

# PROTOTIPO DE SISTEMA DE CALIBRACIÓN AUTOMÁTICA DE MEDIDORES DE AGUA RESIDENCIALES MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL

Director: Ing. Edwin Pruna

Integrantes:

- Carlos Iván Bustamante Duque
- Miguel Dario Escudero Vásconez



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

# Planteamiento del Problema

- ▶ 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.



# Planteamiento del Problema

- ▶ Hasta el año 2010 se conoce que en la ciudad de Latacunga hay una población 170489 de habitantes, con un promedio de 5 personas por vivienda actualmente hay 19112 medidores de agua potable activos de los cuales el 75% están completamente operativos. En Enero del 2017 según datos de la empresa EPMAPAL existen 19957 medidores instalados en la zona urbana, estos poseen una vida útil de 7 años.
- ▶ En el proceso de compra de medidores por parte de la empresa se toma una muestra de 10 o 15 medidores por cada 1000 adquiridos y se envían a un laboratorio particular para verificar su correcto funcionamiento.
- ▶ Actualmente los medidores no tienen un protocolo de mantenimiento ya que se consideran desechables y constan con garantía de un año.



# 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.
- ▶ Este trabajo 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 varios de los problemas 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 desenvuelve.



# Objetivo General

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



**ESPE**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# 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.



# 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) o de 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 ni aumentos.



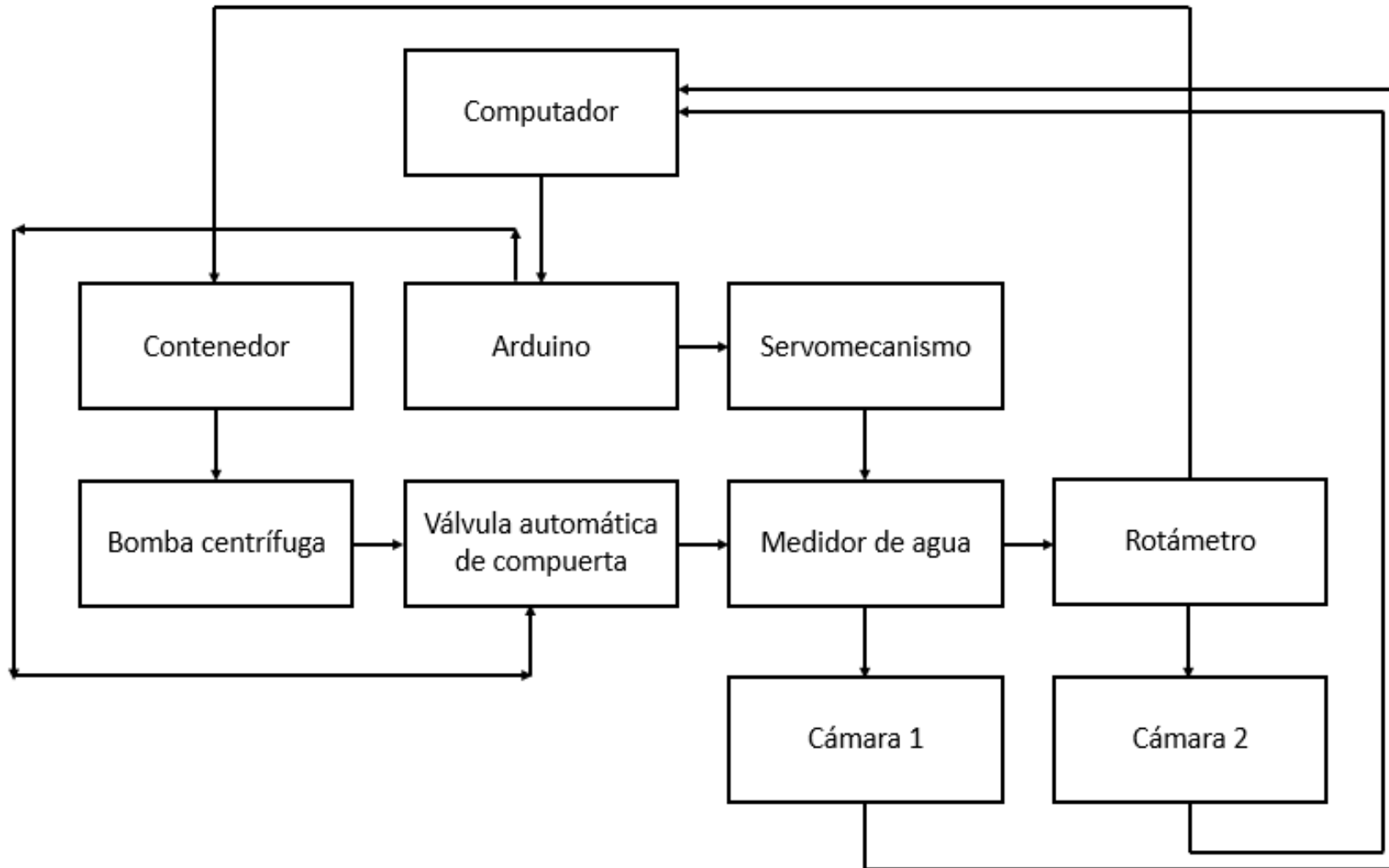
# Especificación de Requisitos del Sistema

- ▶ Para obtener los datos de flujo se utilizan dos cámaras tanto para el rotámetro antes mencionado como instrumento patrón referencial así como para el medidor de agua residencial respectivamente. La parte de control está centralizada y programada en LabVIEW en una laptop con procesador CORE 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.

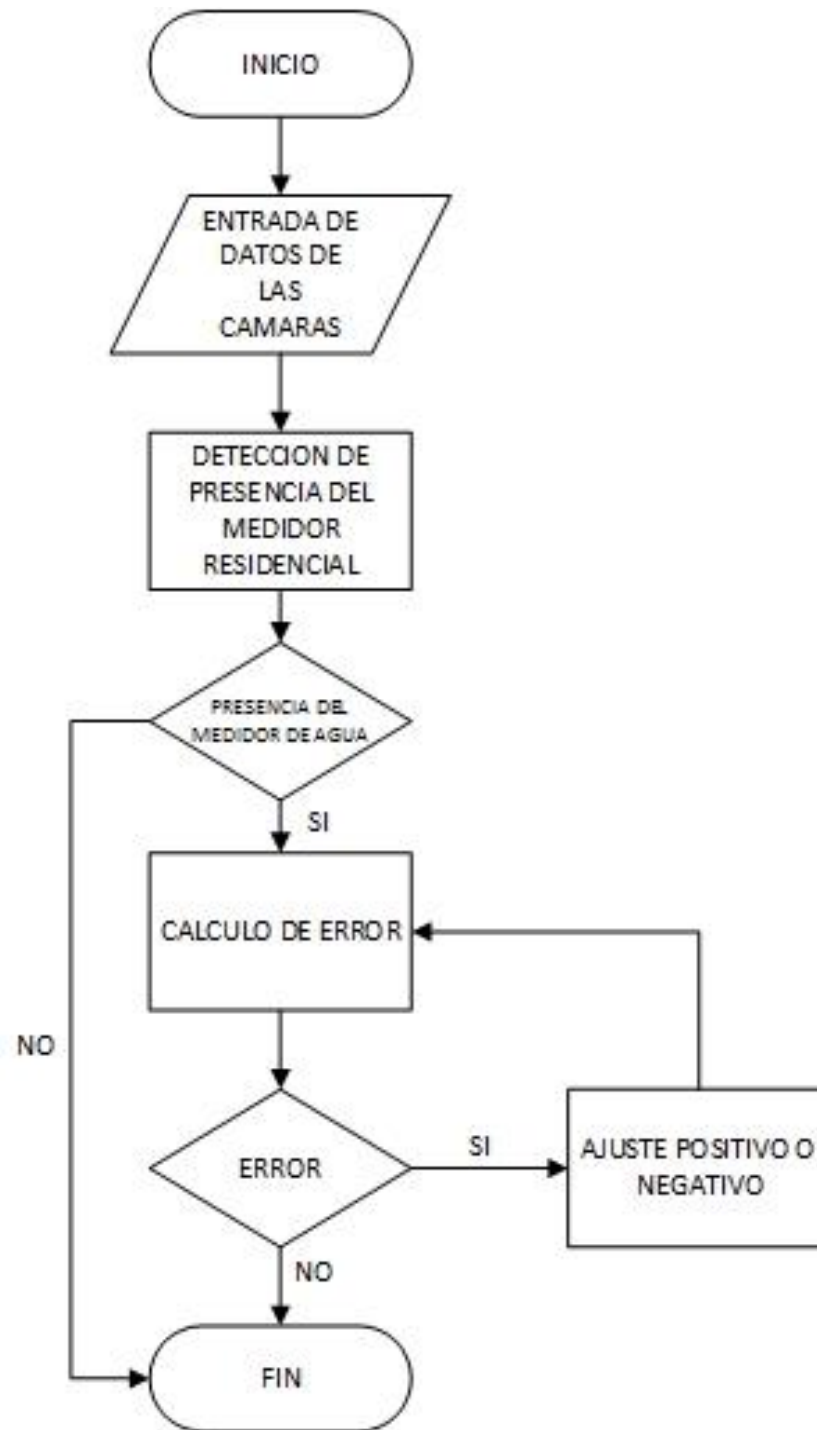




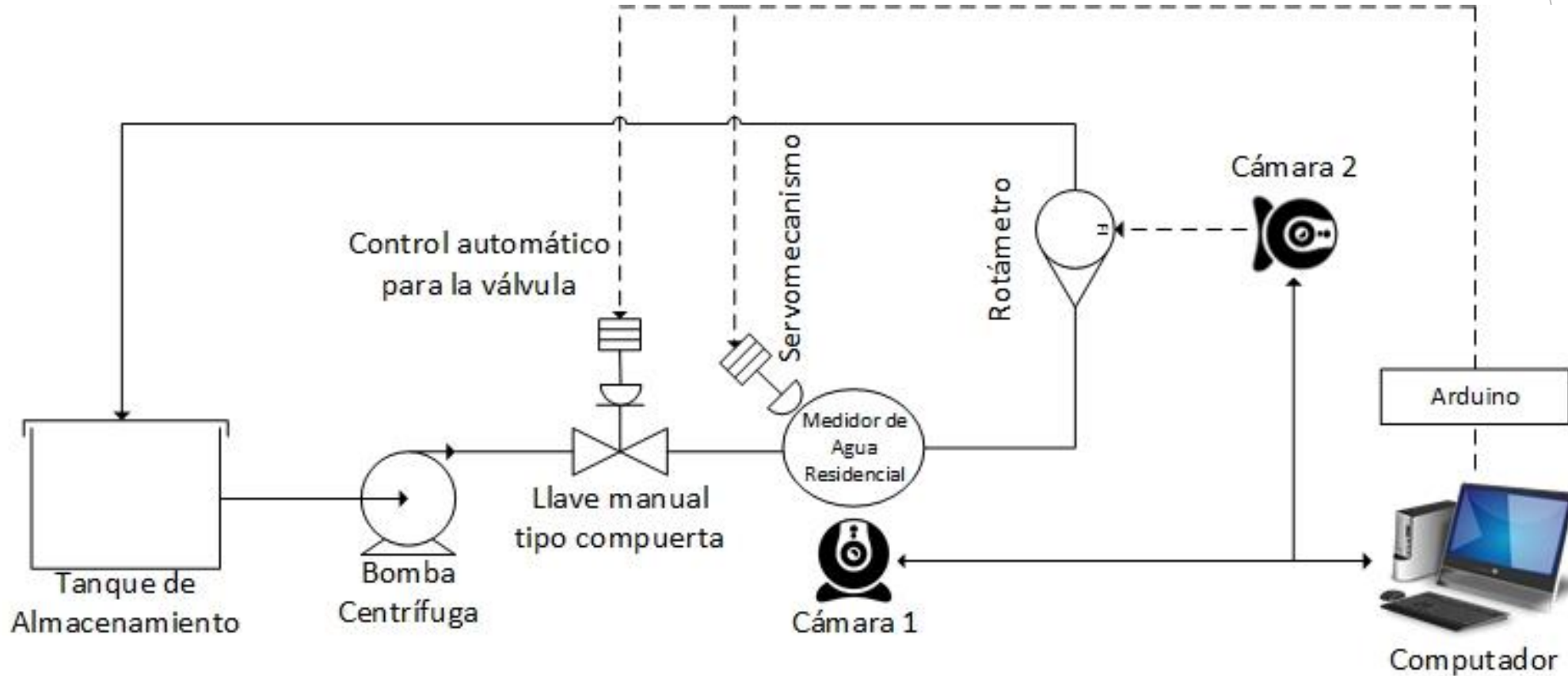
# Diagrama de bloques



# Diagrama de Flujo



# Diagrama Esquemático



# Componentes del Sistema

- ▶ **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 el flujo que se requiera.
- ▶ **Medidor de agua residencial:** es el instrumento sometido a pruebas de medición para su respectiva calibración y ajuste.



# Componentes del Sistema

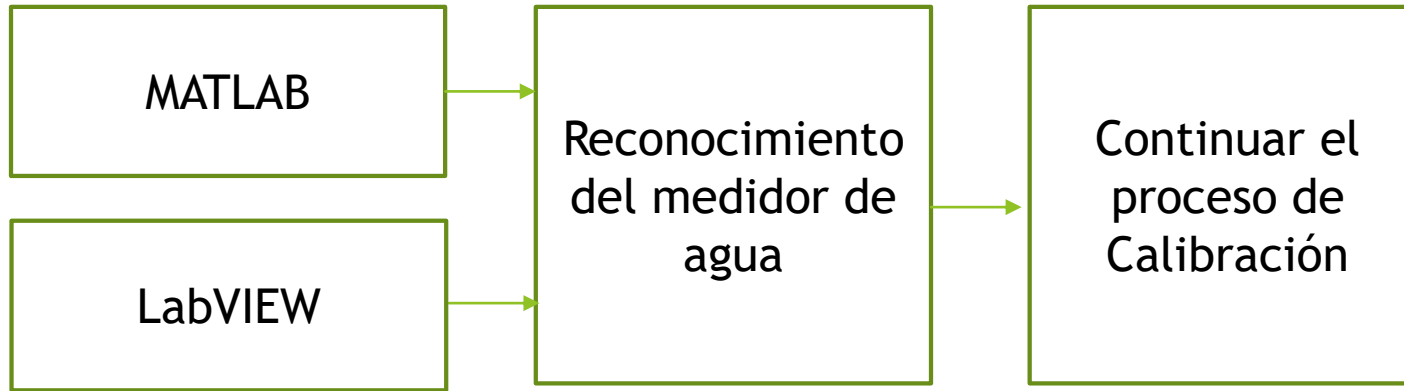
- ▶ **Servomecanismo:** se encarga de mover automáticamente el tornillo regulador del medidor residencial para corregir el error en su lectura.
- ▶ **Rotámetro:** tiene dos escalas graduadas en GPM y LPM, su objetivo es mostrar el flujo de agua de forma física que pasa por la tubería.
- ▶ **Cámaras:** 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.



# Prototipo Implementado



# Descripción de la red



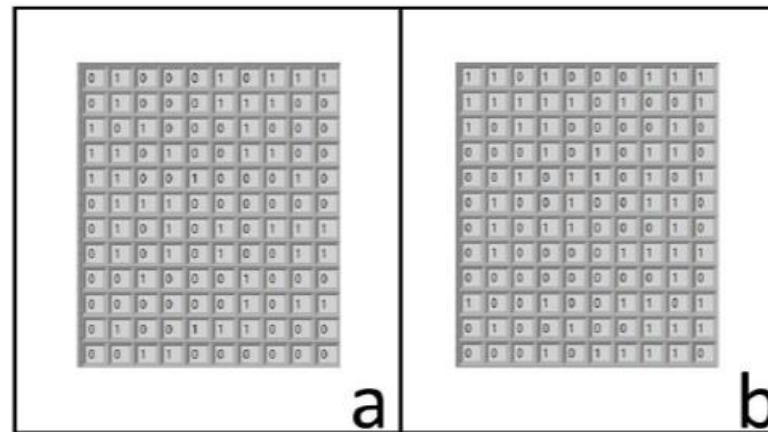
## - LabVIEW

120	100	144	97	102	94	112	107	143	113
114	136	143	41	160	126	124	110	121	
154	154	145	94	106	125	103	100	110	152
110	162	160	60	162	83	116	103	110	117
139	140	91	100	114	90	142	130	84	100
95	162	103	175	100	111	163	96	171	154
172	162	112	180	103	168	172	133	101	101
90	179	100	120	130	99	114	123	120	121
170	110	107	96	111	87	160	107	111	112
179	140	100	176	140	121	96	101	100	113
115	143	156	142	156	127	104	102	88	127
120	176	101	112	107	170	101	100	152	103
170	90	119	153	85	120	160	110	112	100
100	84	175	165	122	110	161	80	121	140
80	130	154	151	130	140	110	140	104	80
140	140	154	113	140	123	113	80	14	132
101	87	90	99	102	101	105	100	170	115
140	83	120	140	177	90	110	120	150	80
171	120	100	152	174	140	100	127	100	101
151	170	141	140	101	140	111	113	140	84
100	105	171	80	122	110	172	104	103	100
170	100	110	130	130	105	101	117	112	101

a

102	102	80	147	168	150	130	140	130	81
100	100	100	80	140	100	113	172	170	177
174	127	100	100	83	162	80	91	114	110
143	100	141	150	100	113	120	140	127	97
113	172	114	134	140	143	160	172	114	131
122	123	120	147	83	80	130	162	85	101
150	113	102	87	134	87	147	130	90	131
84	140	130	150	150	125	130	131	114	103
141	102	100	80	100	162	100	172	125	105
80	120	130	120	110	150	160	122	135	144
130	127	100	130	141	150	100	90	171	121
104	141	142	110	112	105	80	107	115	80
111	170	104	115	140	130	100	87	114	130
175	101	100	107	104	132	91	122	100	154
163	172	80	120	170	111	161	174	82	101
144	177	95	105	110	172	142	97	104	130
170	141	110	120	104	103	120	140	140	145
100	134	137	100	90	110	120	90	102	172
95	140	134	127	110	111	83	130	80	144
127	100	152	172	100	90	127	157	113	100
117	123	114	90	100	140	95	101	143	107
103	141	111	120	133	103	130	134	80	140

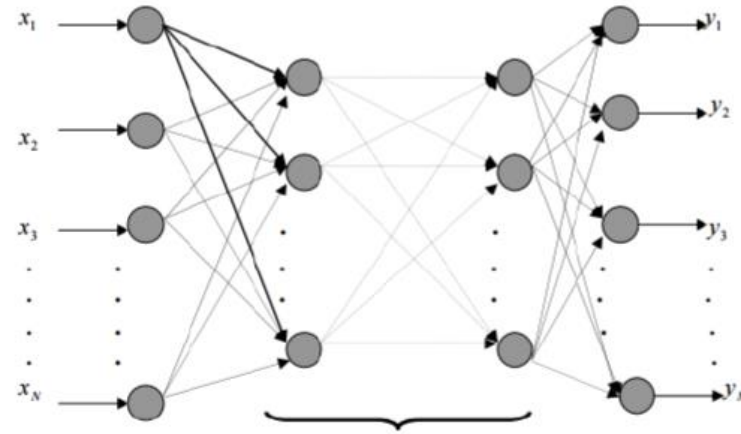
b





## - Matlab

```
MATLAB script
net = newff(uno,dos,[3,1],{'tansig','tansig'},'trainlm');
P=dos;
T = uno;
net.trainParam.epochs = 10000;
net.trainParam.goal = 0.00001;
net = train(net, P, T);
out=sim(net, P);
```

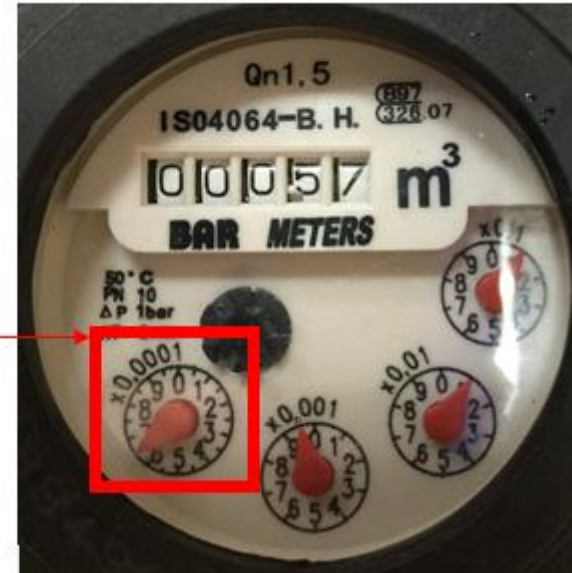
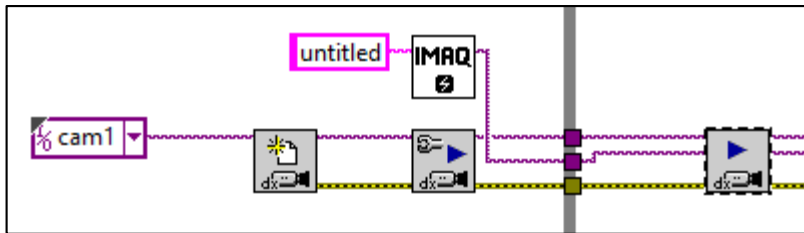


Resultado final de la Red

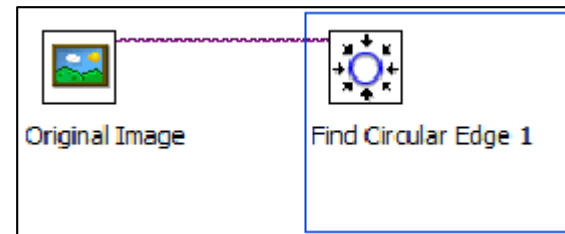




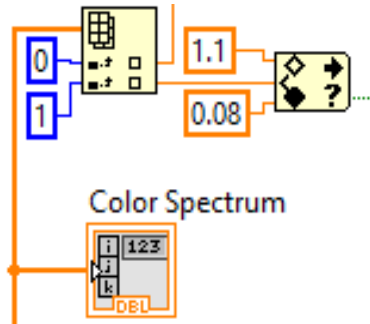
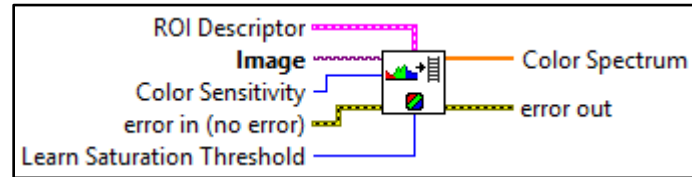
# Adquisición y procesamiento del medidor de agua



Indicador de litros



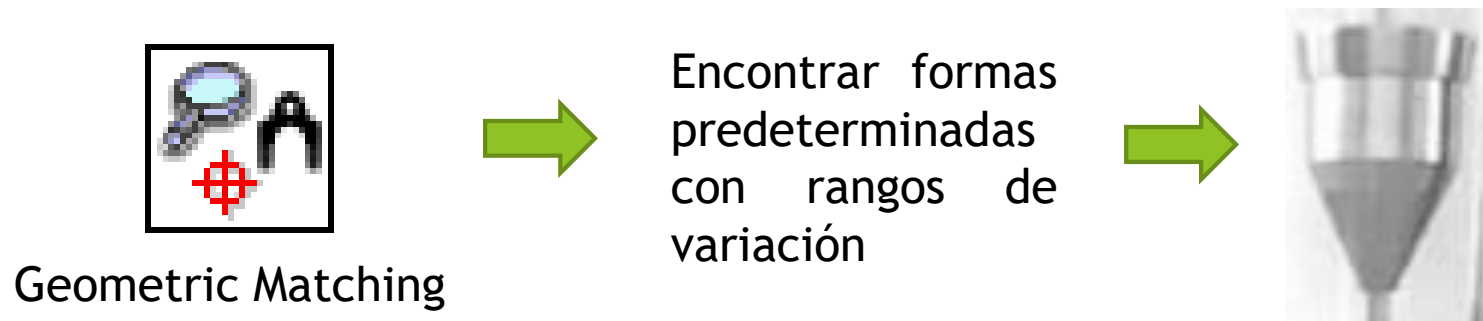
# Procesamiento del Medidor de Agua

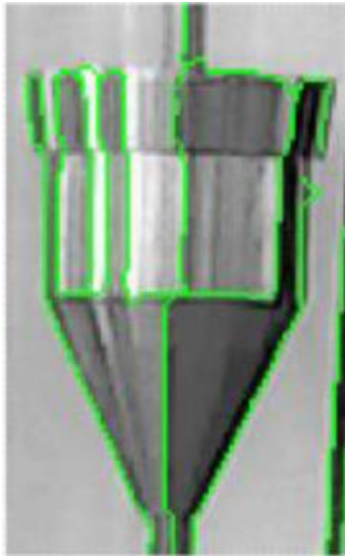


# Adquisición del Rotámetro



## Reconocimiento del flotador





Encuentra la  
figura patrón

- Escalada
- Rotada



Results ...	1
X Position	391.89
Y Position	82.87
Angle	0.05
Scale	99.97
Frame	899.94

## Ecuación característica 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

## Results

Linear model Poly2:

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

Coefficients (with 95% confidence bounds):

p1 = 9.051e-05 (7.399e-05, 0.000107)

p2 = -0.1417 (-0.1508, -0.1326)

p3 = 49.36 (48.2, 50.52)

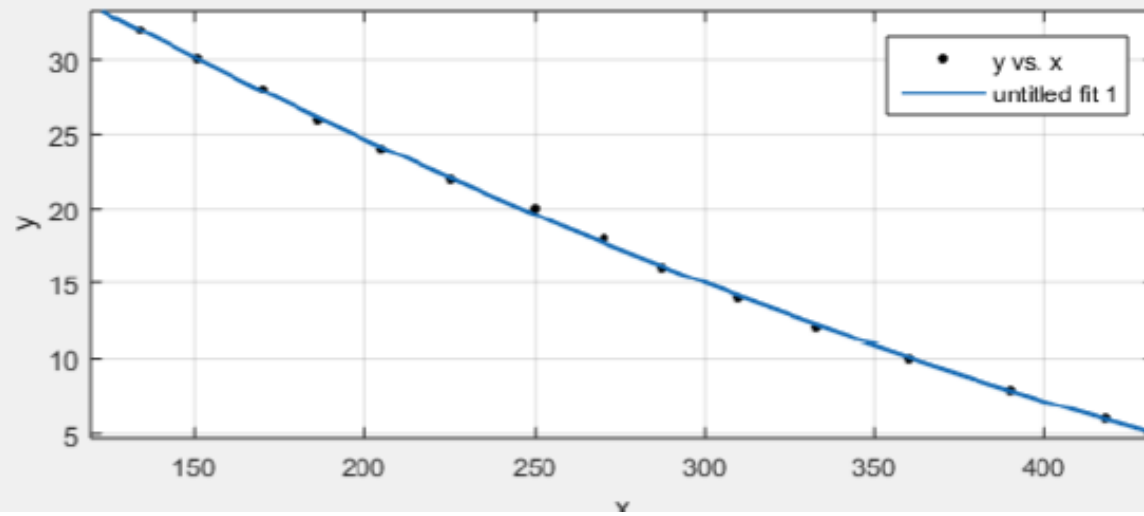
Goodness of fit:

SSE: 0.4158

R-square: 0.9995

Adjusted R-square: 0.9995

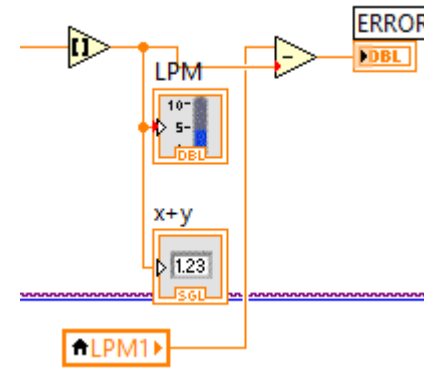
RMSE: 0.1944





# Algoritmo de Control

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.



# HMI

El HMI implementado cuenta con distintos escenarios que permiten que el operador interactúa y visualice todos los aspectos relevantes del proceso de calibración de una manera clara e intuitiva.

## - Pantalla de inicio





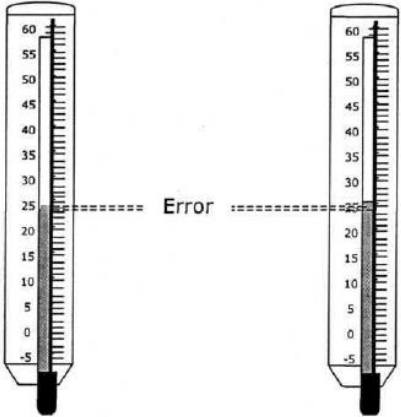
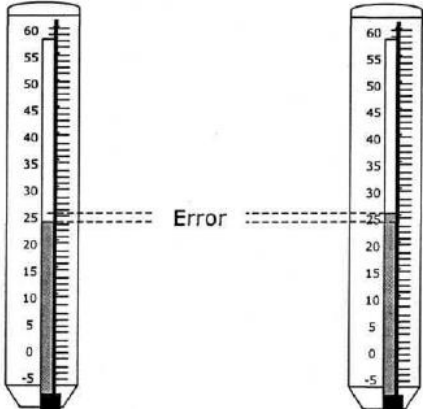




# Procedimiento



3  
5  
7  
9  
11



# RESULTADOS

Valor Real	Valor Medido	Error (LPM)	Error (%)
6	6	0	0
12	12	0	0
18	18	0	0
24	26	2	6,25
30	31	1	3,125
36	37	1	3,125
30	31	1	3,125
24	26	2	6,25
18	18	0	0
12	12	0	0
6	6	0	0

Valor Real	Valor Medido	Error (LPM)	Error (%)
6	6	0	0
12	12	0	0
18	18	0	0
24	24	0	0
30	30	0	0
36	36	0	0
30	30	0	0
24	24	0	0
18	18	0	0
12	12	0	0
6	6	0	0

# 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.

# LIMITACIONES

- ▶ 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.

# 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.

# 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.