceder al instalador.

Name	Date modified	Type	Size
Bin	14-Jul-15 16:26	File folder	
Licenses	14-Jul-15 16:11	File folder	
Products	14-Jul-15 16:11	File folder	
autorun	14-Jul-15 16:23	Application	333 KB
autorun	14-Jul-15 16:22	Setup Information	1 KB
nidist.id	14-Jul-15 16:26	ID File	1 KB
patents	01-May-15 11:48	Text Document	24 KB
setup	30-Jun-15 21:08	Application	1,432 KB
setup	14-Jul-15 16:26	Configuration sett...	150 KB
VisionAcqReleaseNotes	17-Jun-15 19:20	Chrome HTML Do...	53 KB

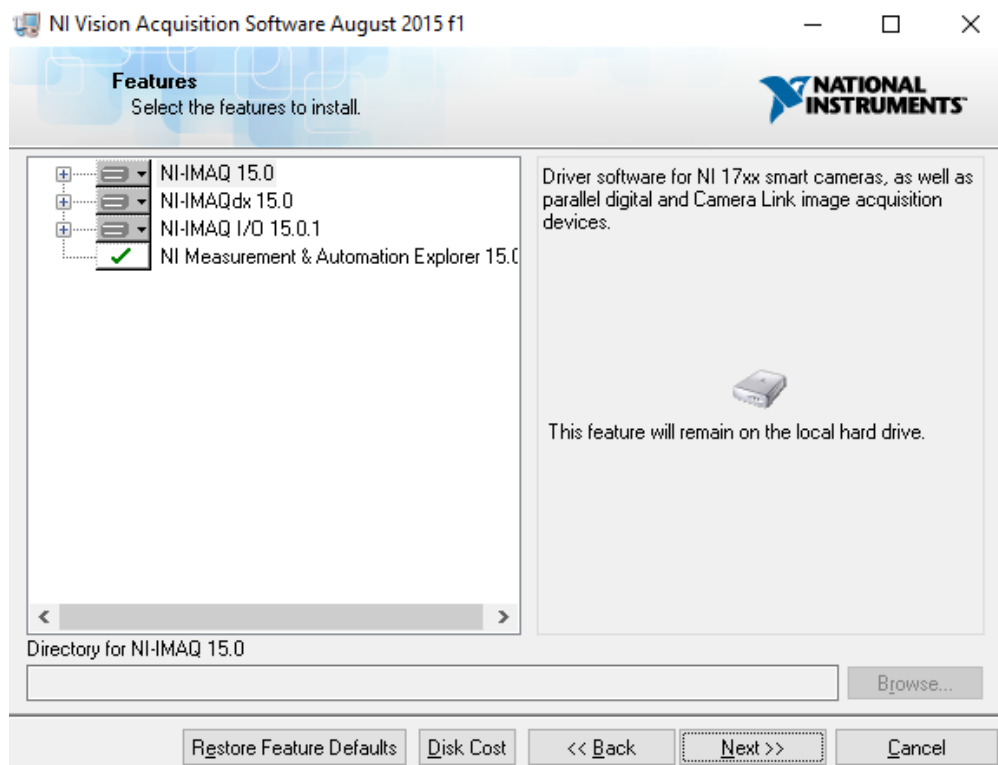
- Dar doble clic en autorun para abrir el asistente de instalación y seleccionar Install NI Vision Acquisition Software August 2015 f1.



4. Dar clic en Next para continuar.



5. Seleccionar los parámetros que se desean instalar y dar clic en Next hasta finalizar la instalación.



Requisitos del Sistema Recomendados por National Instruments

Windows	Run-Time Engine	Entorno de Desarrollo
Procesador	Pentium III/Celeron de 866 MHz (o equivalente) o posterior (32 bits) Pentium 4 G1 (o equivalente) o posterior (64 bits)	Pentium 4M (o equivalente) o posterior (32 bits) Pentium 4 G1 (o equivalente) o posterior (64 bits)
RAM	256 MB	1 GB
Resolución de Pantalla	1024 x 768 píxeles	1024 x 768 píxeles
SO	Windows 10/8.1/8/7 SP1 (32 y 64 bits) Windows Server 2012 R2 (64 bits) Windows Server 2008 R2 SP1 (64 bits)	Windows 10/8.1/8/7 SP1 (32 y 64 bits) Windows Server 2012 R2 (64 bits) Windows Server 2008 R2 SP1 (64 bits)
Espacio en Disco	620 MB	5 GB (Incluye controladores predeterminados del DVD de Controladores de Dispositivos de NI)

Mac OS X		
	Run-Time Engine	Entorno de Desarrollo
Procesador	Procesador basado en Intel	Procesador basado en Intel
RAM	256 MB	2 GB
Resolución de Pantalla	1024 x 768 píxeles	1024 x 768 píxeles
SO	OS X 10.0 o 10.11	OS X 10.10 o 10.11
Espacio en Disco	257 MB	1.4 GB para la instalación completa (excluyendo controladores)

Linux		
	Run-Time Engine	Entorno de Desarrollo
Procesador	Pentium III/Celeron 866 MHz o equivalente	Pentium 4M (o equivalente) o posterior (32 bits) Pentium 4 G1 (o equivalente) o posterior (64 bits)
RAM	256 MB	1 GB
Resolución de Pantalla	1024 x 768 píxeles	1024 x 768 píxeles
SO	Linux kernel 2.6x or 3.x y GNU C Library (glibc) Version 2.11 para la arquitectura Intel x86_64 (64 bits)	Red Hat Enterprise Linux Desktop + Workstation 6.5 o posterior, open SUSE 12.3 o 13.1, open SUSE LEAP 42.1, Scientific Linux 6.5 o posterior CentOS 7

Linux		
	Run-Time Engine	Entorno de Desarrollo
Espacio en Disco	108 MB (32 bits) 98 MB (64 bits)	1.1 GB para la instalación completa de cada bitness 2.2 GB para la instalación completa de LabVIEW de 32 y 64 bits

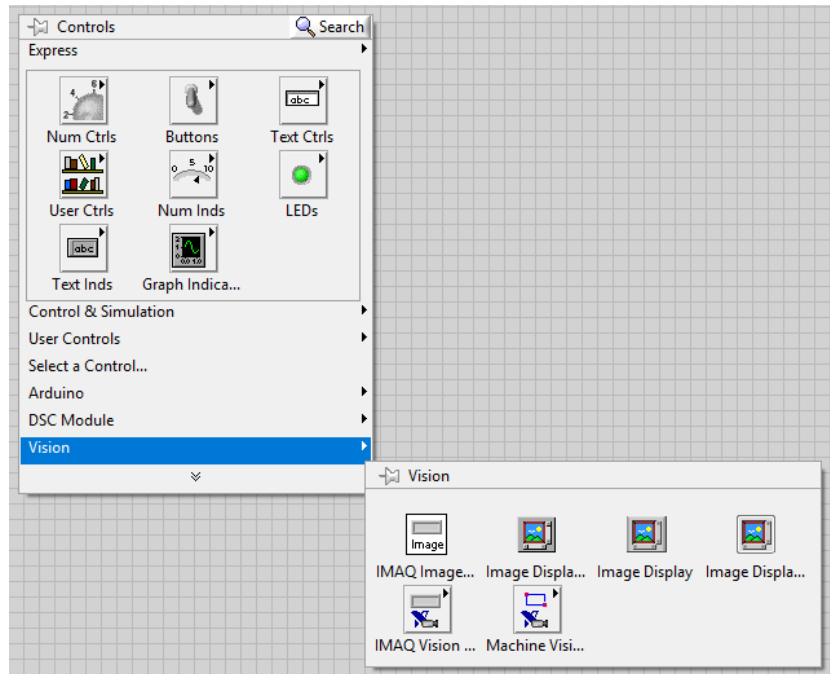
Requisitos del Módulo Vision Development para LabVIEW en Windows

- Sistema de desarrollo Base, Completo o Profesional de LabVIEW (32 y 64 bits) para Windows más lo siguiente:
 - Procesador mínimo: Pentium de 233 MHz o equivalente
 - Pantalla: Adaptador de resolución de video de 1,024 x 768 con una pantalla de 16 bits
 - Por lo menos 3.2 GB de espacio adicional en disco para el Módulo Vision Development para LabVIEW

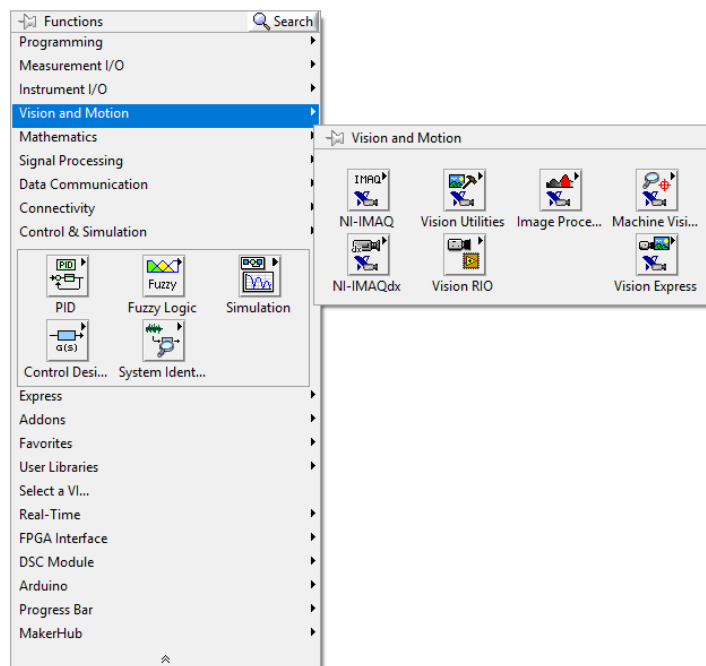
Paleta Vision and Motion en LabVIEW

Los elementos o funciones principales para la creación de un programa se encuentran en las paletas que se muestran a continuación en las capturas de LabVIEW.

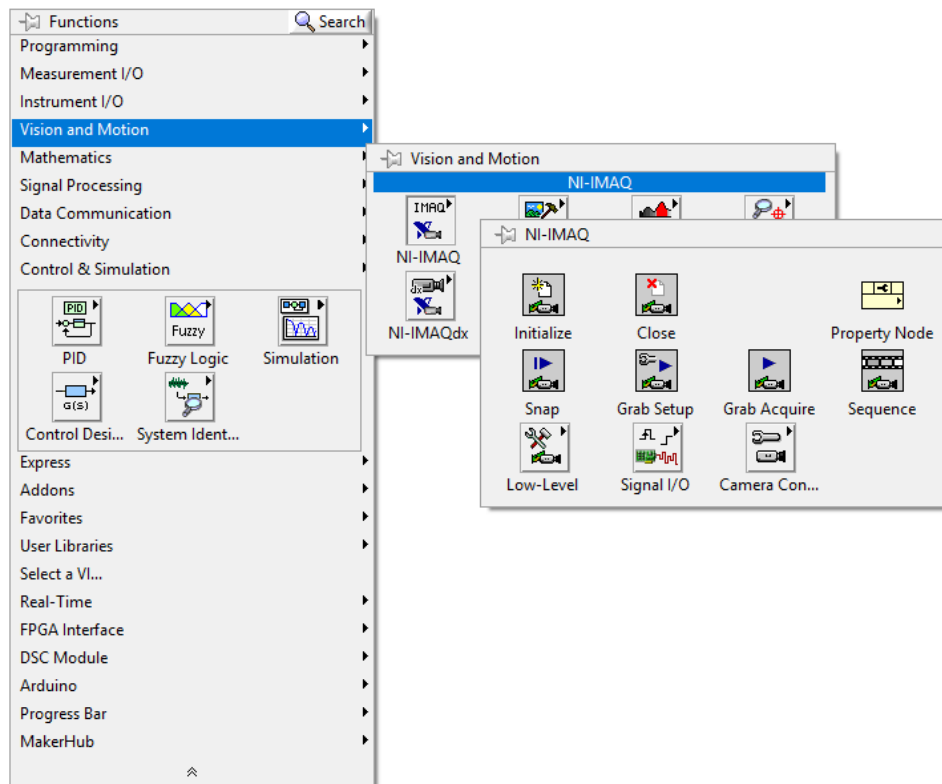
- Funciones para el Front Panel de LabVIEW.



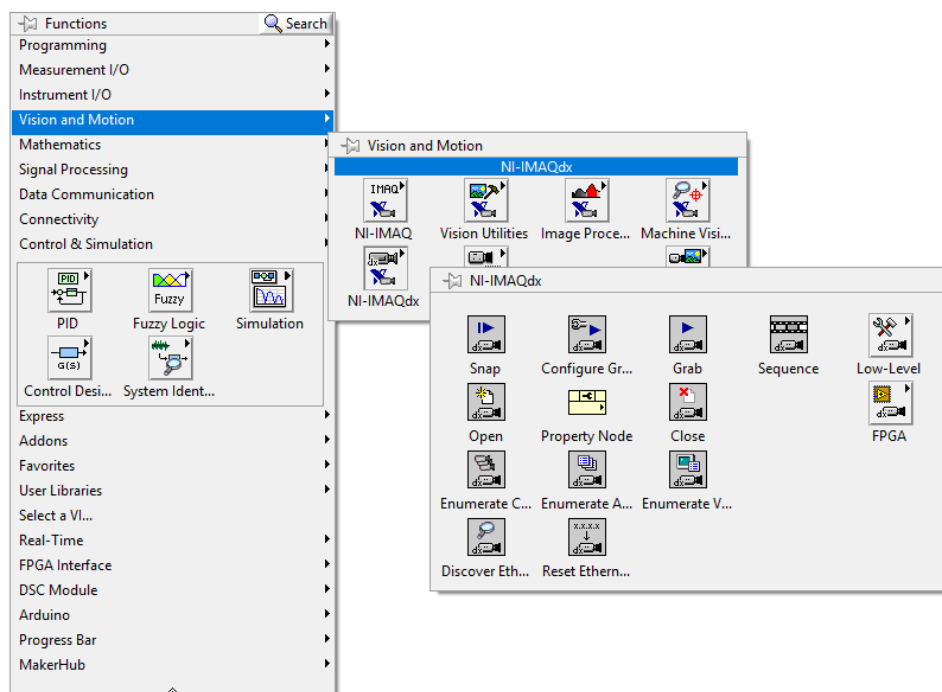
- Funciones en el Diagrama de Bloques de LabVIEW.



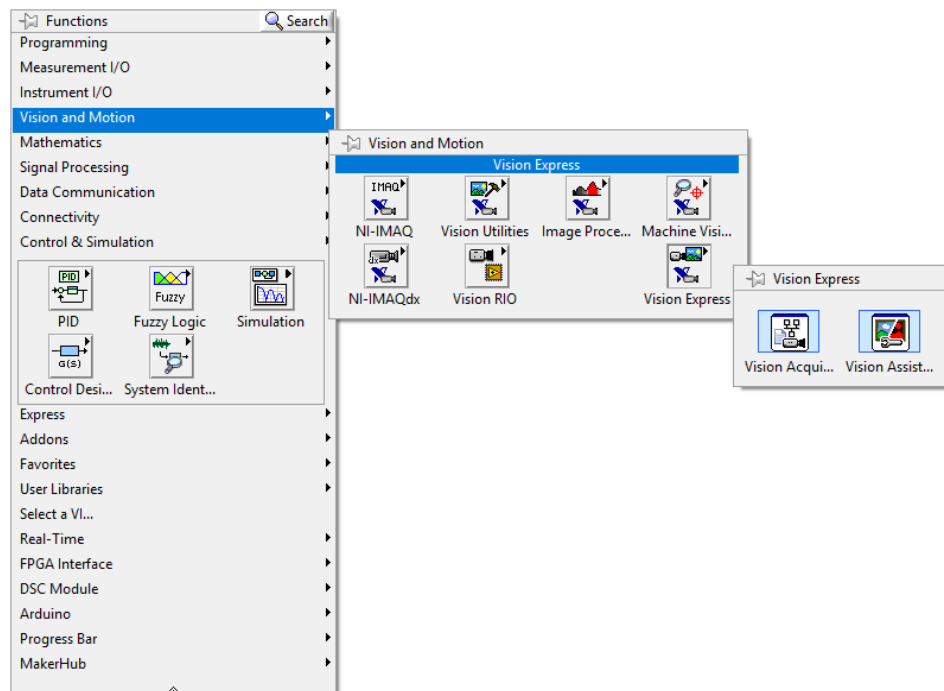
- Funciones para la adquisición de imágenes a través de dispositivos nativos.



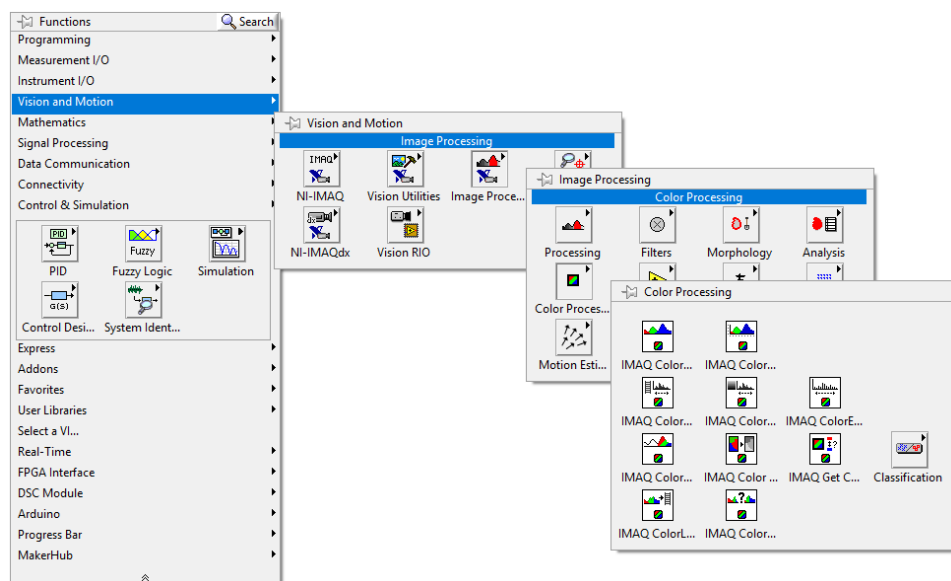
- Funciones para la adquisición de imágenes a través de dispositivos externos de terceros.



- Funciones de Vision Express, que son asistentes de configuración para adquisición y procesamiento de imágenes.

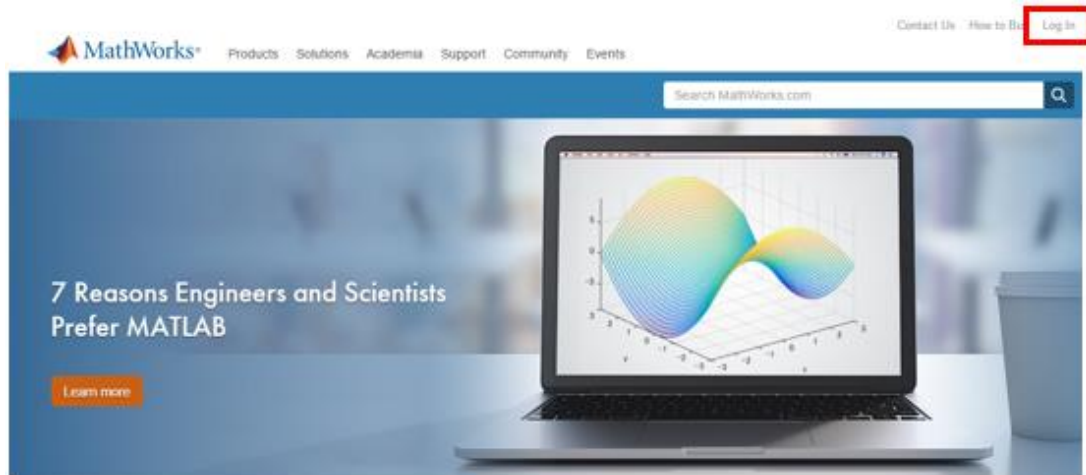


- Paleta de funciones para procesamiento de color.



Instalador de MATLAB

1. Ingresar a <https://www.mathworks.com/> y dar click en Log In para ingresar o crear una nueva cuenta de usuario con el mail institucional.



2. Al crear la cuenta y especificar el uso de estudiante, la página solicita ingresar la licencia de la institución para validarla y poder descargar el software.

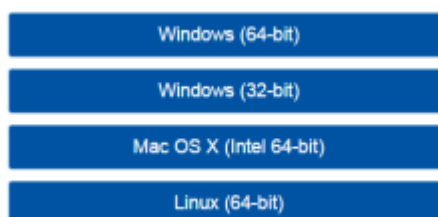
Associate My Account with a License

Activation Key or License Number*:

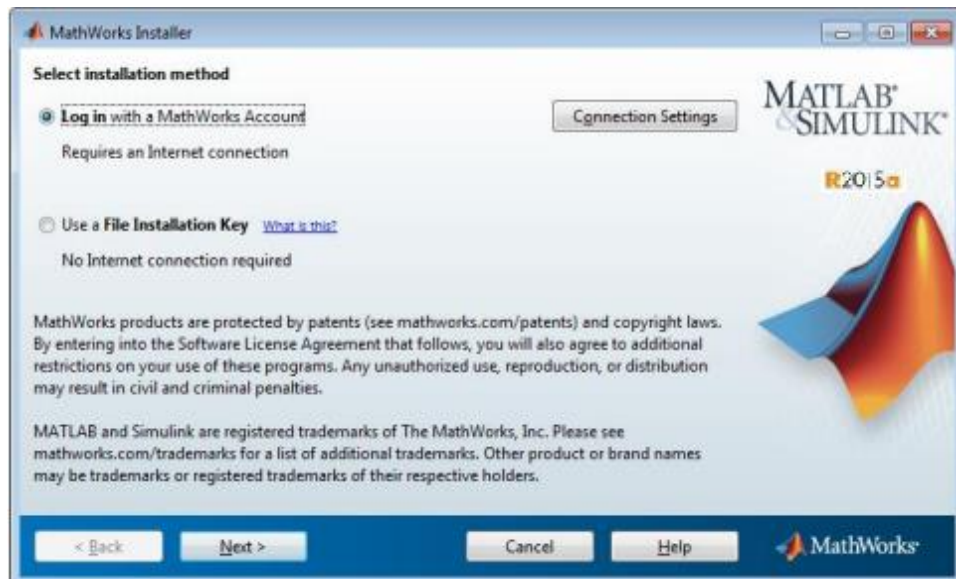
Type 'ver' at the MATLAB prompt to get your [license number](#) or get an activation key from your MATLAB administrator.

**Some Licenses may require an Activation Key to associate*

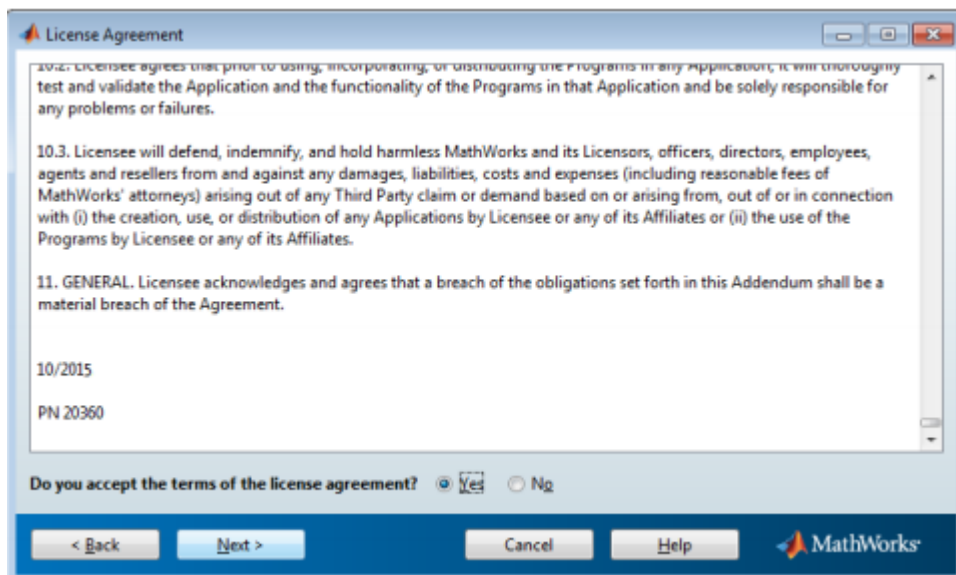
3. Una vez asociada la licencia se debe elegir la versión que se desea descargar y la plataforma en donde se va a utilizar Matlab.



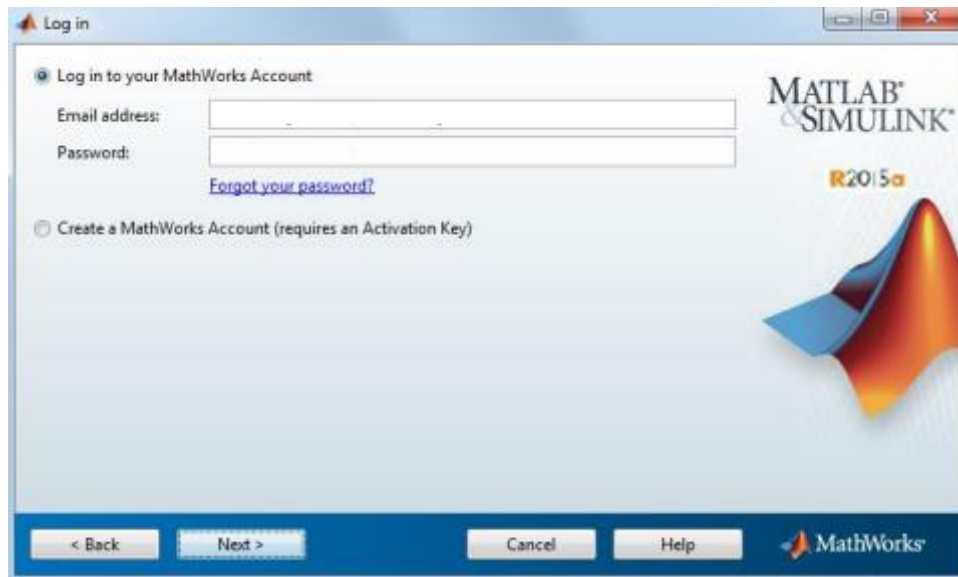
- Al descargar el software se ejecuta el instalador y se muestra la siguiente pantalla.



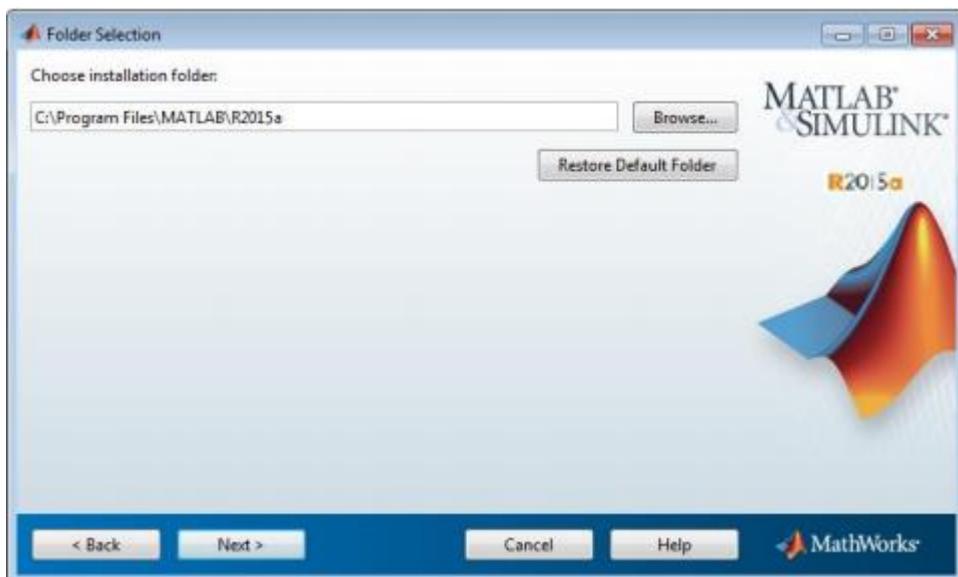
- Dar clic en Next y revisar los términos y condiciones de la licencia de Matlab.



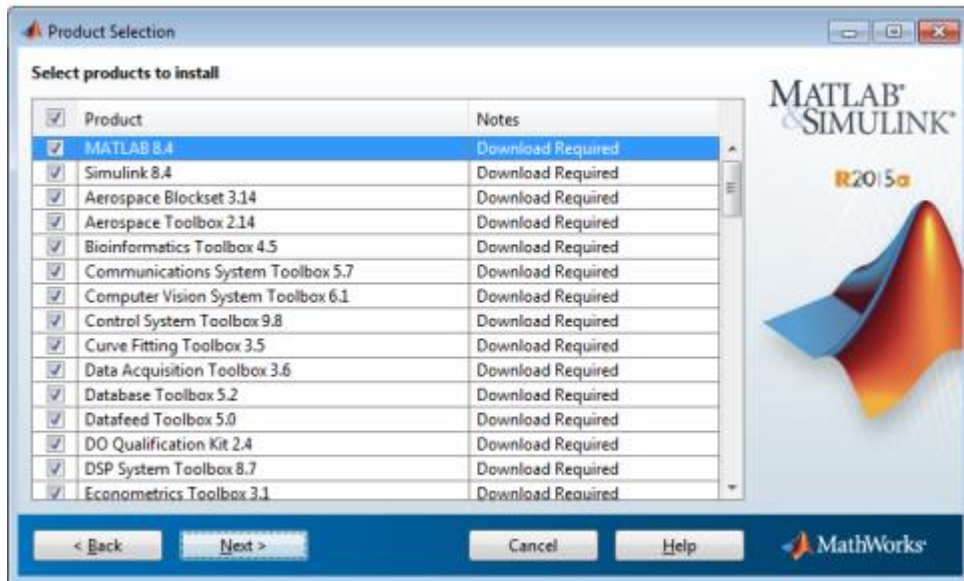
- Ingresar el e-mail de usuario y la contraseña para asociar la cuenta de Mathworks, dar clic en Next.



- Elegir la dirección en el sistema para crear la carpeta de instalación de Matlab.



8. Seleccionar las prestaciones que se desean instalar, se debe tomar en cuenta el espacio en disco que toma instalar todos los productos.

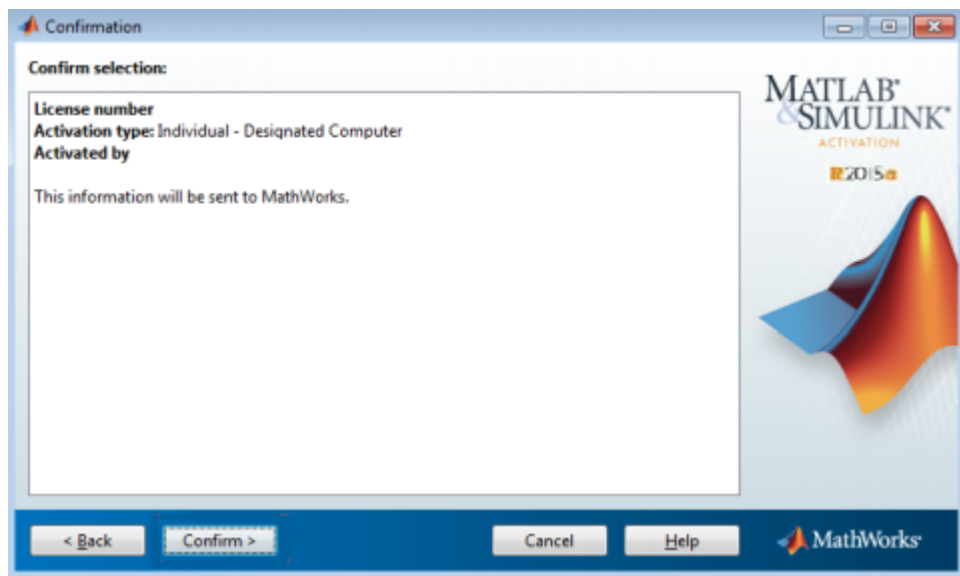


9. Dar clic en Next y finalmente instalar el software.

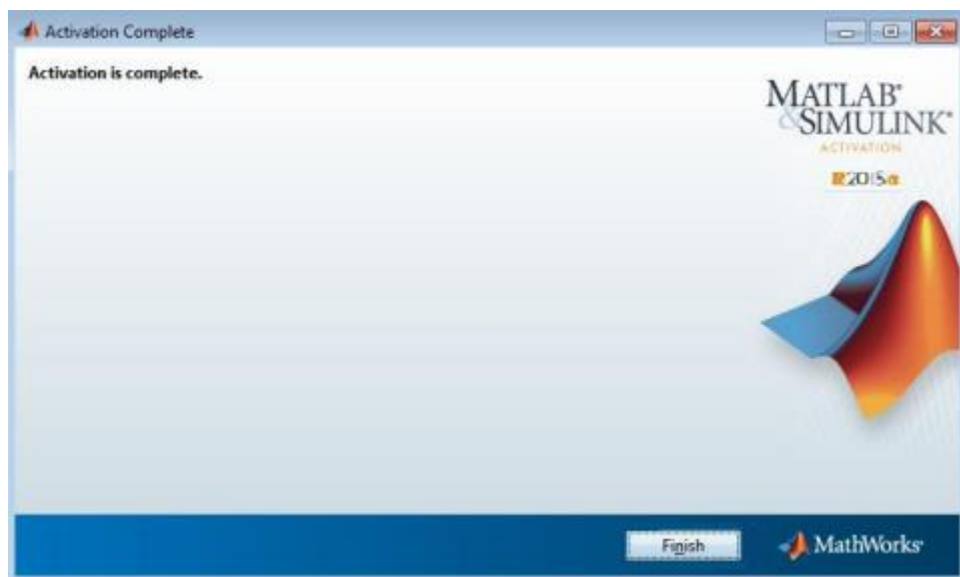
10. El último paso es activar Matlab para poder usar el programa, dar clic en Next.



11. Para confirmar la activación hacer clic en Confirm>.



12. Cuando la licencia esté activada aparece la siguiente ventana y el software está listo para ser usado.



Anexo B: Hoja de datos del Rotámetro

ROTÁMETRO Z-4003

ESPECIFICACIONES

Serie Z-400 mecanizado rotámetro tubo de acrílico, medidor de flujo de la tubería vertical es el uso de agua limpia, conexión de rosca.

- Mecanizado resistente acrílico cuerpo del medidor, altamente pulido para un acabado claro.
- Lectura directa escala permanente
- Blanco reflector trasero para una fácil lectura
- Precisión: 4%, Max Press.: bar, Max. temperatura: 60C

Z-400 tubería series caudalímetro							
Modelo	Gama de la medida		Hilo (F/BSP)	Peso (Kg)	De trabajo Presión	Precisión	Temperatura (°C)
	GPM	Lpm					
Z-4001	0.2-2	1-7	1/2"	0.2	≤6bar	± 6%	55
Z-4002	0.5-5	1.8-18	1/2"				
Z-4003	1-10	4-36	3/4"	0.65			
Z-4004	2-20	10-70	1"				
Z-4005	5-30	20-110	1"				
Z-4006	20-60	80-220	1-1/2"	1.4			
Z-4007	30-110	100-400	2"				
Modelo	Z-4001	Z-4002	Z-4003	Z-4004	Z-4005	Z-4006	Z-4007
Un	210	310	278	265	265	306	345
B	32	32	45	51	51	51	75
C	Conjunta (PP) o 1Cr18Ni9Ti (304SS)						
D	O-Ring (caucho de silicona o caucho fluorado)					O-Ring (caucho nitrilo)	
E	Bloqueo de anillo (ABS)					101 (nylon)	
F	Flotador 1Cr18Ni9Ti (304SS)						
G	Barra de guía (316SS)						
H	Cuerpo (PMMA)						



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores **CARLOS IVÁN BUSTAMANTE DUQUE Y MIGUEL DARIO ESCUDERO VÁSCONEZ.**

En la ciudad de Latacunga, a los 18 días del mes de mayo del 2017.

Ing. Edwin Pruna

DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Franklin Silva

DIRECTOR DE CARRERA

Dr. Rodrigo Vaca

SECRETARIO ACADÉMICO

Aprobado por: