

Design of an automated irrigation system using PLC and Internet of Things to improve corn production in the Junin, Peru

Freedy Sotelo-Valer, Dr.¹, Carlos Rojas, M.Sc.², Nimrod Rojas-Muñoz, Ing.³

Freddy Sotelo-Ñaves, M.Sc.⁴, Jorge Lopez-Cordova, Maestro⁵

^{1,2}National University of Engineering, Peru, fresov@uni.edu.pe, crojas@uni.edu.pe

³National University of Engineering, Peru, nimrodrojasm@gmail.com

⁴National University of Engineering, Peru, fresov2@gmail.com

⁵Ricardo Palma University, Peru, jorgeluislopezc@hotmail.com

Abstract– Water is a vital resource for the country's agriculture; it is estimated that by 2025 there will be a water deficiency, in addition to droughts and frosts generated by the El Niño phenomenon that directly affects the country's agriculture. For this reason, an efficient system with the use of water is required to minimize water consumption, which will reduce the future scarcity of water resources and will also reduce corn production expenses, which will achieve an improvement in productivity and economy of rural areas.

Keywords– Water deficiency, automation, irrigation pump, sensors, actuators.

I. INTRODUCCIÓN

El Valle del Mantaro, en Perú, se caracteriza por la abundancia de cultivos que posee, lo cual requiere con urgencia sistemas que optimicen el uso del recurso hídrico, al implementar sistema automatizados se estima que se reducirá el consumo del agua en 14 600 m³ cada ciclo de cultivo de maíz el cual se da aproximadamente en 150 días, lo cual llevará a un ahorro de S/. 10 950.00 por cada ciclo de cosechas [1], lo cual beneficiara sobre todos a los pequeños y medianos agricultores.

Los sistemas existentes en el valle Mantaro generan ineficiencias por el consumo excesivo de agua en los cultivos y la falta de automatización en sus procesos que agravan la situación de los agricultores que en su mayoría son de escasos recursos económicos, por lo cual resulta importante contar con un sistema automatizado el cual permita una reducción de costos significativa, mejorando así la competitividad del productor de la zona.

Las empresas actualmente enfrentan desafíos relacionados con la introducción de sistemas de automatización en la agricultura, lo cual implica una inversión que permita optimizar el consumo de agua a través del tiempo [2].

Descripción del problema

Aunque el sector agrícola utiliza la mayor cantidad de agua dulce, es el más ineficiente en el uso del recurso: de los aproximadamente 37 mil millones de metros cúbicos que fluyen por las vertientes del Pacífico, se pierde el 53 por

ciento, o 19 mil millones de metros cúbicos. al mar. Los aproximadamente 14 mil millones de metros cúbicos restantes se utilizan para riego y solo 703 millones de metros cúbicos se utilizan para riego técnico, que tiene una eficiencia del 70%. Los 13 mil millones de metros cúbicos restantes se utilizan para riego por gravedad con una eficiencia del 35%. Las pérdidas por ductos, distribución y uso de ambos sistemas de riego alcanzaron los 8 mil millones de metros cúbicos. Ver Fig. 1.

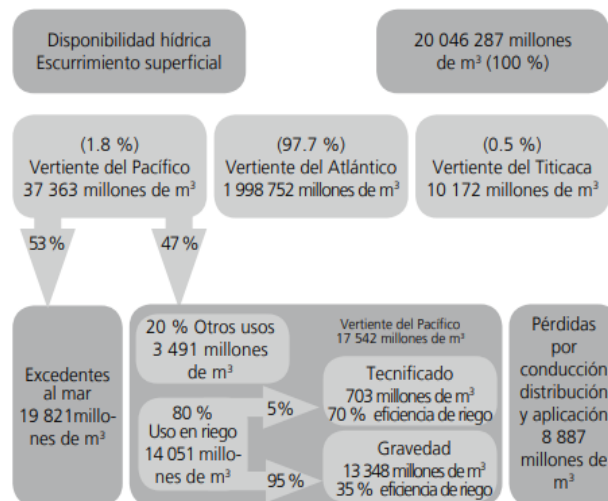


Fig. 1 Uso sectorial de los recursos hídricos [3]

II. MARCO METODOLÓGICO

A. Metodología de diseño de la investigación

Se ha seguido como referencia, el diagrama de flujo que se muestra en la Fig. 2, donde se muestra cada etapa del proceso. Este enfoque metodológico garantiza un diseño integral y profesional del sistema de riego, teniendo en cuenta los aspectos mecánicos y eléctricos, además; considerando la eficiencia, la automatización y la protección de los elementos involucrados.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

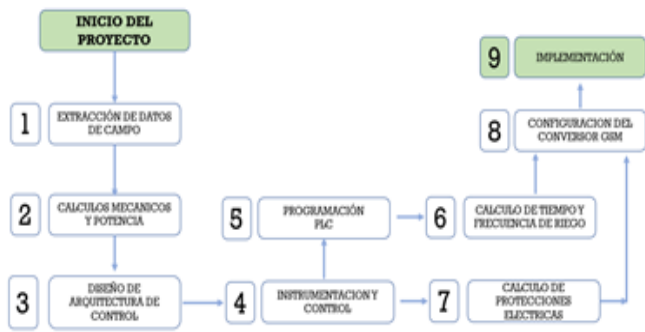


Fig. 2 Diagrama de flujo de las etapas del proceso

En la Tabla I, se muestran las variables involucradas en la investigación.

TABLA I

INDICADORES DE VARIABLE DEPENDIENTE E INDEPENDIENTE

VARIABLES	INDICADORES
VD: Reducción de costos por consumo de agua.	<ul style="list-style-type: none"> Ahorro en consumo de agua (Litros). Ahorro económico en cosechas (soles).
VI: Sistema automatizado de riego.	<ul style="list-style-type: none"> Productividad en cosechas con el nuevo sistema automatizado de riego (%).

Unidad de análisis

La investigación utiliza como unidad de análisis el diseño de un sistema automatizado de riego para cosechas ubicadas en el Valle del Mantaro, así como también las pérdidas económicas que se generan debido a la falta de control de riego. Se realizó la visita de campo para el dimensionamiento de las áreas de los cultivos, con lo cual se obtuvo el plano del cultivo mostrado en la Fig. 3 y las áreas que deben ser monitoreadas y regadas.

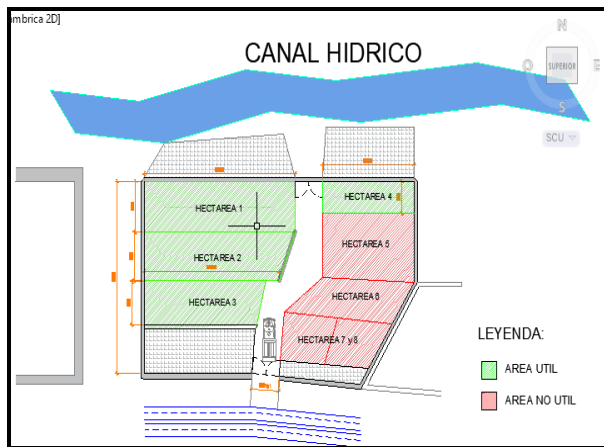


Fig. 3 Representación de área de cultivo

El terreno cuenta con 8 hectáreas destinadas al uso del cultivo de maíz, pero debido a condiciones del terreno solo se utilizan 4 hectáreas.

La selección de tipo riego dado por factores como: tipo de terreno, el tipo de cultivo y la eficiencia del uso de agua, en este caso se eligió "riego por goteo".

III. DESARROLLO Y DISEÑO DEL SISTEMA

A. Cálculo de la bomba hidráulica

Utilizando (1), se obtuvo el caudal.

$$Q = A * V * Fc \quad (1)$$

Donde:

Q = Caudal (m³ / s)

A = Área (m²)

V = Velocidad (m / s)

Fc = Factor de corrección

El Factor de corrección es definido por el tipo de canal o río y su profundidad dado por la Tabla II.

TABLA II
FACTOR DE CORRECCIÓN [4]

TIPO DE CAUCE	FACTOR DE CORRECCIÓN (Fc)
Canal revestido en concreto, profundidad del agua > 15	0,8
Canal en Tierra, profundidad del agua > 15 cm	0,7
Riachuelos profundidad del agua > 15 cm	0,5
Canales de tierra profundidad del agua < 15 cm	0,25 – 0,5

Los datos dados del Canal Hídrico después de mediciones con aparatos de medición electrónica, se obtuvo que los valores del área y velocidad son los siguientes:

A = 0.45 m², calculado con mediciones experimentales

V = 0.33 m/s, medido con correntómetro de hélices.

Para la medición, se utilizó el correntómetro marca Global Water, modelo FP111 [5].

Los datos del área del canal se realizaron en el mismo lugar. El ancho del canal el cual tiene 1.7 metros, también se realizaron 7 medidas en diferentes puntos de la altura del canal para poder calcular el área, ver la Fig. 4.

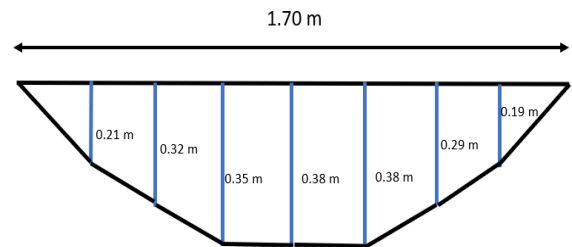


Fig. 4 Representación de medidas en canal de agua

Con el valor del factor de corrección dado por Tabla II y con valor de 0.7, se puede obtener el valor del caudal del canal hídrico, reemplazando todos los datos en (3):

$$Q = A * v * Fc = 0.45 * 0.33 * 0.7 \quad (3)$$

$$Q = 0.104 \text{ m}^3/\text{s} = 6240 \text{ L/min}$$

Para el cálculo de la potencia necesaria de la bomba se usa (4).

$$P_u = \rho * g * Q * H \quad (4)$$

Donde:

Pu=Potencia útil (W)
 ρ =densidad del fluido (kg/m³)
 g =gravedad
 Q =caudal (m³/s)
 H =Altura manométrica ganada por el fluido (m)

La altura ganada está dada por las condiciones del terreno, el caudal fue calculado con los datos anteriores y los datos de densidad del fluido (Para el agua es 1000 Kg/ m³) y gravedad son constantes.

Con (4) se calcula la potencia inicial que debe requerir la bomba de agua para lograr elevar el agua del canal hídrico hasta el nivel necesario para la distribución en las 4 hectáreas.

$$P_u = 4591.08 \text{ W} = 6.15 \text{ HP}$$

Ahora que se obtuvo la Potencia útil es necesario conocer la potencia real considerando las pérdidas posibles en todo el trayecto, para ello se tienen dos factores los cuales se detallan a continuación:

nH = Rendimiento hidráulico
 nV = Rendimiento volumétrico

B. Para el factor de rendimiento hidráulico

Para bombas de gran tamaño y condiciones variables se encuentra entre 0.95 a 0.97.

- Para bombas pequeñas y de diseño no demasiado elaborado varía entre 0.85 a 0.88.
- Para el factor de rendimiento volumétrico:
- Para bombas de ejecución cuidadosa y caudales grandes el valor se encuentra entre 0.97 a 0.98.
- Para bombas de ejecución cuidadosa y caudales pequeños el valor se encuentra entre 0.94 a 0.96.
- Para bombas de regular ejecución y pequeños caudales se tiene los valores entre 0.89 a 0.92.

Por ello con las condiciones dadas al inicio del planteamiento se tienen los valores de nH = 0.88 y nV = 0.90.

Con ello es posible encontrar la potencia real necesaria utilizando (5).

$$P_u = P_r * nH * nV \quad (5)$$

Reemplazando los datos en la ecuación 5 se obtiene la potencia real.

$$P_r = 7.771 \text{ HP}$$

C. Módulo de riego

Para determinar el uso de consuntivo (transpiración y evaporación del cultivo) se calcula la dotación de riego, aplicando la fórmula de Blandey y Criddle, que dependen principalmente de la temperatura media mensual de la zona, la altura y del coeficiente normal estacional de uso de consumo de los cultivos, lo cual está dado por (6).

$$E_{to} = \frac{2120 - 0.29 * h}{360} \quad (mm) \quad (6)$$

Donde:

E_{to} = Evapotranspiración (mm)
 H = altura geográfica (m)

La altura geográfica del Valle del Mantaro es 3250 msnm, por ello el valor de la evapotranspiración es, E_{to}=3.27 mm

Para determinar la dotación en base al uso de agua, se tiene (7).

$$U_c = k * E_{to} \quad (7)$$

Donde:

K= Coeficiente de consumo de cultivos

El coeficiente K, varía según el tipo de cultivo a regar el cual es obtenido de forma experimental de diferentes literaturas ya que depende de varios factores tales como la latitud, temperatura, humedad, estacionalidad, etc. Tomando como referencias manuales técnicos, el valor de K sería 0.70 para el maíz.

Por lo cual el valor de la Dotación lo obtenemos, aplicando (7).

$$U_c = 0.7 * 3.27 = 2.289 \text{ mm}$$

También es necesario conocer el módulo de riego, el cual es el caudal requerido por el cultivo en Litros por segundo/hectárea, y se calcula con (8).

$$M_r = \left(\frac{U_c}{E_f} \right) * 0.116 \quad (8)$$

Donde:

Mr = Modulo de riego
 EF = Eficiencia del sistema de riego

Se tiene como dato la eficiencia del sistema de riego de 0.95 para un sistema de riego por goteo, por lo cual el módulo de riego sería el siguiente:

$$M_r = \frac{2.289}{0.95} * 0.116 = 0.2795 \text{ Lps/Ha}$$

Finalmente, el caudal necesario para el regadío de los cultivos se calcula con (9).

$$Q = M_r * A \quad (9)$$

Donde:

Mr = Módulo de riego
 A = Área de riego en Hectáreas

Las áreas de las hectáreas según datos del propietario son de 6000, 4500, 3500 y 2800 m², para el cultivo de maíz, por lo cual el total del área es 1.68 Ha, con ello se calcula el Caudal haciendo uso de (9).

$$Q = 0.2795 * 1.68 = 1.9584 \frac{L}{s} = 0.00195 \frac{m^3}{s}$$

D. Diseño de líneas de succión y descarga

Cálculo de diámetro de las tuberías

Para el cálculo de la línea de succión se utiliza la formula conocida como la fórmula de Bresse para bombeos continuos descrita en (10).

$$D = 0.58733 \times N^{0.25} \times \sqrt{Q} \quad (10)$$

Donde:

- D = Diámetro interior aproximado (m)
- N = Número de horas de bombeo al día
- Q = Caudal de Bombeo (m³/s)

Para el diseño se consideró que se bombeará un tiempo de 10 horas por día, por ello el valor de N será 10.

Reemplazando los valores en (10) para el diseño de la tubería de succión:

$$D_s = 0.58733 \times 10^{0.25} \times \sqrt{0.00195} = 0.04622 \text{ m} = 1.82 \text{ pulg}$$

Por ello la tubería comercial utilizada para la línea de succión es de 2 pulg, con ello el diámetro interior será de 2.067 pulg según datos obtenidos por tabla [6].

Es necesario definir la velocidad del agua en las tuberías de regadío de manera que el diámetro escogido para estas no afecte la durabilidad del proyecto, la cual se define con (11).

$$v = \frac{4 * q}{\pi * D^2} \quad (11)$$

Donde:

- V = velocidad del agua (m/s)
- D = Diámetro interior de la tubería (m)
- q = Caudal de agua (m³/s)

Reemplazando los datos en (11) se obtiene para la línea de succión la velocidad del fluido.

$$v_s = \frac{4 * 0.0195}{\pi * 0.040894} = 0.6071 \text{ m/s}$$

Para ello se requiere de la Tabla III que muestra el rango recomendado de velocidades en tuberías para sistemas de fluidos.

TABLA III
RANGO RECOMENDADO DE VELOCIDAD [7]

Tipo de servicio	Rango recomendado de velocidad	
	pie/s	m/s
Líneas de succión	2 --4	0.6--1.2
Líneas de retorno	4--13	1.5--4
Líneas de descarga	7--18	2--5.5

Con ello se comprueba que el diseño está en el rango recomendado de velocidad. Se realiza el cálculo para el diseño de las tuberías de descarga (vd), asumiendo el diámetro de la línea de descarga en 1¼ pulg, por lo cual se tendrá la velocidad de descarga.

Reemplazando los valores en la Ecuación 11, para obtener la velocidad de descarga.

$$v_s = \frac{4 * 0.104}{\pi * 0.035052} = 3.78 \text{ m/s}$$

E. Pérdida de carga en tuberías

Para perdidas por rozamiento del agua en metros por cada 100 metros de recorrido recto se tiene la Fig. 5 donde se tiene en cuenta el diámetro de la tubería y el caudal transportado.



Fig. 5 Representación de medidas en canal de agua [8]

Con ello se tiene una pérdida de aproximadamente 0.4 metros de agua, lo cual nos dejaría con una altura útil de 4.1 metros que es mayor a la altura necesaria como mínima.

F. Arquitectura de control

En esta etapa, se utilizó un controlador lógico programable (PLC), el cual obtendrá señales de los diferentes sensores de medición y con ello activará o desactivará las válvulas de entrada y salida, así como el funcionamiento de la bomba hidráulica. Con todos los valores programados se podrán enviar datos a la nube con un convertidor de datos RS 485 a GSM.

Se utilizar la señal GSM, debido a que no se tiene un punto de conexión a internet por fibra óptica o por cable ethernet cercano. Además, los datos serán enviados de forma inalámbrica para el ahorro de costos en puntos de conexión físicos.

La arquitectura de control usada se muestra en la Fig. 6.

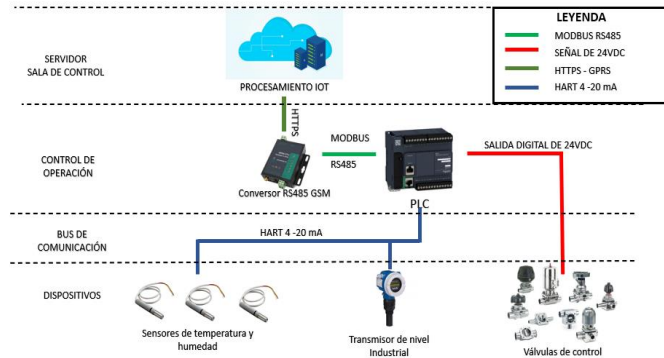


Fig. 6 Arquitectura de control

La arquitectura muestra que los sensores de temperatura, humedad y nivel se comunicaran a través del protocolo HART con la configuración mostrada en la Tabla IV:

TABLA IV
CONFIGURACIÓN DE PROTOCOLO HART DEL PLC

VARIABLE	VALOR
Channel Number	1
Slave timeout	1000 ms
Preamble length	8
Slave short address	0

La comunicación dada entre los sensores y el PLC se realizará por el protocolo HART con una velocidad de 1200 bps, con un tamaño de 8 bits del dato, con verificación de paridad como impar y finalmente la configuración con un bit de parada. Ver Tabla V.

TABLA V
VELOCIDAD DE PROTOCOLO HART

VARIABLE	VALOR
Speed	1200
Number of data bits	8
Parity	Odd
Number of stop bits	1

La comunicación entre el PLC y el conversor GSM se realiza a través del protocolo RS485 utilizando MODBUS. Este protocolo permite comunicar ambos dispositivos para recibir los datos del API y detectar la posibilidad de una helada cercana. La configuración de la comunicación entre el Conversor RS485 GSM y el PLC Schneider mediante el protocolo RS485 se muestra en la Tabla VI.

TABLA VI
CONFIGURACIÓN RS485

VARIABLE	VALOR
Velocidad de transmisión	19200
Paridad	Ninguno
Numero de bits	8
Bit de parada	1

La comunicación entre el conversor GSM y la nube se lleva a cabo a través de una consulta HTTP REQUEST utilizando la red de internet móvil. De esta manera, el conversor recibe el valor de la probabilidad de una helada fuerte en la zona, que es proporcionado por la nube.

Para llevar a cabo las acciones necesarias, como la activación de las válvulas y las alarmas, se utiliza la activación de las salidas digitales del PLC. Estas salidas se conectan a disyuntores o relés 24VDC/220AC para llevar a cabo las acciones requeridas según las condiciones de helada detectadas.

G. Diseño del plano P&ID

La Fig. 7 muestra el plano P&ID que se desarrolló en el software AutoCAD Plant 3D 2019, en el que se detalla todo el proceso de automatización a detalle para la implementación.

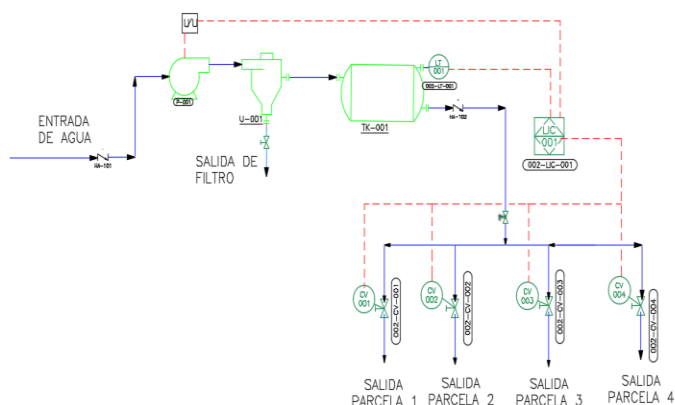


Fig. 7 Muestra el plano P&ID

En el diseño se tiene a la entrada del caudal de agua, una válvula antirretorno para evitar dañar la bomba de agua en caso de tener una contra presión, después el flujo de agua llega a la bomba de agua mencionada la cual pasara por un filtro de arena y otras partículas para evitar desgaste en las tuberías. Posteriormente toda esta agua a presión se almacenará en un tanque de almacenamiento el cual será utilizado como fuente principal para el riego por goteo para todas las áreas asignadas.

Todas las válvulas serán controladas por el PLC el cual tendrá los ciclos de apertura y el control dado según el nivel del tanque y si es necesario más bombeo de agua.

H. Selección de instrumentación

Para la selección de la instrumentación es necesario tener el listado de los componentes a instalar y las características que requieren las cuales deben soportar las condiciones ambientales de todo el año dadas en la región de Junín, las cuales son temperaturas que varían de 10 a 20 °C.

A continuación, se muestran los sensores que han sido utilizados.

Sensor de temperatura y humedad. Ver Fig. 8.

Sensor RTD HEL-700
Clase DIN 1/3 B – 2 hilos
Sección de cableado 0.50 mm²



Fig. 8 Sensor HEL marca Honeywell [9]

Transmisor de nivel. Ver Fig. 9.

Tx de nivel ultrasónico Sitrans Probe LU Siemens
Caja tipo 4X/NEMA IP67/IP68
Conexión roscada de 2 pulg.
Comunicación tipo HART – 2 hilos



Fig. 9 Transmisor de Nivel Marca Siemens [10]

Alarma de nivel. Ver Fig. 10.

Sirena Estroboscópica para intemperie MIRCOM
FHS-340R-WP
95 hilos
24 VDC – 200 mA, EOL 4.7 Kohm



Fig. 10 Sirena estroboscópica Marca MIRCOM [11]

Filtro de anillas para riego tecnificado. Ver Fig. 11.

Filtro de agua Azud Helix de 2 pulg
Hidro ciclónico 130 micrones
Grado de filtrado de 5 a 400 micrón



Fig. 11 Filtro de agua Marca Azud [12]

I. Selección del modelo de control

Se tomaron en cuenta los controles más comunes y sus características principales para la elección del modelo de control necesario para la aplicación, como se puede observar en la Tabla VII.

TABLA VII
COMPARACIÓN DE CONTROLES

Tipo de Control	PID	Batch	Difuso
Precisión	Medio	Bajo / Medio	Alto
Entradas	Unitario	Múltiples	Múltiples
Dificultad Implementación	Bajo	Bajo	Muy Alto
Coste Computacional	Medio	Bajo	Muy Alto

Con lo mostrado en la Tabla VII, se observa que, para el caso de un riego por goteos, no se requiere de un alto costo computacional, además que las salidas son digitales por lo que la opción más viable es la de un *Control Batch*.

Con ello se pueden manejar las múltiples entradas del sistema para poder activar el riego independientemente en las 4 parcelas disponibles.

IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A. Discusión de resultados del control del proceso

Analizando el diseño de control, se tuvieron varias opciones al principio sobre todo las consideraciones de aplicar un control PID para un control de riego más eficiente, pero esto conlleva a la compra de válvulas motorizadas; además de tener un lazo de retroalimentación de la humedad más preciso, la cual comparando el precio con una válvula ON OFF y sensores más estándar es una diferencia considerable en el manejo de costos, esta fue la principal razón para utilizar un control por bloques la cual para el caso de riego por goteos requería de ciertos cálculos para calcular el tiempo según el tipo de cultivo a regar.

Sin embargo, con el ajuste de costos y búsqueda de equipos desde el PLC hasta las bombas de accionamiento se llegó al presupuesto disponible para el agricultor el cual tendrá una recuperación en 8 meses del capital inicial. En las cotizaciones iniciales del proyecto se realizaba un estimado de 20 a 30 meses de recuperación del capital inicial, lo cual dificulta mucho que pequeños empresarios puedan acceder a las automatizaciones.

B. Discusión de resultados de la implementación IoT

Uno de los principales problemas que se tienen en la agricultura es la falta de prevención ante heladas, este tipo de eventos causan pérdidas no recuperables del cultivo. Aunque no se puedan predecir las fechas exactas de las heladas, se tienen emprendimientos que dan alertas según la probabilidad de helada dentro de las siguientes horas después de un análisis de datos meteorológicos.

Para los lugares donde no se tienen puntos de red disponibles y si los hubiera se tendría que realizar una instalación de cableado para que un PLC pueda comunicarse ya sea por fibra óptica o cableado ethernet. Es una desventaja sobre todo cuando se manejan áreas extensas como el caso de la agricultura. Ya que eso implica costos de cableado, habilitación de punto de conexión, empalmes.

Con los costos descritos en el control de procesos, añadir los costos para la habilitación de un punto de red vuelve el proyecto no viable; sin embargo, con las tecnologías IoT no es necesario tener un cableado físico, solo un enlace inalámbrico ya sea por red GPRS o GSM, sin contar las redes Lora o Sigfox las cuales para proyectos de más alcance son viables con la instalación de antenas y repetidores de señal.

C. Análisis de costos de proyecto

En la Fig. 12, se puede observar la red hidrográfica de Valle del Mantaro.

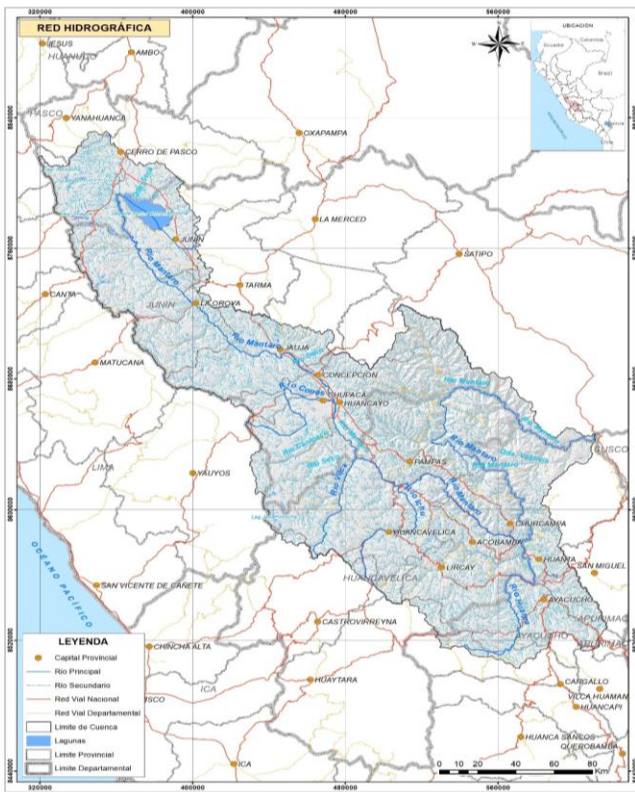


Fig.12 Red hidrográfica del Valle del Mantaro [13]

El Valle del Mantaro, ubicado en el sur del departamento de Junín, en las provincias de Jauja, Concepción, Huancayo y Chupaca. El suelo del valle del río Mantaro es de origen aluvial, y es también una de las tierras más fértiles.

Para un cálculo hecho sobre los ahorros estimados de la automatización y uso eficiente del agua en el terreno agrícola se tienen los siguientes datos:

Costo por m ³ de agua:	S/. 0.75
Eficiencia antes del proyecto:	30%
Eficiencia después del proyecto:	95%

La Tabla VIII muestra la comparación para observar el impacto que va a tener el proyecto.

TABLA VIII
COMPARACIÓN DE BENEFICIO ECONÓMICO

Parámetro	Antes	Después
Uso de agua por ciclo de maíz (150 días)	20 000 m ³	5400 m ³
Eficiencia del uso de agua	30 %	95 %
Gasto total en consumo de agua	S/. 15 000.00	S/. 4 050.00

Con ello se tiene un estimado de ahorro mensual en costos de agua de aproximadamente 10 950 soles por ciclo de cosecha, además del ahorro en mano de obra para el regado de las parcelas.

CONCLUSIONES

- Se logró realizar el diseño de sistema de riego más eficiente, con la que se ahorra hasta 14 600 m³ que equivale un 65% del consumo inicial de agua.
- Se determinó un ahorro de S/. 10 950 por un ciclo de cosecha en 150 días, lo cual estima la recuperación de la inversión en el proyecto en 8 meses, lo cual verifica que el proyecto es rentable y viable económicamente
- Se verificó que, en base al diseño del sistema control, se logró mejorar la seguridad del sistema de riego de posibles corrientes de fuga.
- Con el sistema eléctrico de riego se logró triplicar la eficiencia inicial en el consumo de agua.

RECOMENDACIONES

- Los mantenimientos deben realizarse mensualmente para garantizar el funcionamiento continuo del riego por goteo.
- Se tiene pensado una ampliación para evaluar el cultivo de más tipos de cultivos, lo cual es posible al utilizar un PLC que acepte módulos de expansión.
- El utilizar diámetros de tuberías comerciales y más comunes da las facilidades para una implementación rápida y más económica.
- Se recomienda inspeccionar constantemente todos los elementos de acción como las electroválvulas, filtros, estado de sensores de temperatura, humedad, funcionamiento de la bomba de agua.
- Se recomienda realizar mantenimiento preventivo a los equipos de protección eléctrica para garantizar el continuo funcionamiento del sistema de seguridad de todo el sistema de riego automatizado.

REFERENCIAS

- [1] Enlace Internet: <https://www.ana.gob.pe/2019/consejo-de-cuenca/mantaro/Hidrograf%C3%ADa>
- [2] Lara Chugnas, C. H. (2022). Diseño de un sistema automatizado con el controlador lógico programable Simatic S7 1200 para mejorar el riego tecnificado del cultivo de palto en el departamento de Moquegua, 2021. Universidad Privada de Tacna.
- [3] Rosazza, E. (2008). *El agua en el Perú*. Lima: Inrena.
- [4] Enlace Internet: <https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual5.pdf>
- [5] Enlace Internet: <https://www.solitec.pe/>
- [6] Enlace Internet: <https://www.contractorecampus.com/moodle/>
- [7] Mott Robert. *Mecánica de fluidos 6ta Edición*, pág 164. (2006)
- [8] Enlace Internet: <https://ingemecanica.com/contacto/contacto.html>
- [9] Enlace Internet: <https://www.mouser.pe/>
- [10] Enlace Internet: <https://www.dastecsrl.com.ar/>
- [11] Enlace Internet: <https://centinelaseguridad.pe/>
- [12] Enlace Internet: <https://www.aibitech.com/>
- [13] Enlace Internet: <https://www.gob.pe/ana>