



UTMACH

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TABLERO DE CONTROL CON
TECNOLOGÍA ARDUINO PARA EL RIEGO DE BANANO DE LA
UTMACH

BERRU AYALA JORGE BORIS
INGENIERO DE SISTEMAS

MOROCHO DIAZ PATRICIA ELIZABETH
INGENIERA DE SISTEMAS

MACHALA
2019



UTMACH

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

Diseño e implementación de un tablero de control con tecnología
Arduino para el riego de banano de la UTMACH

BERRU AYALA JORGE BORIS
INGENIERO DE SISTEMAS

MOROCHO DIAZ PATRICIA ELIZABETH
INGENIERA DE SISTEMAS

MACHALA
2019



UTMACH

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

TRABAJO TITULACIÓN
PROPUESTAS TECNOLÓGICAS

Diseño e implementación de un tablero de control con tecnología Arduino para el riego de banano de la UTMACH

BERRU AYALA JORGE BORIS
INGENIERO DE SISTEMAS

MOROCHO DIAZ PATRICIA ELIZABETH
INGENIERA DE SISTEMAS

MAZÓN OLIVO BERTHA EUGENIA

MACHALA, 11 DE FEBRERO DE 2019

MACHALA
2019

Nota de aceptación:

Quienes suscriben, en nuestra condición de evaluadores del trabajo de titulación denominado Diseño e implementación de un tablero de control con tecnología Arduino para el riego de banano de la UTMACH, hacemos constar que luego de haber revisado el manuscrito del precitado trabajo, consideramos que reúne las condiciones académicas para continuar con la fase de evaluación correspondiente.

MAZÓN OLIVO BERTHA EUGENIA
0603100512
TUTOR - ESPECIALISTA 1

LOJÁN CUEVA EDISON LUIS
0703249698
ESPECIALISTA 2

JUMBO CASTILLO FREDDY ANIBAL
0704167949
ESPECIALISTA 3

Machala, 11 de febrero de 2019

Urkund Analysis Result

Analysed Document: Proyecto-tecnologico-Berru_Jorge-Morocho_Patricia.docx
(D47503767)
Submitted: 2/1/2019 5:41:00 PM
Submitted By: pemorochod_est@utmachala.edu.ec
Significance: 0 %

Sources included in the report:

Instances where selected sources appear:

0

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

Los que suscriben, BERRU AYALA JORGE BORIS y MOROCHO DIAZ PATRICIA ELIZABETH, en calidad de autores del siguiente trabajo escrito titulado Diseño e implementación de un tablero de control con tecnología Arduino para el riego de banano de la UTMACH, otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Los autores declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

Los autores como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 11 de febrero de 2019


BERRU AYALA JORGE BORIS
0603854787


MOROCHO DIAZ PATRICIA ELIZABETH
0705425718

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado principalmente a Dios y a nuestros padres, quienes con su ayuda y apoyo incondicional hemos logrado culminar satisfactoriamente nuestra carrera estudiantil.

A los Ingenieros de la Carrera de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Técnica de Machala quienes nos impartieron sus conocimientos y en especial a la Ing. Bertha Mazón e Ing. Dixys Hernández, quienes con su apoyo pudimos llevar a cabo el desarrollo del presente trabajo.

Y finalmente, a nuestros amigos quienes nos han apoyado y ayudado a lo largo de estos años para que podamos concretar la carrera con éxito.

Jorge Boris Berrú Ayala

Patricia Elizabeth Morocho Díaz

AGRADECIMIENTO

Primeramente, queremos agradecerle a Dios por estar siempre presente en nuestras vidas, siempre ofreciéndonos lo mejor y guiándonos para cumplir todas nuestras metas.

Les agradecemos a nuestros padres quienes fueron el pilar fundamental en nuestras vidas y fueron quienes nos ayudaron durante todo el trascurso de nuestra carrera universitaria.

Un agradecimiento muy especial a la Ing. Bertha Mazón, Ing. Dixys Hernández, Ing. Johnny Novillo e Ing. Kevin Valarezo por guiarnos durante todo el desarrollo de nuestro trabajo de titulación, además, de habernos brindado todo su conocimiento.

También les agradecemos a todos nuestros amigos y en especial a Herman Gallegos, Luis Astudillo y Joofre Ayala, ya que gracias a su compañerismo, amistad y apoyo moral han contribuido con nuestras ganas de continuar en nuestra carrera universitaria.

Jorge Boris Berrú Ayala

Patricia Elizabeth Morocho Díaz

RESUMEN

La agricultura con el paso de los años ha sufrido cambios significativos en lo que respecta a técnicas, métodos y herramientas. Uno de los problemas que se enfrentan los agricultores, es el desperdicio de recursos puesto que invierten mucho dinero y tiempo para obtener mejor rendimiento en la producción. En la actualidad, la agricultura de precisión es una de las estrategias que involucran una serie de tecnologías utilizadas para aumentar la productividad en los cultivos agrícolas, mediante la gestión óptima de los recursos como: el uso del agua en los sistemas de riego, los fertilizantes en la nutrición de las plantas, aplicación de fungicidas y pesticidas en el control de plagas, entre otros. En este trabajo surge la necesidad de automatizar el sistema de riego en la parcela de banano ubicada en la hacienda “Santa Inés” perteneciente a la Universidad Técnica de Machala. El principal objetivo es la automatización del riego en el cultivo de banano mediante la implementación de un Tablero de Control Inteligente (TCI) en el campo real, monitoreado por un Dashboard con interfaz web e integrado mediante un Gateway que facilita la comunicación entre estos dos componentes. La placa base del TCI fue diseñada con la herramienta Fritzing; la programación del firmware de la tarjeta Arduino se la realizó en el lenguaje C mediante el IDE de Arduino; el Gateway fue programado en el lenguaje Python; la creación del Dashboard que permite el monitoreo y control se utilizó la plataforma IOTMACH; y finalmente, para la comunicación entre el TCI, Gateway y el Dashboard, se usó el protocolo Message Queue Telemetry Transport (MQTT). Los componentes del TCI son: placa Arduino Mega 2560, Ethernet Shield, placa base diseñada a la medida, sensores (1 sensor de temperatura y humedad del ambiente DHT21, 2 sensores temperatura y humedad del suelo SHT, y un sensor de presión), 24 push button que permiten el encendido y apagado de electroválvulas y 13 luces piloto que muestran el estado de las electroválvulas. Para la verificación y validación del TCI se aplicó pruebas como son: pruebas físicas, pruebas de continuidad, prueba de aislamiento, prueba de arranque, prueba de rendimiento y retardo de tiempo. Los resultados se describen a continuación para cada prueba. Las pruebas físicas para tableros eléctricos se realizaron, según la

norma IEC 61439-1 e IEC 61439-2, por dos especialistas, que determinaron que se cumple la norma en un 100%, con 10 características y 3 protecciones. La prueba de continuidad verificó el conexionado del TCI en 48 puntos, cumpliéndose en un 100%. La prueba de aislamiento se aplicó para medir la resistencia existente en el TCI y la conexión a tierra, determinándose que existe 0Ω en las zonas de los dispositivos eléctricos, lo que comprueba que el TCI se encuentra protegido contra descargas de corriente eléctrica. La prueba de arranque se realizó para medir el tiempo que se demora en encenderse el TCI; para ello, se recolectaron datos de 110 observaciones, cuyo tiempo promedio de encendido es de 2,1 segundos. Finalmente, la prueba de rendimiento y retardo de tiempo, mide el tiempo de respuesta desde que los datos se envían del TCI al servidor (plataforma Cloud IOTMACH); el tiempo promedio de envío de datos del arduino al gateway (T1), es de 2534 microsegundos; el tiempo promedio del gateway al servidor (Dashboard de monitoreo y control) (T2), es de 66 milisegundos; el tiempo promedio en almacenar en la base de datos (T3), es de 0,84 segundos; y, el tiempo promedio de respuesta (AVG(T1+T2+T3)) que el arduino tarda en enviar hacia el servidor es de 0,9087 segundos.

Palabras clave: agricultura de precisión, internet de las cosas, riego por aspersión, redes de sensores, tablero de control.

ABSTRACT

Agriculture over the years has undergone significant changes in terms of techniques, methods and tools. One of the problems faced by farmers is the waste of resources since they invest a lot of money and time to obtain better yields in production. At present, precision agriculture is one of the strategies that involve a series of technologies used to increase productivity in agricultural crops, through the optimal management of resources such as: the use of water in irrigation systems, fertilizers in the nutrition of plants, application of fungicides and pesticides in the control of pests, among others. In this work arises the need to develop a technological prototype for the automation of the irrigation system in the banana plot located in the farm "Santa Inés" belonging to the Technical University of Machala. The main objective is the automation of irrigation in the banana crop through the implementation of a Smart Control Board (SCB) in the real field, monitored by a Dashboard with web interface and integrated through a gateway that facilitates communication between these two components. The SCB motherboard was designed with the Fritzing tool; the firmware programming of the Arduino card was done in the C language through the Arduino IDE; the Gateway was programmed in the Python language; The creation of the Dashboard that allows monitoring and control was used the IOTMACH platform; and finally, for the communication between the SCB, Gateway and the Dashboard, the Message Queue Telemetry Transport (MQTT) protocol was used. The components of the SCB are: Arduino Mega 2560 board, Ethernet Shield, custom designed base plate, sensors (1 DHT21 room temperature and humidity sensor, 2 SHT floor temperature and humidity sensors, and pressure sensor), 24 push button that allows the ignition and shutdown of electrovalves and 13 pilot lights. For the verification and validation of the SCB, tests were applied such as: physical tests, continuity tests, isolation test, start test, performance test and time delay. The results are described below for each test. The physical tests for electrical panels were carried out, according to IEC 61439-1 and IEC 61439-2, by two specialists, who determined that 10 characteristics and 3 protections were met, in 100%. The continuity test verified the connection of the SCB in 48 points, fulfilling 100%. The insulation test was applied to measure the resistance in the SCB, determining that there is

0 Ω in the zones of the electrical devices, which shows that the SCB is protected against electric current discharges, due to the connection to ground. The start test was performed by measuring the time it takes to turn on the SCB; For this, data of 110 observations were collected, whose average time is 2.1 seconds. Finally, the performance test and time delay, measures the response time since the data is sent from the SCB to the server (Cloud IOTMACH platform); the average time of data transmission from the arduino to the gateway is 2534 microseconds; the average time from the gateway to the server (monitoring and control Dashboard) is 66 milliseconds; the average time to store in the database is 0.84 seconds; and, the average time that the arduino takes to send to the server is 0.9087 seconds.

Keywords: precision agriculture, internet of things, sprinkler irrigation, sensor networks, control board.

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	13
1. CAPÍTULO I: Diagnóstico de necesidades y requerimientos	14
1.1 Ámbito de aplicación	14
1.2 Establecimiento de requerimientos	15
1.3 Justificación del requerimiento a satisfacer	16
2. CAPÍTULO II: Desarrollo del prototipo	17
2.1 Definición del prototipo tecnológico.....	17
2.2 Fundamentación teórica del prototipo	18
2.2.1 Sistemas SCADA	18
2.2.2 Internet de las Cosas (IoT)	19
2.2.3 Agricultura de precisión	19
2.2.4 Sistemas de riego	21
2.2.5 Red de Sensores.....	24
2.2.6 Tablero de control inteligente (TCI).....	25
2.2.7 Arduino.....	26
2.2.8 Gateway	27
2.2.9 Protocolo MQTT	27
2.2.10 Cloud Computing.....	28
2.3 Objetivos del prototipo	28
2.3.1 Objetivo General.....	28
2.3.2 Objetivos Específicos	29
2.4 Diseño del prototipo TCI.....	29
2.4.1 Diseño del Hardware	29
2.4.2 Diseño del Software.....	35
2.5 Ejecución y/o ensamblaje del prototipo	37
3. CAPÍTULO III: Evaluación del prototipo.....	53
3.1 Plan de evaluación.....	53
3.1.1 Pruebas físicas	53
3.1.2 Prueba de continuidad.....	54
3.1.3 Prueba de aislamiento:	55
3.1.4 Prueba de arranque.....	55
3.1.5 Prueba de rendimiento y retardo de tiempo	56
3.2 Resultados de la evaluación	56

3.2.1	Resultado de las pruebas físicas	56
3.2.2	Resultado de la prueba de continuidad.....	59
3.2.3	Resultado de la prueba de aislamiento	59
3.2.4	Resultado de la prueba de arranque.....	60
3.2.5	Resultado de la prueba de rendimiento y retardo de tiempo	61
3.3	Conclusiones	66
3.4	Recomendaciones	68
4.	BIBLIOGRAFÍA.....	69
5.	ANEXOS	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características del Sensor DHT22.	25
Tabla 2: Plataformas Arduino.	26
Tabla 3: Cabecera MQTT	28
Tabla 4: Componentes físicos empleados en el prototipo	29
Tabla 5: Datos de configuración	43
Tabla 6: puntos tomados para la medición de continuidad en el TCI	54
Tabla 7: Resultados de la prueba física - Características físicas	57
Tabla 8: Resultados de la prueba física - Protecciones	57
Tabla 9: Resumen de la prueba física	58
Tabla 10: Resumen de los resultados de la prueba de continuidad	59
Tabla 11: Tiempo promedio de conexión con MQTT	61
Tabla 12: Tiempo promedio de envío y retorno de Arduino, Gateway y Servidor	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Arquitectura del prototipo del tablero inteligente	17
Figura 2: Mapa mental de la teoría	18
Figura 3: Ciclo de Aplicación de tecnología en la Agricultura de Precisión	20
Figura 4: Etapas de la Agricultura de Precisión	21
Figura 5: Riego por gravedad en un cultivo de algodón	23
Figura 6: Riego por goteo	23
Figura 7: Riego por aspersion	24
Figura 8: Riego por microaspersion	24
Figura 9: Arduino Mega 2560	26
Figura 10: Modelos de despliegue	28
Figura 11: Electroválvula tipo TPVF100BSPDC	31
Figura 12: Diseño del circuito para el tablero inteligente	32
Figura 13: Diagrama de distribución de pines de Arduino Mega 2560 R3	33
Figura 14: Mapa de parcela de banano de la UTMACH	34
Figura 15: Diagrama de actividades general del TCI	35
Figura 16: Diagrama de flujo de las operaciones del microcontrolador de tarjeta Arduino	36
Figura 17: Montaje del circuito impreso junto al Arduino MEGA y Ethernet Shield	37
Figura 18: Vista frontal del TCI	38
Figura 19: Distribución interna del tablero	38
Figura 20: Elección del tipo de tarjeta de Arduino	39
Figura 21: Opciones presentadas del microcontrolador con el que dispone	39
Figura 22: Elección del puerto donde se encuentra conectada la placa de Arduino	40
Figura 23: Abrir Monitor Serie	40
Figura 24: Conexión MQTT	40
Figura 25: Mensaje por consola de los actuadores	41
Figura 26: Inicialización del Broker Mosquitto	41
Figura 27: Inicialización del Gateway	42
Figura 28: Datos de configuración light	42
Figura 29: Datos de temperatura	45

Figura 30: Datos del actuador en modo on	45
Figura 31: Datos de lectura en el t3pico lecturas del servidor Cloud IoT	45
Figura 32: Base de datos del Gateway	46
Figura 33: Registro de la MAC del dispositivo dentro del sistema	47
Figura 34: Dispositivo a3adido a la pesta3a de No categorizados	47
Figura 35: Creaci3n de Zona	48
Figura 36: Creaci3n de Sub 3rea	48
Figura 37: Creaci3n del 3rea	49
Figura 38: Dispositivos a3adidos a la Zona creada	49
Figura 39: Visualizaci3n de Dominios	50
Figura 40: Creaci3n de un nuevo Dominio	50
Figura 41: Visualizaci3n del dispositivo	51
Figura 42: gesti3n de dispositivos	51
Figura 43: Dispositivo a3adido al Dominio "TCI Santa In3s"	51
Figura 44: Visualizaci3n de las Zonas	52
Figura 45: Monitoreo de sensores en el Dashboard	52
Figura 46: Visualizaci3n de los sensores y actuadores en el Dashboard de monitoreo y control	53
Figura 47: Mult3metro Fluke 117	54
Figura 48: Resultados de la prueba F3sicas - Caracter3sticas f3sicas	57
Figura 49: Resultados de la prueba F3sicas - Protecciones	58
Figura 50: Gr3fico de resultados de la evaluaci3n f3sica del prototipo seg3n norma	58
Figura 51: Medici3n de resistencia el3ctrica	60
Figura 52: Resultado de los tiempos de conexi3n al MQTT	60
Figura 53: Tiempo de env3o Arduino - Gateway presentado en milisegundos	61
Figura 54: Tiempo de env3o del Arduino – Gateway, tiempo de llegada a Gateway y env3o al Servidor, y tiempo de llegada al Servidor	62
Figura 55: Tiempo de retorno desde el servidor Cloud hasta Arduino, efectuado en el Control	62
Figura 56: Tiempo de env3o promedio en Arduino	63
Figura 57: Tiempo de env3o promedio entre Arduino - Servidor	64
Figura 58: Tiempo promedio de llegada al Servidor	65

GLOSARIO

Actuador: Es un dispositivo mecánico que su principal función es la de aplicar una fuerza capaz de mover a otro dispositivo mecánico.

Agricultura: Es una actividad que encierra un conjunto de técnicas que permite el tratamiento y cultivo de tierras.

Electroválvula: Es un dispositivo electromecánico el cual permite el paso del flujo de agua en una red de tuberías.

MQTT: Es un protocolo de comunicación de bajo consumo de energía y ancho de banda enfocado en un patrón de máquina a máquina el cual permite la publicación y suscripción entre dispositivos.

Publish: Es la acción que sucede cuando un cliente MQTT envía un mensaje.

Sensor: Es un dispositivo que es capaz de recibir información del exterior y transfórmala en señales eléctricas, las cuales fácilmente podemos cuantificar y manipular.

Subscribe: Es la función que permite que un dispositivo se registre al tópico del cual desea recibir los mensajes.

Tópico: Es una etiqueta que se le coloca para identificar los mensajes del protocolo MQTT.

WSN: Es una red de sensores inalámbricos, permite monitorear las condiciones ambientales o física del área en la que se encuentra.

INTRODUCCIÓN

Históricamente la agricultura ha sufrido cambios significativos en lo que respecta a técnicas, métodos y herramientas; sin embargo, desde muchos siglos atrás se ha manejado de forma manual el uso de los recursos para el abastecimiento de los campos de cultivo.

Con el paso del tiempo, se han desarrollado nuevas tecnologías que permiten el monitoreo y control de los procesos agrícolas, una de estas es el Internet de las cosas (IoT), que permite conectar a internet, mediante redes fijas o inalámbricas, dispositivos físicos para la toma de decisiones de forma remota [1].

Existen muchas aplicaciones de IoT, uno de estos son los sistemas de telemetría [2] que es una técnica automatizada para la recolección de datos desde lugares remotos mediante transmisión inalámbrica. Una aplicación de los sistemas de telemetría se encuentra la Agricultura de Precisión (AP) [3], que se orienta a los datos y utiliza información de múltiples fuentes para optimizar las operaciones agrícolas como el sistema de riego, diversificar el manejo de situaciones y tiempo, para lograr la máxima utilidad en partes del campo, requiriendo de tecnología avanzada para su implementación.

El sistema de riego agrícola que con más frecuencia se aplica es el riego por aspersión que es el tipo de riego que con más frecuencia los agricultores utilizan, este riego se caracteriza por aplicar el agua, que es llevada por tuberías a presión, en forma de lluvia sobre los cultivos [4] con el principal objetivo de que el agua se filtre en el lugar donde cae, de manera uniforme [5].

En los últimos años se ha visto en la necesidad de monitorear variables que afecten al cultivo como son: temperatura, humedad, presión, etc., debido a los cambios en las condiciones ambientales, por lo que, la implementación de una red de sensores (WSN) es indispensable para recolectar información ambiental y permitir el monitoreo del suelo [6].

En la UTMACH se encuentra ubicada la hacienda “Santa Inés” la cual está dedicada al cultivo de banano, por lo que el sistema de riego gestionado es de forma manual, necesitando más recurso humano. El presente trabajo de

investigación tiene como finalidad desarrollar un tablero eléctrico e inteligente utilizando IoT para el control del riego de banano por aspersión en la hacienda “Santa Inés” de la Universidad Técnica de Machala.

La estructura del presente documento está dividida de la siguiente manera:

En el capítulo 1, se detalla las necesidades que llevó a la creación del tablero de control inteligente para el riego de banano especificando los requerimientos para su elaboración, así como también la justificación del mismo.

En el capítulo 2, se define las partes que comprende al prototipo del tablero inteligente, además se establece la fundamentación teórica, que describe las tecnologías y herramientas utilizadas para su ejecución, los objetivos y diseño mediante diagramas esquemáticos del prototipo propuesto.

Y, finalmente el capítulo 3, que tiene como objetivo analizar y validar mediante pruebas de funcionamiento el prototipo propuesto, determinando así la efectividad y usabilidad del Tablero de Control Inteligente (TCI).

1. CAPÍTULO I: Diagnóstico de necesidades y requerimientos

1.1 Ámbito de aplicación

El presente proyecto se basa en el cumplimiento del objetivo 5 del Plan Nacional del Buen Vivir [7] en lo que refiere a fomentar la Productividad y competitividad para el crecimiento económico que tiene como una de sus políticas el de promover la investigación tecnológica para impulsar el cambio de la matriz productiva.

La UTMACH cuenta con la Hacienda “Santa Inés” orientada al cultivo de banano, que se encuentra a cargo de la Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias (UACA), con el propósito de optimizar recursos y monitorear variables que afecten al cultivo, se ha planteado la implementación del tablero de control inteligente para el riego de banano.

La funcionalidad del presente proyecto radica en el desarrollo de un sistema de control automático para el riego de una parcela de banano, la misma que se encuentra dividida en zonas. Mediante el uso de redes de sensores

inalámbricos conectados al TCI, se captura un flujo de datos de sensores y se los envía a un servidor Cloud a través del protocolo de comunicación MQTT para ser monitoreado mediante un Dashboard IoT con interfaz web.

1.2 Establecimiento de requerimientos

Internet de las Cosas (IoT) es una tecnología que permite que muchos dispositivos interactúen entre sí en forma autónoma con poca o ninguna intervención humana; lo cual ha ocasionado un elevado crecimiento del uso de esta tecnología para el manejo de actividades cotidianas como son en el área de la agricultura, seguridad, hogar, salud, entre otros dominios.

En el dominio de agricultura de precisión, IoT permite optimizar procesos manuales que llevan mucho tiempo en ser ejecutados; por lo que la idea de este prototipo se basa en implementar un tablero de control usando IoT para la gestión remota del riego de banano, sustituyendo el control manual directo o in situ.

El prototipo a construir ha sido orientado al riego inteligente el cual se encuentra dentro del área de agricultura, este tipo de tecnología permite la recolección de datos en tiempo real a partir de una red de sensores ubicados en puntos estratégicos, con la finalidad de medir y transmitir magnitudes físicas como son temperatura, humedad y presión, así como también el accionamiento de botones que permiten la activación de electroválvulas para el riego dentro de la parcela de banano.

Las principales funciones del tablero de control son las siguientes:

- Recolección de datos, captura los datos de los sensores y electroválvulas para ser enviados posteriormente a un servidor Cloud IoT.
- Activación de electroválvulas, las reglas para la activación de las electroválvulas son las siguientes:
 1. Sólo podrán estar 2 electroválvulas por Zona a la vez activadas.
 2. Sólo una Zona de riego podrá estar activa a la vez.
 3. Para que las electroválvulas se activen correctamente se deberá accionar la electroválvula de Zona correspondiente.

- Para el almacenamiento y comunicación de datos se utiliza el protocolo MQTT que envía al Gateway un mensaje en formato JSON al servidor Cloud IoT.
- Visualización de datos, El servidor se encarga de tratar los datos enviados en formato JSON mediante el Gateway, para luego poder ser visualizados mediante el Dashboard con interfaz web.

1.3 Justificación del requerimiento a satisfacer

En la Universidad Técnica de Machala, Unidad Académica de Ingeniería Civil, el grupo de investigación AutoMathTic está trabajando en la línea de investigación de IoT con la finalidad de ofrecer soluciones en el dominio de la agricultura de precisión, el cual consiste en el riego automático de las parcelas de banano utilizando un tablero inteligente que permita la optimización y reducción de recursos.

Este trabajo aporta al desarrollo de tecnologías enfocadas al control, en este caso se encuentra el tablero inteligente que permite la optimización de tiempo y recursos como mano de obra.

El prototipo TCI permite enviar información a partir de una red de sensores hacia un servidor Cloud IoT mediante el protocolo de comunicación MQTT, el cual permite el almacenamiento de la información, el procesamiento y despliegue de un dashboard web de monitoreo y control en tiempo real. El tablero enviará una señal eléctrica que activa el actuador (electroválvula) que solo se acciona bajo las condiciones establecidas en los requerimientos del prototipo.

Por lo que el diseño y la implementación del TCI propuesto aporta en el desarrollo y la productividad agrícola en el dominio de la agricultura de precisión, ya que busca nuevas tecnologías para aprovechar al máximo los recursos existentes, permitiendo agilizar los procesos de riegos de las parcelas de banano teniendo un impacto positivo en los sectores agrícolas.

2. CAPÍTULO II: Desarrollo del prototipo

2.1 Definición del prototipo tecnológico

El TCI permite la automatización del riego de las parcelas de banano utilizando un sistema de dispositivos que se encuentran enlazados entre sí, haciendo uso de la tecnología IoT.

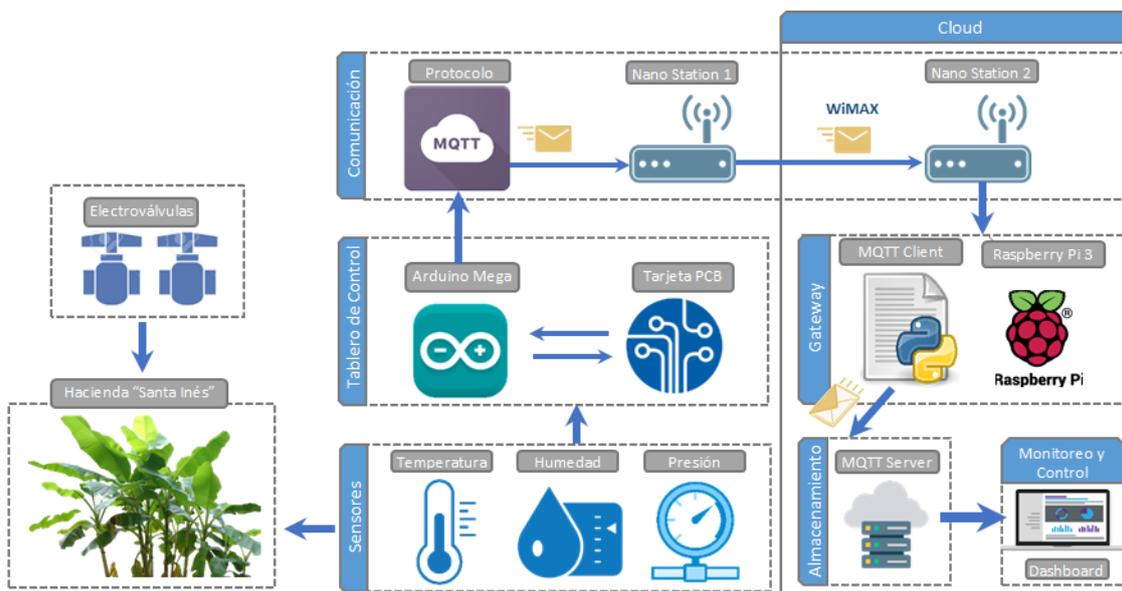


Figura 1: Arquitectura del prototipo del tablero inteligente

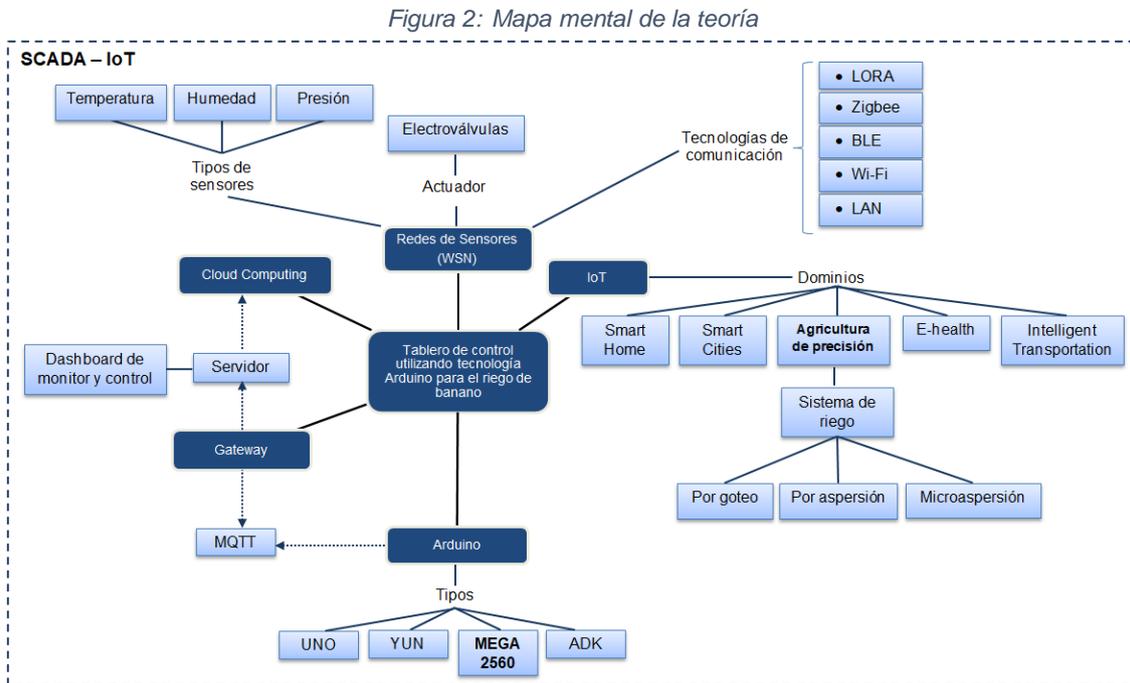
En la Figura 1 se puede observar la arquitectura del prototipo del TCI, el cual consta de 4 fases:

1. Recolección de datos: Se captura los datos del entorno mediante los sensores de temperatura, humedad, presión y de las electroválvulas que se encuentran activadas o desactivadas con una frecuencia de 10 segundos.
2. Activación de electroválvulas: En esta fase los datos recolectados sirven para tomar la decisión de activación de los actuadores (electroválvulas).
3. Comunicación: La tecnología que se utiliza para el envío de los datos será MQTT, que mediante la utilización de un broker (servidor) recibe la publicación de los sensores y electroválvulas (clientes), para finalmente ser almacenados en la base de datos del servidor.

4. Visualización de datos: Todos los datos recolectados se visualizan mediante los suscriptores (clientes MQTT)

2.2 Fundamentación teórica del prototipo

Como se muestra en el Figura 2, se presenta un organizador gráfico del estado del arte del presente proyecto de investigación:



Fuente: Elaboración propia

2.2.1 Sistemas SCADA

Según Esteban Pérez los sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), permite la administración y control de cualquier sistema, ya sea éste local o remoto, por medio de la comunicación remota utilizando actuadores y la interacción entre el usuario y el sistema mediante una interfaz gráfica [8]; es decir, un SCADA es un software o conjunto de software para la supervisión y control diseñados principalmente para comunicar instrumentos y actuadores con el sistema del operario donde podrán ser visualizados mediante una interfaz gráfica [9].

Los autores Dumitru & Gligor [10] plantean que para implementar un sistema SCADA se debe disponer de los siguientes componentes: HMI, actuadores, dispositivos de E/S, red de comunicaciones, software, entre otros. Dichos

componentes, gracias a IoT, se pueden enlazar mediante comunicación remota para el intercambio de datos entre ellos.

2.2.2 Internet de las Cosas (IoT)

En 1999 Kevin Ashton utilizó el término “Internet of Things (Internet de las cosas)” [11] para referirse a la gestión de la cadena de suministro, aunque en la actualidad, se plantea a IoT con una definición más global como, objetos físicos conectados a una red de manera remota, que se encuentran integrados con dispositivos electrónicos, sensores, software y comunicación en red para el intercambio de datos [12].

Los autores [13], definen a IoT como un conjunto de objetos inteligentes con la capacidad de intercambiar información entre sí, y a la vez con el resto de equipos, sin necesidad de intervención humana mediante conexión a internet.

SCADA e IoT

Según [14] existen diferentes tipos de vista sobre si la naturaleza de los sistemas SCADA forman parte de IOT, ya que si bien es cierto han evolucionado en cuanto a conectividad con Internet, estos aún carecen de análisis y dicha conectividad no está al nivel que se posee en IoT.

Por otro lado los autores Sajid, Abbas & Saleem [15] plantean una carencia adicional en lo que respecta a seguridad, pero dicha seguridad puede ser mejorada integrando nuevas arquitecturas basadas en IoT. Ellos plantean que una de las soluciones sería la Cloud-Computing teniendo una nueva definición llamada IIOT (Sistemas Industriales Inteligentes).

Existen un sinnúmero de aplicaciones para IoT como plantean los autores Hernández, Fernández, Fraga & Escudero [16] las cuales son: Smart home, agricultura de precisión, transporte inteligente, salud, etc.

2.2.3 Agricultura de precisión

La agricultura cuando se encuentra en la recuperación de cultivos combina sistemáticamente ventajas de adoptar estrategias ecológicas y de forestación estacional, es así que se requiere de un sistema inteligente para que las

respuestas que los agricultores necesitan, puedan ser fácilmente accesible con la ayuda de objetos multimedia [17].

La agricultura de precisión (AP) es una práctica agrícola orientada a los datos que utiliza información de múltiples fuentes para optimizar las operaciones agrícolas [3], diversificar el manejo de situaciones y tiempo para lograr la máxima utilidad en partes del campo requiriendo de tecnología avanzada para su implementación [18].

Según el Ministerio de agricultura del Gobierno de Chile [19] los aspectos involucrados en el desarrollo y la aceptación de prácticas de AP dividen al conjunto de tecnologías en 3 etapas:

- Recolección de datos, mediante la supervisión de los cultivos y el suelo haciendo uso de mapas de producción.
- Tratamiento e interpretación de la información, en esta etapa se encuentra la etapa del análisis, y
- Aplicación del factor de producción.

En la Figura 3 se puede observar la manera en como la tecnología puede ser aplicada en la Agricultura de precisión, permitiendo el monitoreo del cultivo en cada etapa, desarrollando mapas de cultivo mediante GPS para luego realizar un análisis que permita ejecutar un manejo variable o remoto en los cultivos.

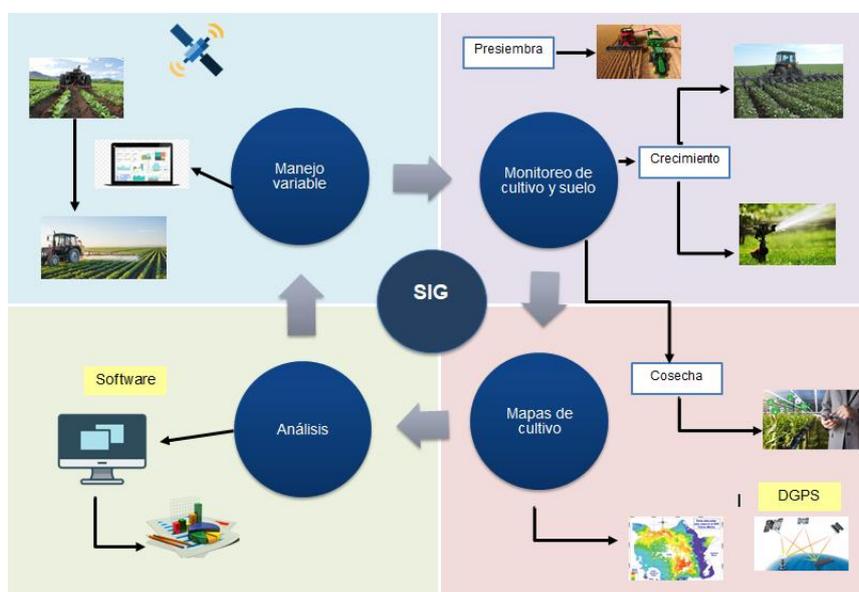


Figura 3: Ciclo de Aplicación de tecnología en la Agricultura de Precisión

La Figura 4 explica las etapas de la AP. En la primera etapa (E1) es donde se recolecta la mayor cantidad de datos, para ello se monitorea variables como el suelo, una vez obtenidos los datos empieza la etapa 2 (E2), donde se procesan dichos datos y se los asocia en mapas digitales. La tercera etapa (E3), pertenece al análisis de estos datos ya procesados por medio de software especializados en AP, para la toma de decisiones. Al finalizar, la etapa 4 (E4), la ejecuta el asesor del campo junto con el productor en donde llevan a cabo las decisiones tomadas en la etapa predecesora.

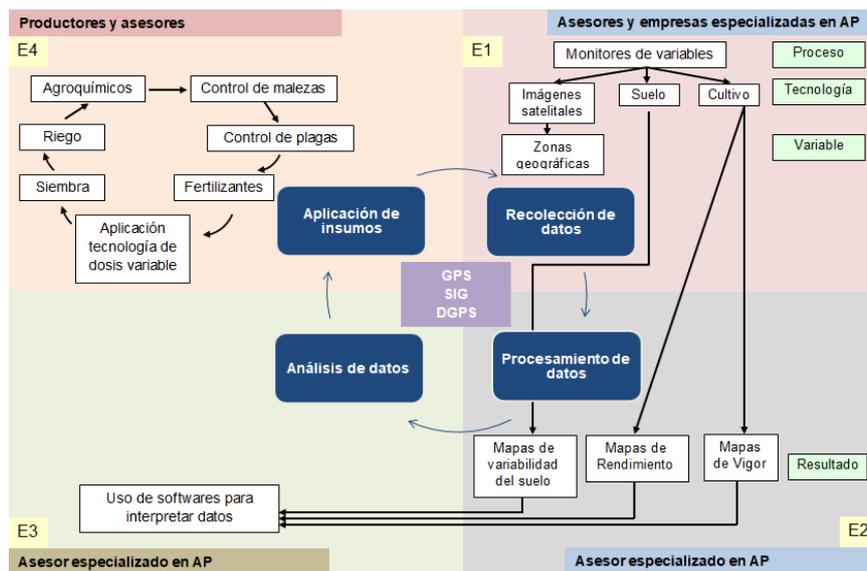


Figura 4: Etapas de la Agricultura de Precisión

En la AP se busca la optimización de la producción agrícola, reduciendo recursos y aumentando la productividad. Por lo que disponer de un sistema de riego óptimo es esencial para la producción.

2.2.4 Sistemas de riego

Los sistemas de riego han venido siendo aplicados hace más de 4000 años [20], y han ido evolucionando, desde la utilización de riego superficial hasta el uso de tecnologías para riego inteligente.

El propósito de un sistema de riego es asegurar que el agua sea usada de manera óptima en la planta, mediante la aplicación de agua necesaria en el suelo conforme la necesidad del cultivo [21]; estos sistemas para los autores [22] han tenido la necesidad de evolucionar para producir mayores cantidades con menos recursos de agua, por lo que disponer de un sistema de riego debe

permitir la gestión eficiente del agua ya que es uno de los elementos clave para que exista mayor productividad.

Sistema de Riego Inteligente (SRI)

Con los avances tecnológicos muchas áreas de la agricultura han ido evolucionando, una de estas son los sistemas de riego, ya que hoy en día se emplean los sistemas de riego inteligentes (SRI) que según los autores [23] son sistemas enfocados en el ahorro de agua y energía, dando a los cultivos la cantidad de agua que necesita y no la que el agricultor cree necesaria, esto lo hace mediante variables de control que permiten saber cuándo el cultivo necesita ser regado [22]. De esta manera la presencia del agricultor en el campo no es obligatoria ya que por medio de la automatización y el uso de redes de sensores pueden gestionar la actividad agrícola [24].

Según los autores [25] plantean que el añadir nuevas tecnologías de comunicación también conocidas como TIC dentro de la agricultura, posibilita que el riego se realice de manera más eficiente y con mayor precisión.

Las prácticas recientes en AP mencionan dos métodos principales de riego que promueven un eficiente manejo del agua: riego por superficie y riego presurizado [4], se hablará principalmente del método de riego presurizado ya que es una técnica de riego más sofisticada para incrementar la eficiencia del agua [26]. Este método se clasifica en: goteo, aspersión y microaspersión, además del sistema de riego por gravedad usado comúnmente por los agricultores.

Sistema de riego por gravedad, son utilizados para los terrenos agrícolas, este se caracteriza por distribuir el agua en el cultivo por medio del uso de la gravedad permitiendo la infiltración del agua en el suelo [27,28], en la Figura 5 se puede observar un cultivo de algodón utilizando riego por gravedad.



Figura 5: Riego por gravedad en un cultivo de algodón [28].

El **sistema de riego por goteo** según [29] es considerado como la tecnología más eficiente para regar plantas frutales, jardines y árboles que consiste, esencialmente, en la aplicación de agua bajo la superficie del suelo utilizando tuberías de presión y diversos tipos de emisores, de manera que sólo humedece la zona radicular de la planta en cantidades pequeñas, pero a mayor frecuencia [4, 6], esto se puede observar en la Figura 6.



Figura 6: Riego por goteo [4].

Por otra parte, el **riego por aspersión** o también denominado, por aspersores, permite la distribución del agua mediante tuberías verificando su uniformidad en la velocidad de rotación y ángulo, altura de trayectoria y tamaño de gotas [24, 30], tiene el nombre debido al uso de aspersores que distribuyen el agua para el riego como se muestra en la Figura 7, teniendo la opción de ser implementado de forma aérea o emergente.



Figura 7: Riego por aspersión [4].

Y finalmente, el **riego por microaspersión** que se caracteriza por aplicar el agua en el suelo mediante pequeñas gotas, este tipo de riego se lo recomienda a cultivos como frutales, hortalizas, etc., [4], en la Figura 8 se puede observar el microaspersor en un cultivo.



Figura 8: Riego por microaspersión [4].

2.2.5 Red de Sensores

La red de sensores inalámbrica o WSN son sensores y actuadores conectados a redes inalámbricas para el envío de información hacia un servidor [13, 16]. Para realizar consultas a la red y obtener información útil desde cualquier lugar y en todo momento, se tiene que integrar la WSN en Internet como parte de IoT [31].

Pues con el paso de los años han aparecido diferentes tecnologías que brindan conexión inalámbrica a WSN permitiendo el marco de la telemetría basada en sensores IoT como: Bluetooth, Zigbee, Wi-Fi, etc., [32].

Se puede implementar una WSN para monitorear las variables ambientales midiendo la temperatura, humedad, presión, ph, conductividad de suelo, etc.,[31] mediante sensores que monitoreen dichas variables. La variable que más se utiliza en aplicaciones IoT es la temperatura ya sea para poder conocer la temperatura del suelo, aire o agua [33].

Sensor de temperatura y humedad

Sensor de precisión para Arduino que permite medir temperatura y humedad, cuyo encapsulado es de mayor tamaño que el DHT11. Sus principales características se detallan en la Tabla 1.

Rango de medición de humedad.	0-100 % HR
Rango de medición de temperatura.	-40 hasta 80 °C
Precisión de temperatura.	±0.5 °C
Precisión de humedad.	±2 % HR

*Tabla 1: Características del Sensor DHT22.
Obtenido de Spark fun Electronics [US]*

2.2.6 Tablero de control inteligente (TCI)

Según González & Macías [34] un sistema automatizado es un sistema que permite el traspaso de diversas tareas de producción, que son realizadas comúnmente por personas, a herramientas tecnológicas.

Este sistema consta de dos partes que son importantes mando y operativa. La *Parte Operativa*, esta parte es la que realiza las funciones directas sobre la máquina haciendo que ésta realice las operaciones [34]. Los elementos que forman la parte operativa son la carcasa, circuito, armadura, contactor, elementos de protección, etc., [35].

La *Parte de Mando* es la parte programable tales como: relés, tarjetas electrónicas o módulos, etc., que son capaces de comunicarse con todos los elementos del tablero [34], uno de módulos que son utilizados para este tipo de tablero son las tarjetas Arduino.

2.2.7 Arduino

La página oficial de Arduino lo define como una plataforma electrónica donde su hardware y software son fáciles de usar, además de ser código abierto dirigido para la realización de proyectos interactivos [36], por otro lado el libro “Arduino y el Internet de las Cosas” explica que es una empresa especializada en desarrollo de software cuyo objetivo principal es el diseño y desarrollo de circuitos electrónicos [37].

Debido a la simplicidad de Arduino y a las facilidades que brinda, es muy usado para diferentes escenarios; ofrece gran cantidad de sensores y bibliotecas que permiten aumentar la capacidad básica dada [38].



Figura 9: Arduino Mega 2560 [36]

Existen muchas plataformas que ofrece Arduino, como se presenta en la Tabla 2 [36, 37]:

Tabla 2: Plataformas Arduino.

Tipo	Descripción
Arduino Mega 2560	Es utilizado para crear circuitos grandes y de gran complejidad, este tipo de Arduino se lo puede observar en la Figura 9.
Arduino ADK	Basado en el 2560 pero con la diferencia de que posee resistencia 8u2 hwb a tierra y está pensado para funcionar con Android.
Arduino Yun	Permite conexiones y aplicaciones en redes avanzadas, está basado en Linux.
Arduino UNO	Es apta para las personas que deseen empezar

	en el mundo del desarrollo electrónico ya que es la más documentada de la familia Arduino.
--	--

2.2.8 Gateway

Un Gateway actúa como intermediario entre dispositivos o motes y la plataforma IoT, ofreciendo una forma para crear redes [39]; éste se encarga de que los datos obtenidos de los sensores puedan llegar a la Cloud mediante el uso de protocolos específicos de IoT [13].

El gateway tiene como función principal de servir de interfaz [40] permitiendo la consolidación de datos provenientes de diversas fuentes e interfaces, por un lado se conecta a la WSN y por el otro a un enlace local Wi-Fi (Internet) [39].

Un gateway IoT es un software que se usa para conectar dispositivos IoT a la red, este es compatible con varios tipos de nodos sensores, diferentes protocolos de comunicación como MQTT y brinda información unificada para el procesamiento sea datos óptimos [41].

2.2.9 Protocolo MQTT

MQTT es un protocolo de comunicación abierto, sencillo, fácil de implementar y ligero, responde a las necesidades de IoT y es muy usado en un sinnúmero de artefactos [37]; utiliza una forma de suscripción/publicación de forma jerárquica que permite el envío de datos a la nube enrutando los mensajes, permitiendo que cualquier dispositivo que esté interesado, pueda registrarse y recibir mensajes [38, 41]. Tiene como base el Protocolo de Control de Transmisión (TCP) por medio de un intermediario; en este tipo de protocolo un “publicador” escribe un mensaje añadiendo un tema y lo publica, luego todos los interesados se suscriben al tema, y éstos reciben el mensaje por medio de intermediario [43], en la Tabla 3 se puede observar el formato de cabecera MQTT.

Tabla 3: Cabecera MQTT

bit	7	6	5	4	3	2	1	0
byte 1	Tipo de mensaje			DUP Flag		Nivel QoS		Ret
byte 2	Longitud Restante							
Encabezado variable								
Carga útil								

Fuente: [43]

2.2.10 Cloud Computing

Cloud Computing o en español, Computación en la Nube, es un modelo que permite el acceso a la red para obtener recursos informáticos que pueden ser compartidos y gestionables [44], la cloud es encargado de almacenar, procesar, analizar, entre otros los datos recibidos [45], poseen 2 características importantes como es el modelo de despliegue y el modelo de servicio [46].

Los modelos de despliegue, como se observa en la Figura 10, poseen 4 tipos como son: nube pública, nube privada, nube híbrida y nube comunidad [13].

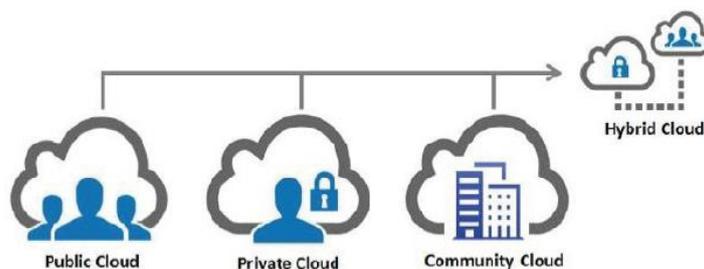


Figura 10: Modelos de despliegue [13]

En cuanto a los modelos de servicio se encuentra: SaaS (Software como Servicio), PaaS (Plataforma como Servicio) e IaaS (Infraestructura como Servicio) [46].

2.3 Objetivos del prototipo

2.3.1 Objetivo General

Implementar un tablero inteligente utilizando tecnología de Arduino e internet de las cosas para el control de riego de banano en la hacienda “Santa Inés” de la Universidad Técnica de Machala.

2.3.2 Objetivos Específicos

- Revisar fuentes bibliográficas y trabajos relacionados con tableros de control inteligentes.
- Especificar los requerimientos para el diseño del prototipo hardware del tablero de control.
- Diseñar el tablero de control para el sistema de riego de banano.
- Desarrollar el software para el TCI que permita la lectura de sensores y control de electroválvulas que activan o desactivan el riego.
- Diseñar un dashboard de monitoreo y control online para el TCI en la plataforma IoT Mach (creado por el grupo de investigación AutoMathTic).
- Realizar pruebas de funcionamiento al TCI desarrollado.

2.4 Diseño del prototipo TCI

El diseño del prototipo contiene componentes hardware y software que permitieron que el TCI pueda realizar de manera óptima los objetivos propuestos. Estos componentes se detallan a continuación:

2.4.1 Diseño del Hardware

Para la puesta en marcha del prototipo se utilizó una serie de componentes y accesorios descritos en la Tabla 4:

Tabla 4: Componentes físicos empleados en el prototipo

Componente	Utilidad
Arduino MEGA	Control de eventos y envío de señales en el panel.
Tarjeta Ethernet Shield	Conexión del panel de control con el servidor de Ethernet.
50 metros de cable de hilos #18	Conexión de los componentes a la placa donde se encuentra el microcontrolador.
Push Button normalmente abierto (18)	Creación de señales de entrada.
Sensor Digital Aosong Am2301 con DHT21	Obtención de información de temperatura y humedad de los campos a

(Temperatura, Humedad)	regar.
Luz Piloto (18)	Señalización del estado de electroválvulas.
Push Button normalmente cerrado 17	Creación de señales de entrada.
Contactador de 25 amperios a 110v	Encendido y apagado el panel de control.
Fuente de poder	Alimentación del circuito.
Canaleta perforada.	Organización de cables dentro del panel.
Módulo de relay de 16 canales	Control de la alimentación de las electroválvulas y las luces piloto cuando se dé la señal por parte del microcontrolador.
Tubo Flex	Organización de los cables que conectan los dispositivos de la parte anterior del panel de control inteligente.
Cable N° 18	Conexión de electroválvulas.
Pantalla LCD (Medidas: 16x2)	Presentación de información de los sensores.
Sensor de presión	Obtención de información de la presión que se encuentra en la bomba
Electroválvulas	Accionamiento del riego en la parcela de banano

Una vez establecidos los componentes y accesorios para llevar a cabo la ejecución del tablero inteligente y luego de recopilar todos los requerimientos, se lleva a cabo el diseño de la placa que se encuentra en el interior del tablero inteligente, esta placa está desarrollada en el programa Fritzing el cual contiene todos los componentes necesarios para el correcto funcionamiento del TCI.

En la Figura 12 se puede observar el diseño del circuito de la placa, en esta se hallan las dos zonas donde se encuentran distribuidas las electroválvulas (1), alimentación (2), pantalla LCD (3) y los sensores (4) tales como: temperatura, presión, humedad, y alarmas.

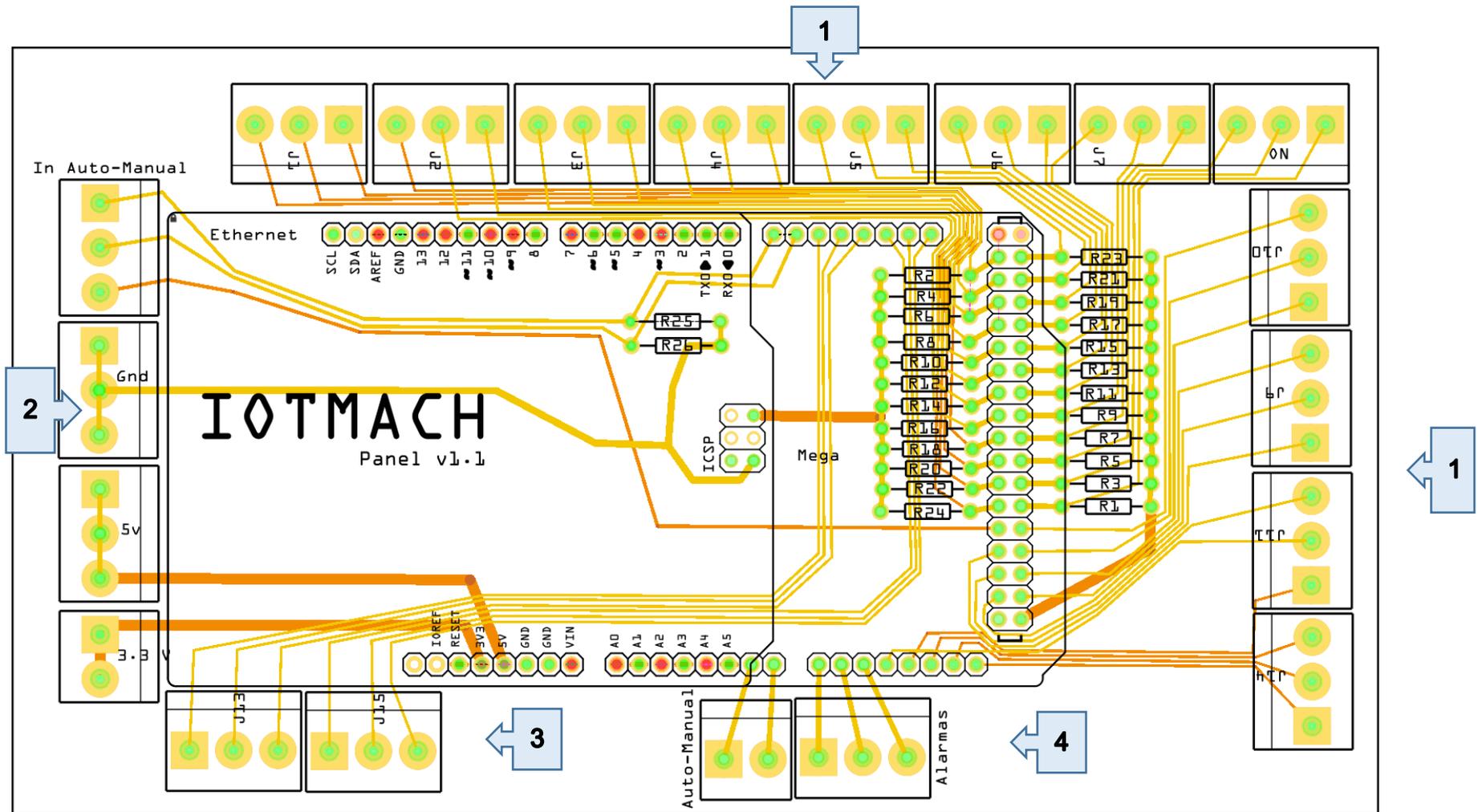
Para la elaboración del TCI se utilizó una tarjeta Arduino Mega que permite la comunicación de las señales digitales producidas al ser accionadas por un sensor, en la Figura 13 se puede observar el diagrama de distribución de pines del Arduino, con su respectiva leyenda que describen las diferentes secciones del TCI.

En la Figura 14 se presenta el mapa de la parcela de banano en la que se encuentran distribuidas las zonas en donde se ubicó las electroválvulas, que se presentan en la Figura 11, y que son activadas por el TCI para el riego automatizado de las plantaciones de banano.



Figura 11: Electrovalvula tipo TPVF100BSPDC

Fuente: Shop Prato Erboso



fritzing

Figura 12: Diseño del circuito para el tablero inteligente

Fuente: Elaboración propia

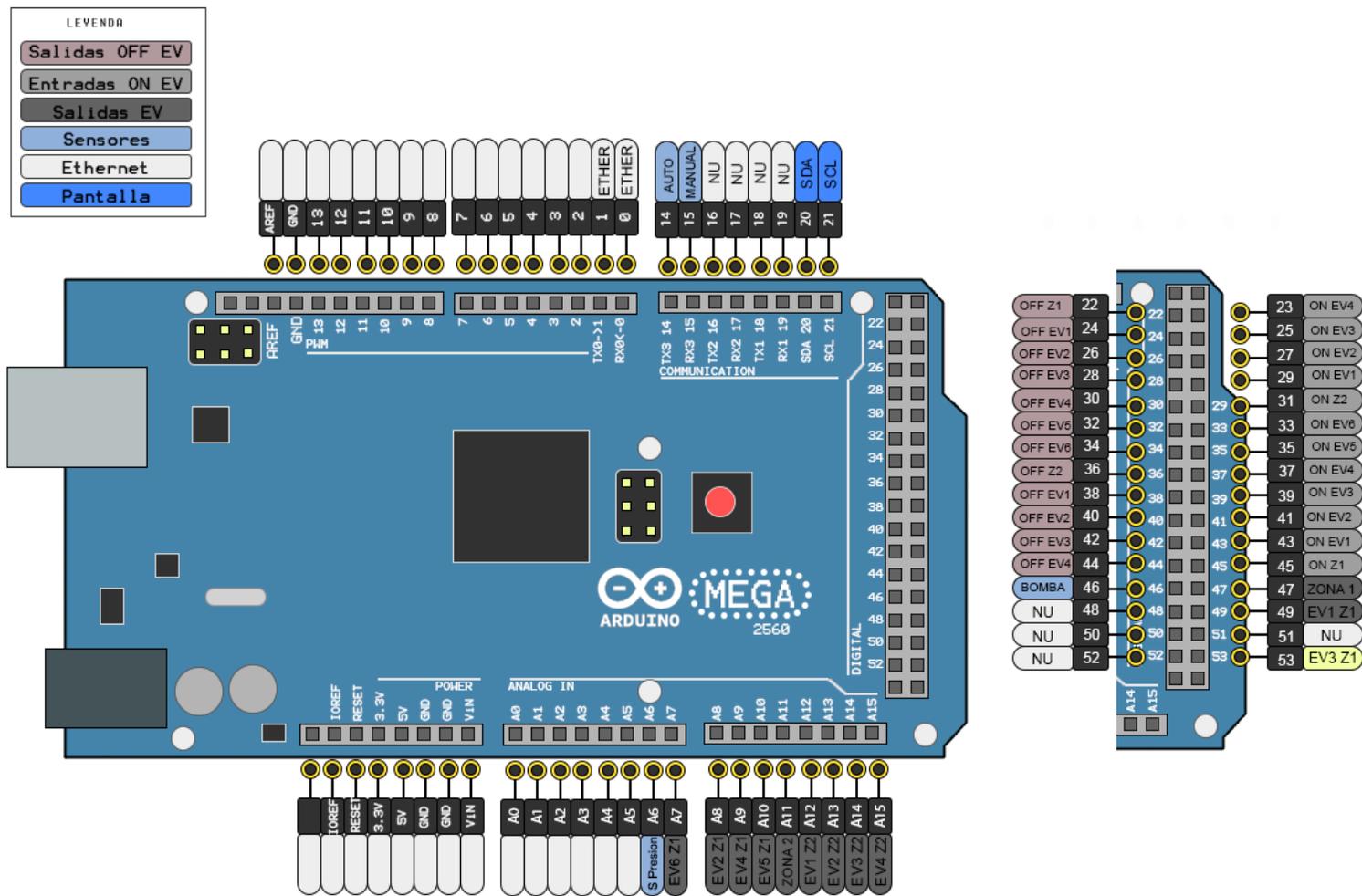


Figura 13: Diagrama de distribución de pines de Arduino Mega 2560 R3

Fuente: Elaboración propia

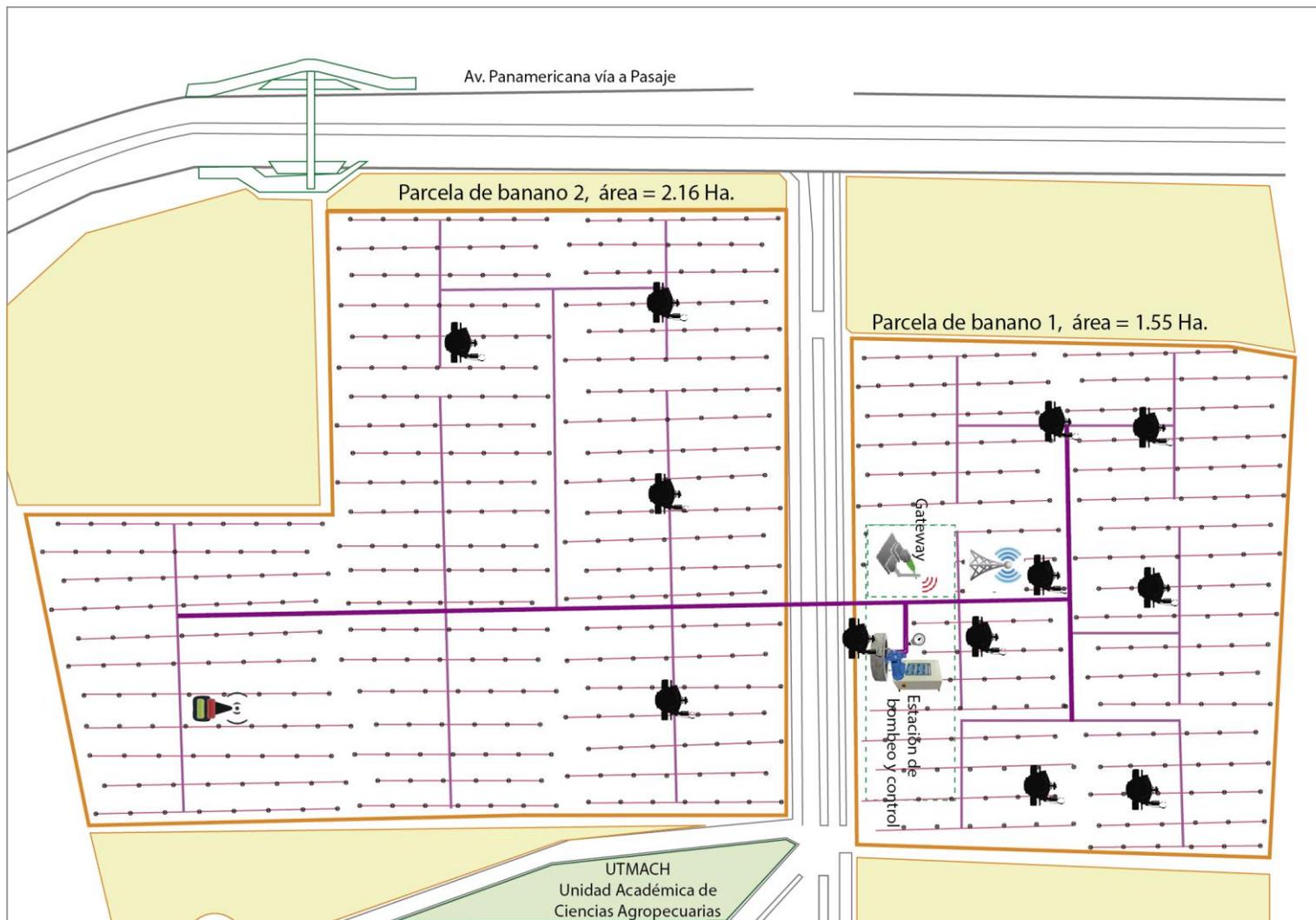


Figura 14: Mapa de parcela de banano de la UTMACH

2.4.2 Diseño del Software

Una vez definidos los componentes hardware del TCI se procede a identificar los componentes software los cuales incluye: Firmware del dispositivo Arduino ubicado en el TCI, el Gateway y Cloud Computing. Mediante un diagrama de actividades se presenta la interacción entre estos:

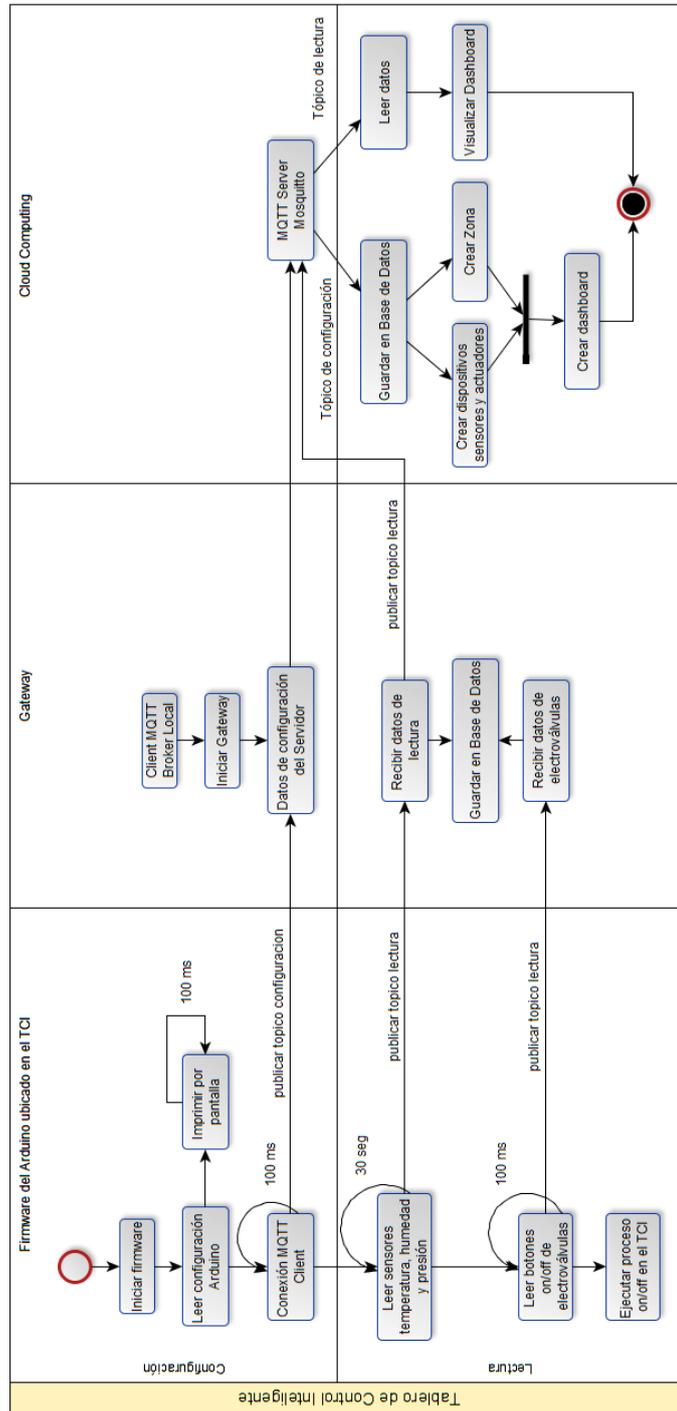


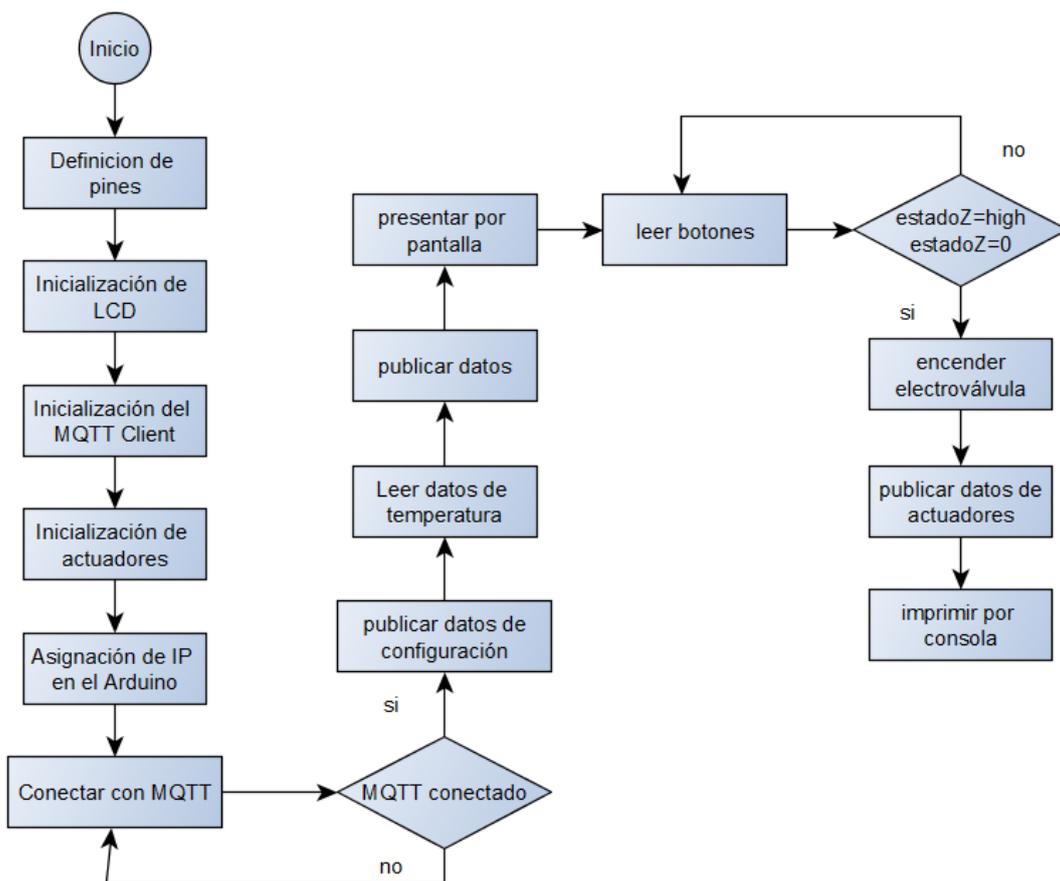
Figura 15: Diagrama de actividades general del TCI

En el diagrama propuesto en la Figura 15 se indica que al recibir los datos de las lecturas mediante el MQTT Server, son guardados en una base de datos, y sólo se visualizan en el Dashboard si ha sido creado y ha recibido los datos de lectura.

Las operaciones que realiza el microcontrolador, que en este caso es la tarjeta Arduino, se presentan en un diagrama de flujo de la Figura 15 donde se define las secuencias de operaciones que se llevan a cabo en éste.

El programa en Arduino realiza las operaciones de definición de pines e inicialización de la pantalla LCD, MQTT Client y de los actuadores, una vez realizada estas operaciones el arduino se conecta con el MQTT para luego publicar los datos de configuración y los datos de lecturas de los sensores. Al ser presionado un botón en el TCI, éste enciende o apaga, según sea la acción, y publica los datos de los actuadores.

Figura 16: Diagrama de flujo de las operaciones del microcontrolador de tarjeta Arduino



Fuente: Elaboración propia

Una vez definidos las operaciones en el diagrama de flujo, se procede a modelar los procesos, como se muestra en la Figura 16, que presenta las fases a llevar a cabo para la transmisión y almacenaje de la información de los sensores y electroválvulas.

2.5 Ejecución y/o ensamblaje del prototipo

a. Componente TCI

Para llevar a cabo la ejecución, se dispone de una placa impresa a la cual se acopla el Arduino Mega y el Ethernet Shield (**Ver Figura 17**) que sirven para que los componentes y dispositivos puedan funcionar correctamente. Esta placa se encuentra en el interior del TCI y a la cual se conectan los respectivos dispositivos.

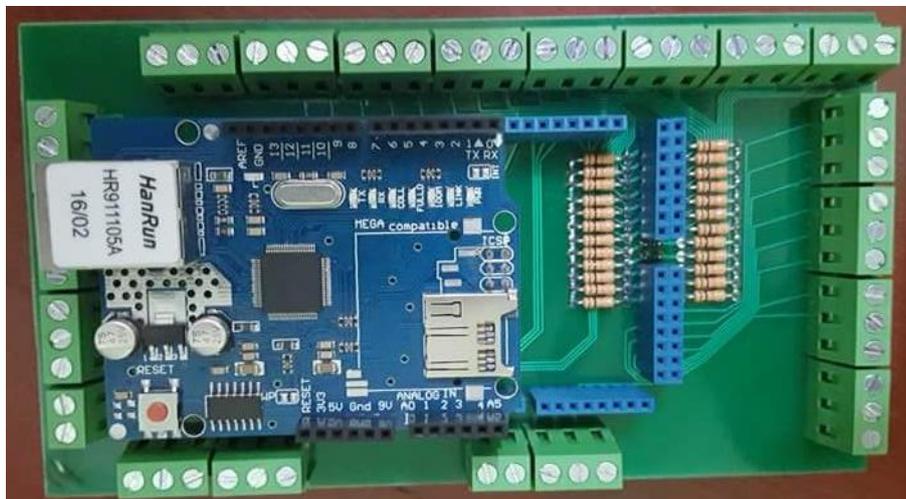


Figura 17: Montaje del circuito impreso junto al Arduino MEGA y Ethernet Shield

El TCI está diseñado de manera que los push buttons y luces piloto están ubicados en la parte frontal del tablero de control, tal y como se presenta en la Figura 18. Los push buttons utilizados en el desarrollo del tablero de control permiten el envío de señales de entrada y salida al microcontrolador. Al activarse una electroválvula, se enciende la luz piloto designada a la misma, en el caso de ser desactivada, ésta luz se apaga.

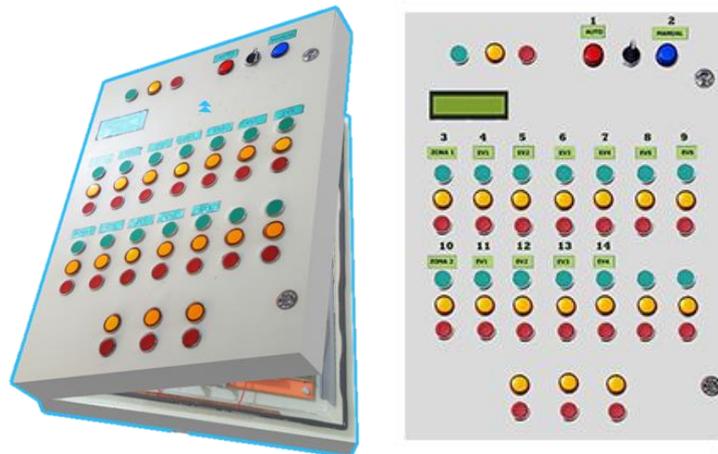


Figura 18: Vista frontal del TCI

La Figura 19 muestra el interior del TCI junto con el Arduino Mega y Ethernet Shield. Ahí se encuentran conectados el módulo de relays con los push button, y éstos a su vez a las borneras de entradas de la tarjeta impresa.

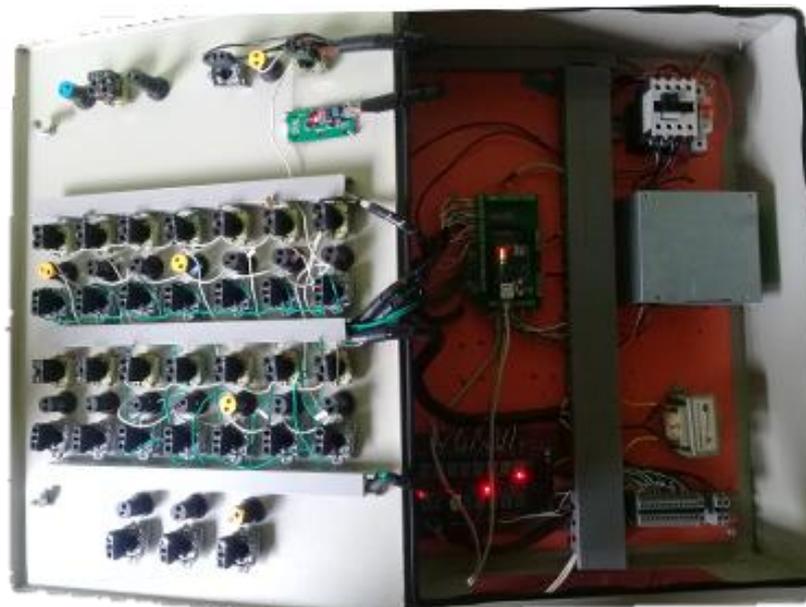


Figura 19: Distribución interna del tablero

b. Software de control en la tarjeta arduino del TCI

El software de control está desarrollado en IDE Arduino para posteriormente ser cargado al Arduino Mega 2560, éste programa permite el monitoreo de los sensores y actuadores instalados en la hacienda “Santa Inés” ubicada en la UACA de la UTMACH con el propósito de automatizar el encendido y apagado de las electroválvulas desde el TCI.

Antes de ser ejecutado el programa en Arduino, el broker Mosquitto y el programa en Python deben ser iniciados, con el fin de buscar al cliente MQTT; para cargar el firmware en el Arduino primero se debe buscar el tipo de tarjeta de Arduino con el que se dispone, tal como se muestra en la Figura 20.

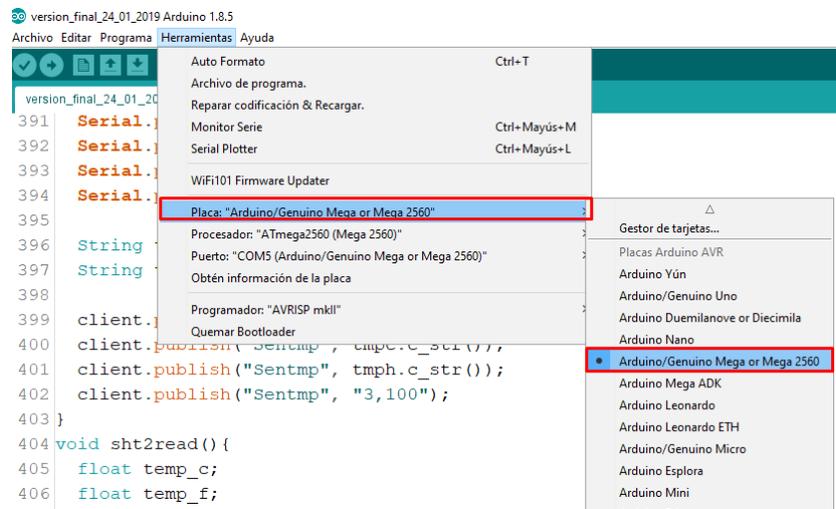


Figura 20: Elección del tipo de tarjeta de Arduino

Luego de haber elegido el tipo de tarjeta del modelo exacto del Arduino Mega, aparecen las opciones del microcontrolador que contenga, en este proyecto se ha trabajado con el ATmega 2560 por lo cual se lo selecciona, esto se lo puede observar en la Figura 21.

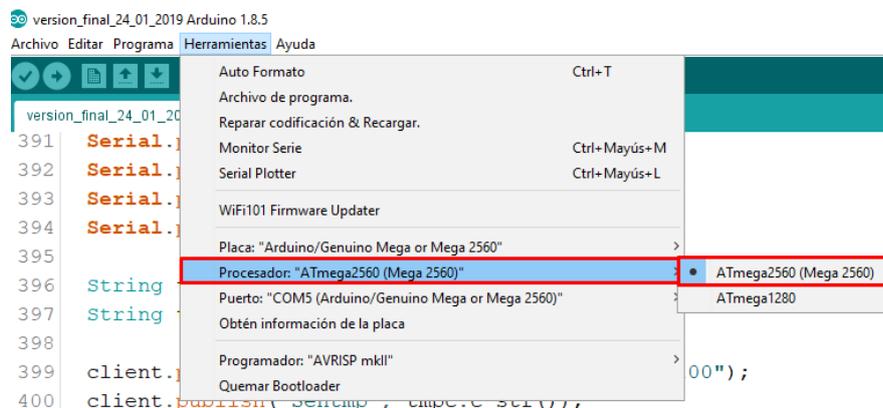


Figura 21: Opciones presentadas del microcontrolador con el que dispone

Se procede a elegir el puerto al que esté conectada la placa de Arduino, en este caso es el puerto COM5, como se visualiza en la Figura 22.

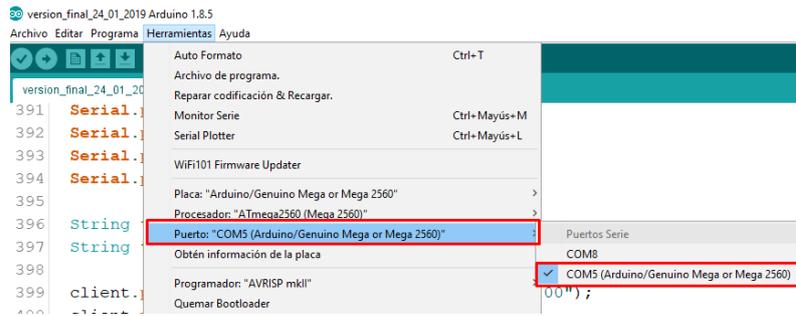


Figura 22: Elección del puerto donde se encuentra conectada la placa de Arduino

Ya realizadas las configuraciones necesarias, se procede a abrir el monitor serie donde se puede visualizar los datos que están siendo enviados; para abrir el monitor dirigirse a la pestaña *Herramientas* y clic en *Monitor Serie* como se presenta en la Figura 23.

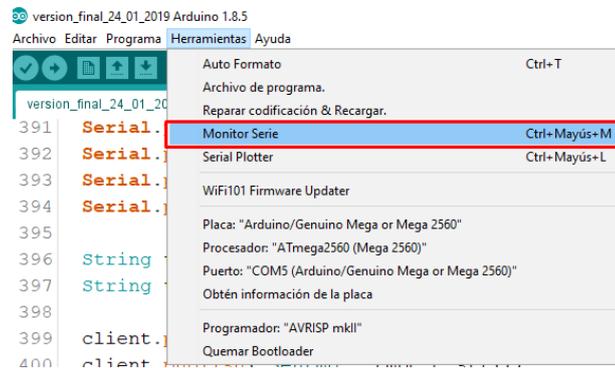


Figura 23: Abrir Monitor Serie

Una vez establecida la conexión con éxito se presenta un mensaje, como se visualiza en la Figura 24 para luego comenzar a publicar.

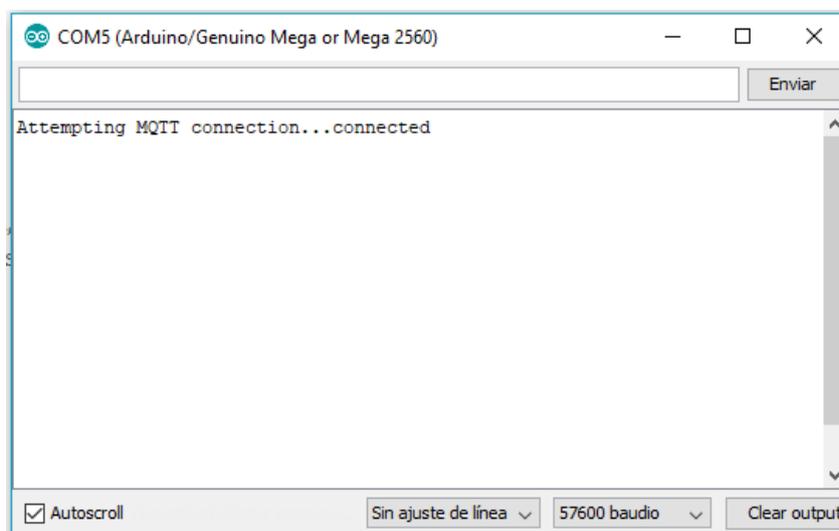


Figura 24: Conexión MQTT

Una vez que ha sido conectado el Arduino, éste comienza a publicar los datos de configuración, y lecturas de sensores/actuadores a través del cliente MQTT; en la Figura 25 se puede observar la consola de Arduino donde se presentan las acciones realizadas de los actuadores en el TCI.



Figura 25: Mensaje por consola de los actuadores

c. Gateway IoT

El Gateway funciona en el sistema operativo CentOS 7, donde se encuentra instalado el Broker MQTT, el cual es Mosquitto y un cliente MQTT como Paho, como se observa en la Figura 26 se presenta la inicialización y el estado de broker.

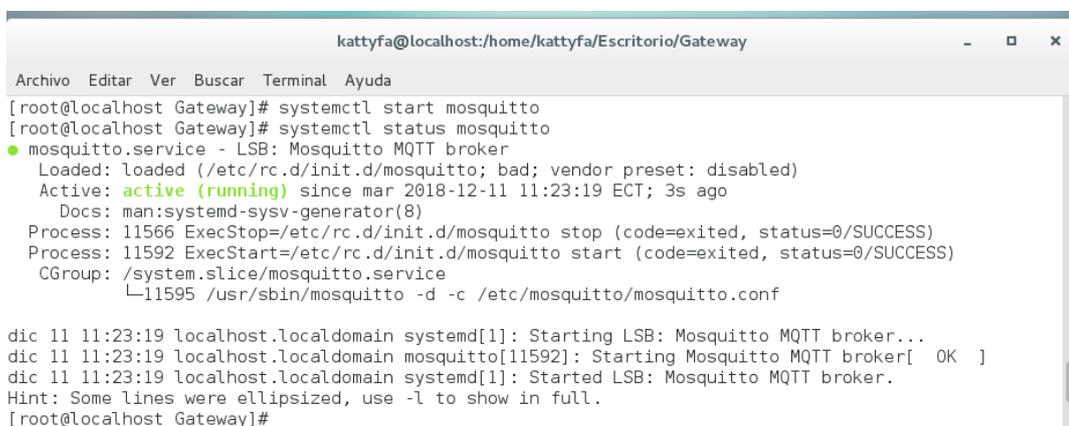


Figura 26: Inicialización del Broker Mosquitto

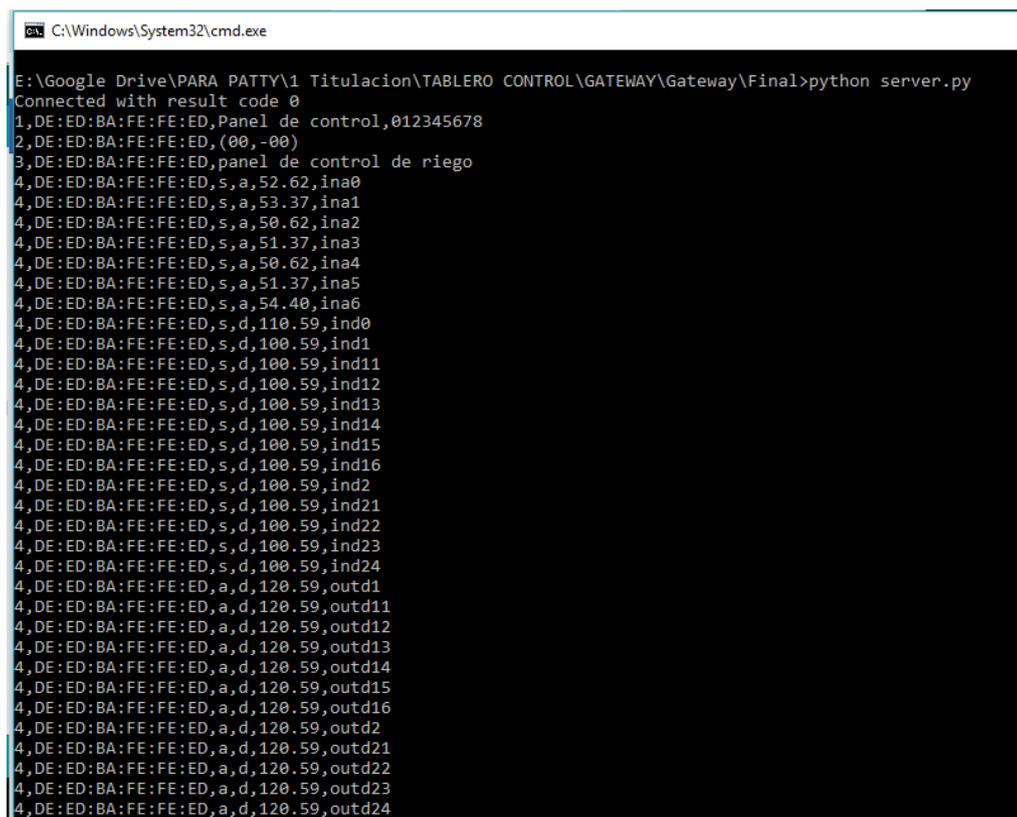
Luego de inicializar Mosquito, se procede a ejecutar el Gateway desarrollado en python. En la Figura 27, se presenta una captura de pantalla de la ejecución e inicialización del Gateway



```
kattyfa@localhost:/home/kattyfa/Escritorio/Gate... - □ ×
Archivo Editar Ver Buscar Terminal Ayuda
[kattyfa@localhost Gateway]$ su
Contraseña:
[root@localhost Gateway]# python server.py
Connected with result code 0
```

Figura 27: Inicialización del Gateway

Al ser ejecutado el Gateway en Python, este comienza a recibir las publicaciones de los datos de configuración del TCI los cuales son: nombre de la empresa, id. de la empresa, descripción, localización, MAC y datos de configuración de sensores y actuadores; estos datos poseen la siguiente estructura: categoría, señal, valor recibido e identificador. En la Figura 28 se presentan los datos de configuración recibidos por el Gateway, en primera instancia son enviados por partes para luego ser unificados.



```
C:\Windows\System32\cmd.exe
E:\Google Drive\PARA PATTY\1 Titulacion\TABLERO CONTROL\GATEWAY\Gateway\Final>python server.py
Connected with result code 0
1,DE:ED:BA:FE:FE:ED,Panel de control,012345678
2,DE:ED:BA:FE:FE:ED,(00,-00)
3,DE:ED:BA:FE:FE:ED,panel de control de riego
4,DE:ED:BA:FE:FE:ED,s,a,52.62,ina0
4,DE:ED:BA:FE:FE:ED,s,a,53.37,ina1
4,DE:ED:BA:FE:FE:ED,s,a,50.62,ina2
4,DE:ED:BA:FE:FE:ED,s,a,51.37,ina3
4,DE:ED:BA:FE:FE:ED,s,a,50.62,ina4
4,DE:ED:BA:FE:FE:ED,s,a,51.37,ina5
4,DE:ED:BA:FE:FE:ED,s,a,54.40,ina6
4,DE:ED:BA:FE:FE:ED,s,d,100.59,ind0
4,DE:ED:BA:FE:FE:ED,s,d,100.59,ind1
4,DE:ED:BA:FE:FE:ED,s,d,100.59,ind11
4,DE:ED:BA:FE:FE:ED,s,d,100.59,ind12
4,DE:ED:BA:FE:FE:ED,s,d,100.59,ind13
4,DE:ED:BA:FE:FE:ED,s,d,100.59,ind14
4,DE:ED:BA:FE:FE:ED,s,d,100.59,ind15
4,DE:ED:BA:FE:FE:ED,s,d,100.59,ind16
4,DE:ED:BA:FE:FE:ED,s,d,100.59,ind2
4,DE:ED:BA:FE:FE:ED,s,d,100.59,ind21
4,DE:ED:BA:FE:FE:ED,s,d,100.59,ind22
4,DE:ED:BA:FE:FE:ED,s,d,100.59,ind23
4,DE:ED:BA:FE:FE:ED,s,d,100.59,ind24
4,DE:ED:BA:FE:FE:ED,a,d,120.59,outd1
4,DE:ED:BA:FE:FE:ED,a,d,120.59,outd11
4,DE:ED:BA:FE:FE:ED,a,d,120.59,outd12
4,DE:ED:BA:FE:FE:ED,a,d,120.59,outd13
4,DE:ED:BA:FE:FE:ED,a,d,120.59,outd14
4,DE:ED:BA:FE:FE:ED,a,d,120.59,outd15
4,DE:ED:BA:FE:FE:ED,a,d,120.59,outd16
4,DE:ED:BA:FE:FE:ED,a,d,120.59,outd2
4,DE:ED:BA:FE:FE:ED,a,d,120.59,outd21
4,DE:ED:BA:FE:FE:ED,a,d,120.59,outd22
4,DE:ED:BA:FE:FE:ED,a,d,120.59,outd23
4,DE:ED:BA:FE:FE:ED,a,d,120.59,outd24
```

Figura 28: Datos de configuración light

Luego que la estructura del JSON ha llegado por completo al Gateway, éste se encarga de unificarlo y enviarlo al servidor. En la Tabla 5 se puede visualizar los datos de configuración unificados para ser enviados al servidor Cloud IoT.

Tabla 5: Datos de configuración

Datos de Configuración	
<pre> 12:25:19 { "nombre": "Panel de control", "empresa": "012345678", "descripcion": "panel de control de riego", "localizacion": "(00,-00)", "mac": "DE:ED:BA:FE:FE:ED", "datos": [{ "categoria": "s", "senal": "a", "interfaz": "ina0", "ted_id": "52.62" }, { "categoria": "s", "senal": "a", "interfaz": "ina1", "ted_id": "53.37" }, { "categoria": "s", "senal": "a", "interfaz": "ina2", "ted_id": "50.62" }, { "categoria": "s", "senal": "a", "interfaz": "ina3", "ted_id": "51.37" }, { "categoria": "s", "senal": "a", "interfaz": "ina4", "ted_id": "50.62" }, { "categoria": "s", "senal": "a", "interfaz": "ina5", "ted_id": "51.37" }, { "categoria": "s", "senal": "a", "interfaz": "ina6", "ted_id": "54.40" }] } </pre>	<pre> }, { "categoria": "s", "senal": "d", "interfaz": "ind0", "ted_id": "110.59" }, { "categoria": "s", "senal": "d", "interfaz": "ind1", "ted_id": "100.59" }, { "categoria": "s", "senal": "d", "interfaz": "ind11", "ted_id": "100.59" }, { "categoria": "s", "senal": "d", "interfaz": "ind12", "ted_id": "100.59" }, { "categoria": "s", "senal": "d", "interfaz": "ind13", "ted_id": "100.59" }, { "categoria": "s", "senal": "d", "interfaz": "ind14", "ted_id": "100.59" }, { "categoria": "s", "senal": "d", "interfaz": "ind15", "ted_id": "100.59" }, { "categoria": "s", "senal": "d", "interfaz": "ind16", "ted_id": "100.59" }, } </pre>

```

{
  "categoria": "s",
  "senal": "d",
  "interfaz": "ind2",
  "ted_id": "100.59"
},
{
  "categoria": "s",
  "senal": "d",
  "interfaz": "ind21",
  "ted_id": "100.59"
},
{
  "categoria": "s",
  "senal": "d",
  "interfaz": "ind22",
  "ted_id": "100.59"
},
{
  "categoria": "s",
  "senal": "d",
  "interfaz": "ind23",
  "ted_id": "100.59"
},
{
  "categoria": "s",
  "senal": "d",
  "interfaz": "ind24",
  "ted_id": "100.59"
},
{
  "categoria": "a",
  "senal": "d",
  "interfaz": "outd1",
  "ted_id": "120.59"
},
{
  "categoria": "a",
  "senal": "d",
  "interfaz": "outd11",
  "ted_id": "120.59"
},
{
  "categoria": "a",
  "senal": "d",
  "interfaz": "outd12",
  "ted_id": "120.59"
},
{
  "categoria": "a",
  "senal": "d",
  "interfaz": "outd13",

```

```

  "ted_id": "120.59"
},
{
  "categoria": "a",
  "senal": "d",
  "interfaz": "outd14",
  "ted_id": "120.59"
},
{
  "categoria": "a",
  "senal": "d",
  "interfaz": "outd15",
  "ted_id": "120.59"
},
{
  "categoria": "a",
  "senal": "d",
  "interfaz": "outd16",
  "ted_id": "120.59"
},
{
  "categoria": "a",
  "senal": "d",
  "interfaz": "outd2",
  "ted_id": "120.59"
},
{
  "categoria": "a",
  "senal": "d",
  "interfaz": "outd21",
  "ted_id": "120.59"
},
{
  "categoria": "a",
  "senal": "d",
  "interfaz": "outd22",
  "ted_id": "120.59"
},
{
  "categoria": "a",
  "senal": "d",
  "interfaz": "outd23",
  "ted_id": "120.59"
},
{
  "categoria": "a",
  "senal": "d",
  "interfaz": "outd24",
  "ted_id": "120.59"
}
]
}

```

Una vez que hayan sido verificados y aprobados los datos de configuración, datos de temperatura y humedad comienzan a ser presentados. En la Figura 29 se puede observar la estructura del JSON light que será enviado al servidor.

```

C:\Windows\System32\cmd.exe - python server.py
.:Google Drive\PARA PATTY\1 Titulacion\TABLERO CONTROL\GATEWAY\Gateway\Final>
.:Google Drive\PARA PATTY\1 Titulacion\TABLERO CONTROL\GATEWAY\Gateway\Final>python server.py
connected with result code 0
'1', 'DE:ED:BA:FE:FE:ED', '100']
'2', '100', 'ina0', '30.00']
'2', '100', 'ina1', '42.00']
'3', '100']
DATOS SENSORES
'mac': "DE:ED:BA:FE:FE:ED", "datos": [{"interfaz": "ina0", "valor": 30.0}, {"interfaz": "ina1", "
valor": 42.0}], "fecha": "2019-01-24 01:23:35", "estado": false, "paquete_id": "100"}
'1', 'DE:ED:BA:FE:FE:ED', '100']
'2', '100', 'ina2', '32.52']
'2', '100', 'ina3', '60.10']
'3', '100']
DATOS SENSORES
'mac': "DE:ED:BA:FE:FE:ED", "datos": [{"interfaz": "ina2", "valor": 32.52}, {"interfaz": "ina3",
valor": 60.1}], "fecha": "2019-01-24 01:23:36", "estado": false, "paquete_id": "100"}
'1', 'DE:ED:BA:FE:FE:ED', '100']
'2', '100', 'ina4', '34.73']
'2', '100', 'ina5', '56.09']
'3', '100']
DATOS SENSORES
'mac': "DE:ED:BA:FE:FE:ED", "datos": [{"interfaz": "ina4", "valor": 34.73}, {"interfaz": "ina5",
valor": 56.09}], "fecha": "2019-01-24 01:23:38", "estado": false, "paquete_id": "100"}
'1', 'DE:ED:BA:FE:FE:ED', '100']
'2', '100', 'ina6', '0.04']
'3', '100']
DATOS SENSORES
'mac': "DE:ED:BA:FE:FE:ED", "datos": [{"interfaz": "ina6", "valor": 0.04}], "fecha": "2019-01-24
01:23:38", "estado": false, "paquete_id": "100"}

```

Figura 29: Datos de temperatura

Los datos de los actuadores solamente son enviados cuando sea accionado un push button de TCI el cual puede estar en dos estados: on/off. En la Figura 30 se visualiza el formato JSON light de una electroválvula en modo **on** (encendido), donde el *valor* recibido es 1.

```

'mac': "DE:ED:BA:FE:FE:ED", "datos": [{"interfaz": "ind12", "valor": 1.0}], "fecha": "2019-01-24
01:23:41", "estado": false, "paquete_id": "100"}

```

Figura 30: Datos del actuador en modo on

Y en la Figura 31 se presenta la estructura del JSON completa de las lecturas recibidas en el tópic *lectura*. Como se puede observar éste presenta los datos de la mac, interfaz, valor recibido, fecha, estado y paquete_id.

```

Tópico: /iotmach/lecturas/          Cantidad: 27
12:28:36
{
  "mac": "DE:ED:BA:FE:FE:ED",
  "datos": [
    {
      "interfaz": "ina6",
      "valor": 0.03
    }
  ],
  "fecha": "2019-01-23 12:28:38",
  "estado": false,
  "paquete_id": "100"
}
-----
12:28:36
{
  "mac": "DE:ED:BA:FE:FE:ED",
  "datos": [
    {
      "interfaz": "ina4",
      "valor": 29.14
    },
    {
      "interfaz": "ina5",
      "valor": 45.58
    }
  ]
}

```

Figura 31: Datos de lectura en el tópic lecturas del servidor Cloud IoT

En la Figura 32 se puede observar la base de datos con 3 tablas (actuadores, registro y sensores), donde llegan los datos de las lecturas, configuraciones, etc.

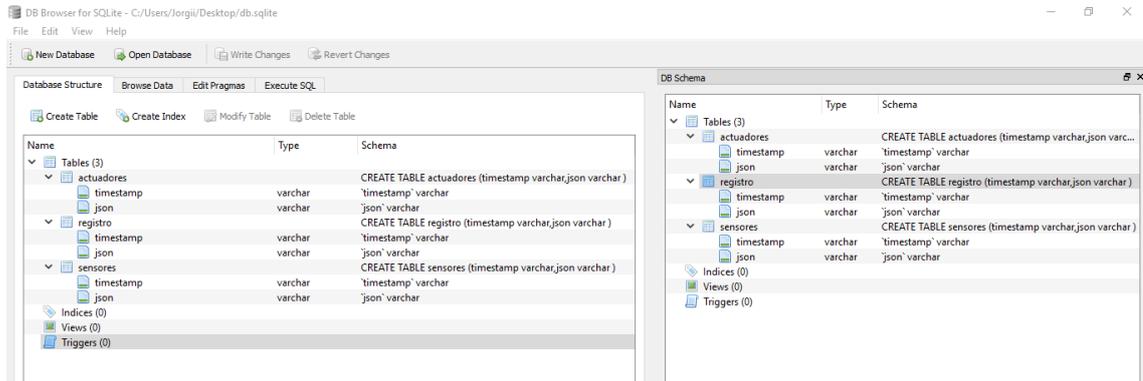


Figura 32: Base de datos del Gateway

d. Diseño del Dashboard en la plataforma Cloud IoT Mach

El Dashboard en la plataforma Cloud IOTMACH permite el monitoreo y control del TCI. El Dashboard es una aplicación web conectada al Server MQTT Mosquitto.

Antes de configurar el Dashboard, el firmware Arduino envía los datos de configuración en formato JSON del dispositivo TCI por una única vez, mediante protocolo MQTT, suscribiéndose al tópico *configuración*, a la plataforma Cloud IOTMACH. Ésta al recibir la configuración del dispositivo TCI automáticamente lo crea como un dispositivo no categorizado. El usuario administrador de IOTMACH ingresa al servidor y categoriza al dispositivo. Además crea y configura la zona y genera el Dashboard de manera automática.

Una vez configurado el Dashboard, está listo para realizar el monitoreo que consiste en la visualización en tiempo real, de los datos de lectura de sensores y estado de los actuadores; para ello, el firmware Arduino envía los datos de lectura en formato JSON, mediante protocolo MQTT, suscribiéndose al tópico *lecturas*.

El usuario administrador de la plataforma IOTMACH puede controlar una electroválvula desde el Dashboard, mediante la pulsación del control respectivo enviando el paquete de control en formato JSON al servidor MQTT a través del tópico *actuadores/MAC*; el Gateway envía al Arduino el mensaje de control; y

una vez realizado el respectivo control del actuador, el Arduino se suscribe al tópico *lecturas* devolviendo el mismo paquete para confirmar que el mensaje ha sido procesado exitosamente.

Creación del Dashboard

Como se puede visualizar en la Figura 33, la MAC enviada se encuentra en la lista de dispositivos en la Cloud IOTMACH.

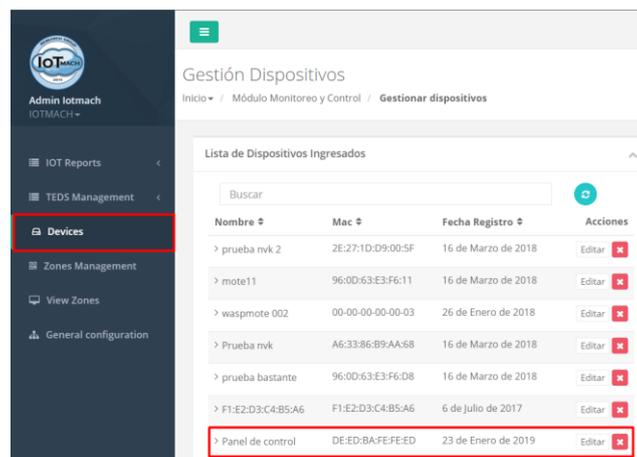


Figura 33: Registro de la MAC del dispositivo dentro del sistema

Luego de que se ha registrado la MAC, se visualizan todos los sensores y actuadores que el TCI posee, dirigiéndose a la pestaña *General configuration* donde se visualiza el dispositivo añadido en la sección *Uncategorized*, como se muestra en la Figura 34.

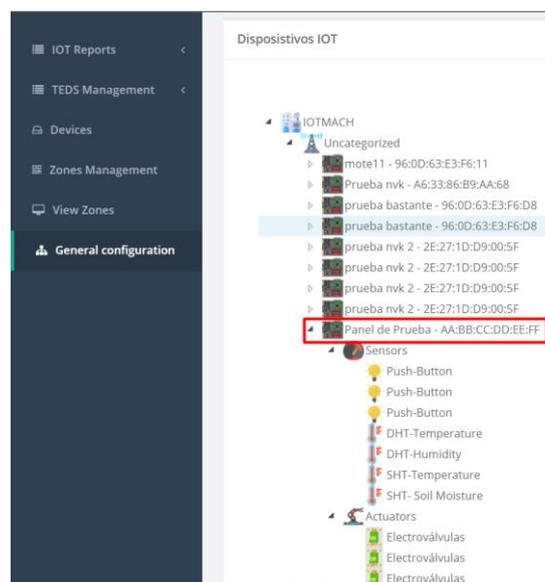


Figura 34: Dispositivo añadido a la pestaña de No categorizados

El dispositivo debe ser añadido a una Zona, por lo cual es necesario crear un Área y sub-Área a la que pertenecerá, para ello, dirigirse a la pestaña *Zones Management* e ir a *Ingreso de Zonas* como se aprecia en la Figura 35; para añadir un sub-Área, dar clic en el ícono  .

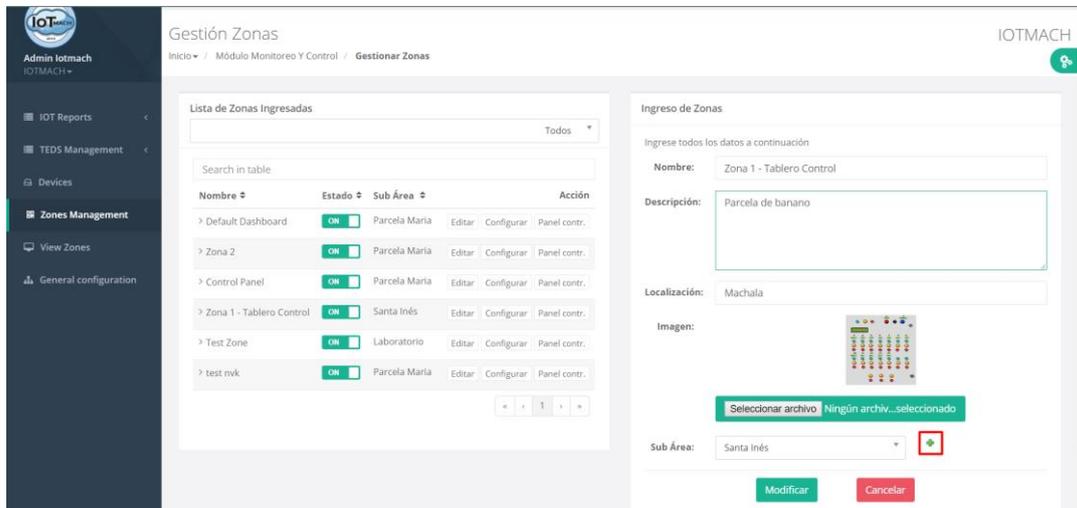


Figura 35: Creación de Zona

Luego aparece una ventana emergente, la cual permite la creación de un sub-Área. En la Figura 36 se puede observar la creación de la sub-Área utilizada en el proyecto. Ésta debe pertenecer a un Área la cual se la crea dando clic en el ícono  .

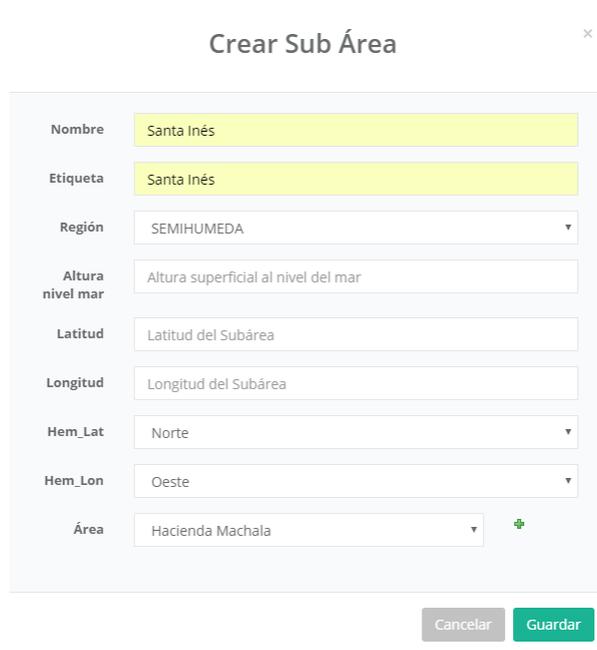


Figura 36: Creación de Sub Área

En la ventana que aparece se deben ingresar los datos del Área a la que van a pertenecer los dispositivos, como se aprecia en la Figura 37.

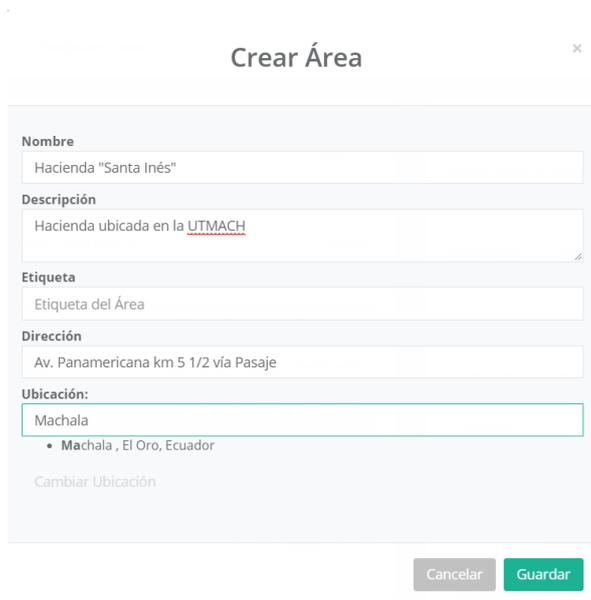


Figura 37: Creación del Área

Luego de haber creado una Zona, ésta debe ser configurada, añadiendo sensores y actuadores de los dispositivos que se requieren monitorear, en nuestro caso del dispositivo TCI. En la Figura 38 se observa que en la sección *Sensores* se añadieron los sensores de temperatura, humedad y presión; además, de la bomba y push button, mientras que en *Actuadores* se añadieron las electroválvulas.

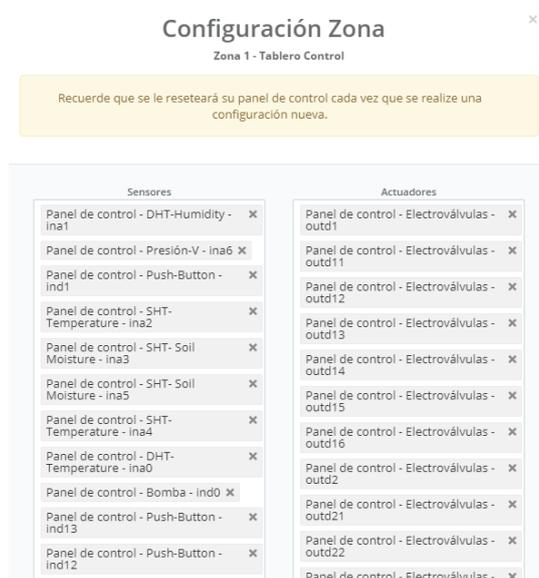


Figura 38: Dispositivos añadidos a la Zona creada

Para que el dispositivo se encuentre categorizado, se debe crear un Dominio, como se muestra en la Figura 39, en la pestaña *Application Domains* se puede visualizar los dominios existentes, así como también crear nuevos haciendo clic en el icono “+”.

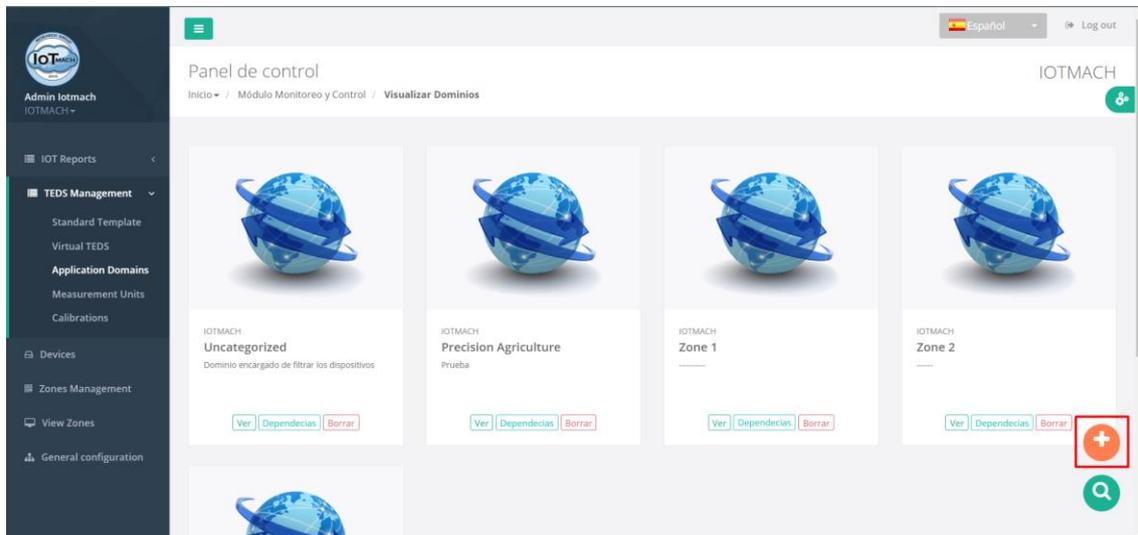


Figura 39: Visualización de Dominios

En la ventana que aparece, se deben llenar los campos como se muestra en la Figura 40 y posteriormente guardar.

Figura 40: Creación de un nuevo Dominio

Para categorizar el dispositivo TCI, se lo hace a través de la pestaña *General configuration* dando doble clic sobre la MAC respectiva para tener la opción de gestionarlo, como se observa en la Figura 41.



Figura 41: Visualización del dispositivo

En la Figura 42 se presenta la gestión del dispositivo seleccionado, en el campo de *Dominio* se escoge el dominio creado en la Figura 40, en este caso es TCI Santa Inés.

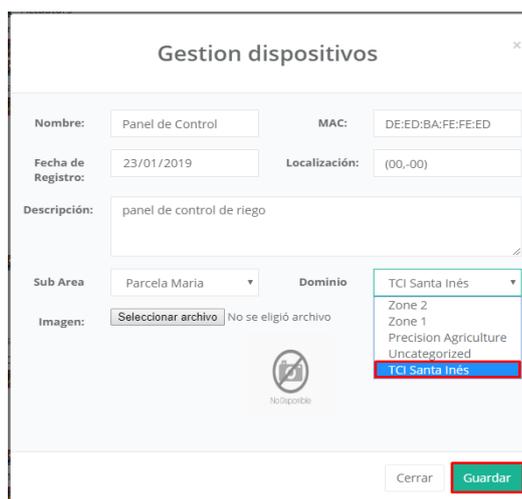


Figura 42: Gestión de dispositivos

En la Figura 43 se aprecia el panel de control añadido al dominio TCI Santa Inés.

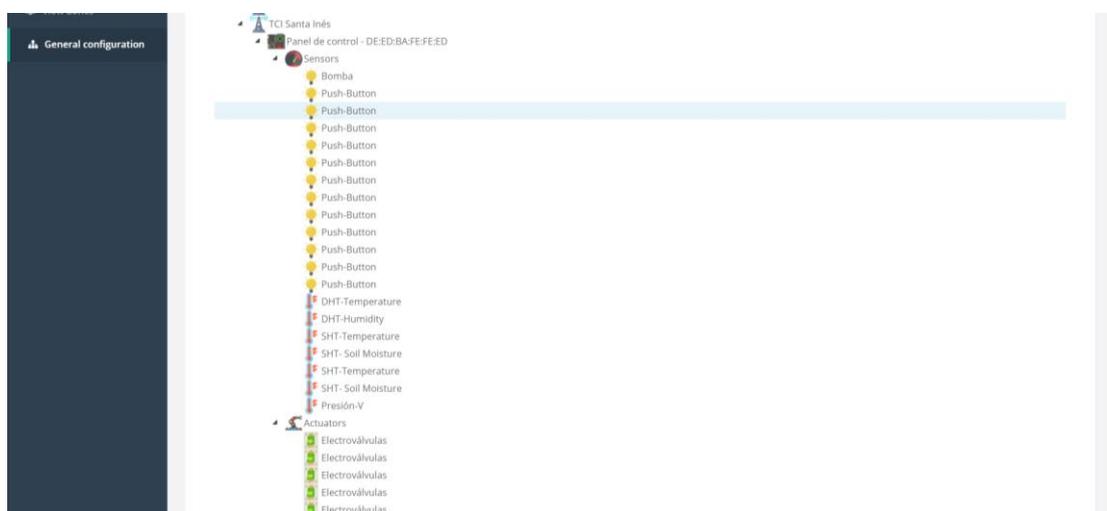


Figura 43: Dispositivo añadido al Dominio "TCI Santa Inés"

En la pestaña *View Zones* se pueden visualizar la Zona 1 – Tablero Control (Ver Figura 44). Para visualización del Dashboard, se da clic en el botón *Ver* de la Zona 1.

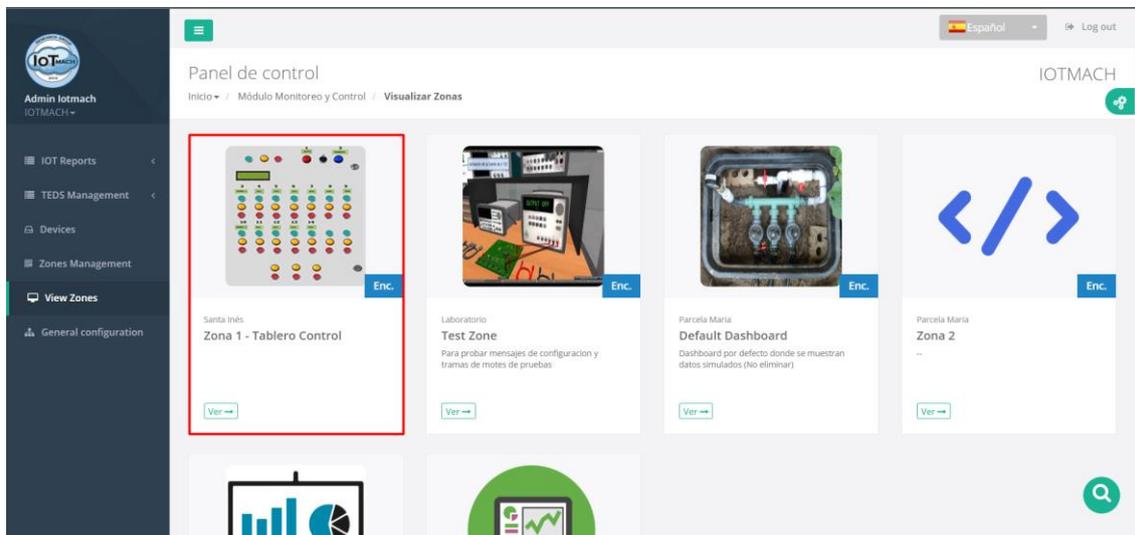


Figura 44: Visualización de las Zonas

En las Figuras 45 y 46 se visualiza el Dashboard creado con los sensores de temperatura y humedad relativa del ambiente, temperatura y humedad del suelo y la presión que ejerce la bomba en la tubería; también los sensores digitales push button presentados como luces piloto en el Dashboard; y, los actuadores representados mediante un botón ON/OFF.

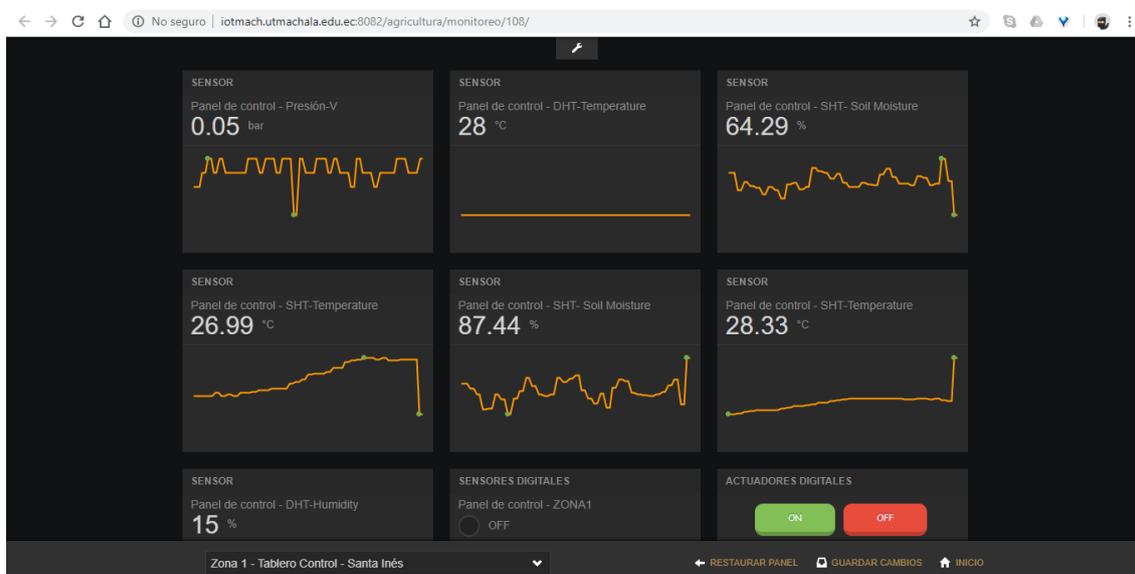


Figura 45: Monitoreo de sensores en el Dashboard

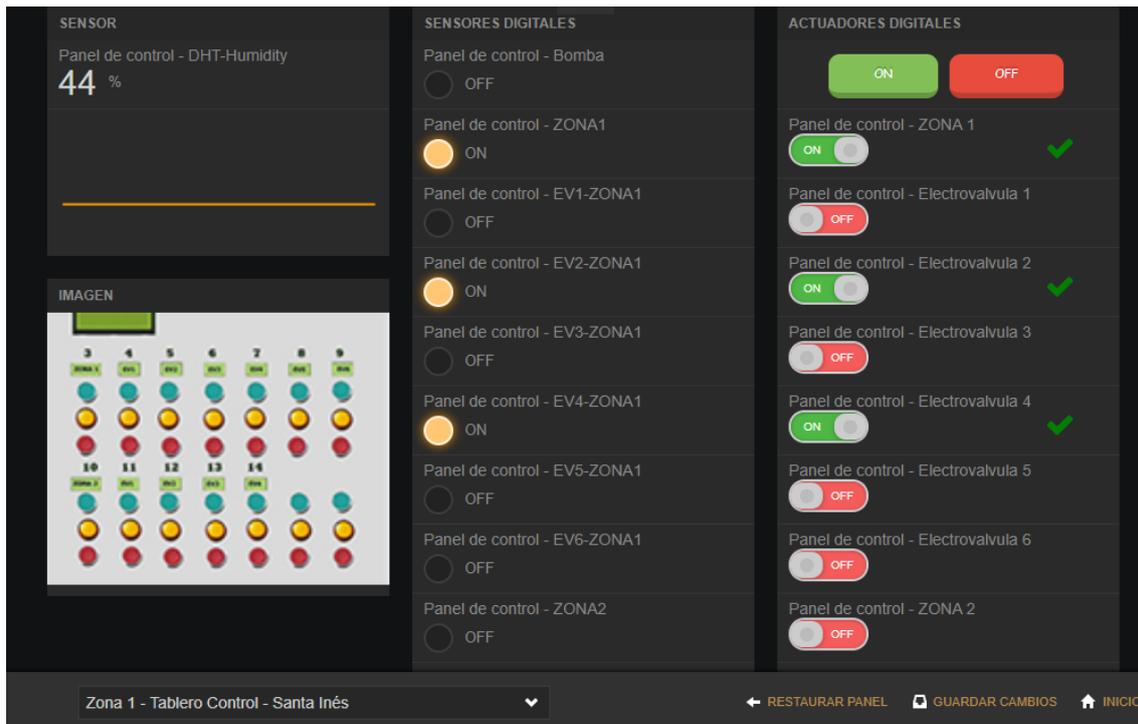


Figura 46: Visualización de los sensores y actuadores en el Dashboard de monitoreo y control

3. CAPÍTULO III: Evaluación del prototipo

3.1 Plan de evaluación

Una vez realizada la construcción del TCI, se procede a efectuar las debidas pruebas para evaluar la funcionalidad y desempeño e identificar posibles fallos o errores. Se diseñaron las siguientes pruebas: pruebas físicas, prueba de continuidad, prueba de aislamiento, prueba de arranque y, prueba de rendimiento y retardo de tiempo.

3.1.1 Pruebas físicas

Para llevar a cabo esta prueba se ha ocupado dos modelos de plantillas que evalúan tableros físicos, según la norma IEC 61439-1 e IEC 61439-2 para la verificación de tableros eléctricos.

En el **Anexo A** se evalúa las características físicas del TCI, tomando en cuenta el lugar donde está ubicado, el acceso al tablero, etc., además de las protecciones que debe poseer un tablero de este tipo, como por ejemplo

identificación de interruptores, funcionamiento de los dispositivos instalados, etc.

La plantilla del **Anexo B** se utilizó para la verificación del tablero de los siguientes aspectos: inspección visual, continuidad del circuito y el control final; tomando en cuenta la presencia de una información respecto al TCI y la debida documentación.

3.1.2 Prueba de continuidad

Se basa principalmente en verificar si el voltaje pasa correctamente de un punto hacia otro, dentro del TCI; ésta prueba se la realiza en primera instancia para verificar que el circuito esté completo.

Para ejecutar esta prueba, se utilizó un multímetro Fluke 117 como se observa en la Figura 33, ésta prueba se llevó a cabo con el tablero completamente desconectado y posteriormente se lo realizó con el tablero conectado, probando así la continuidad en cada punto dentro del TCI, para ver el formato empleado para la realización de esta prueba ver **Anexo C-F**.



Figura 47: Multímetro Fluke 117

En la Tabla 6 se presenta los puntos que fueron tomados en cuenta para realizar la prueba de continuidad:

Tabla 6: puntos tomados para la medición de continuidad en el TCI

Punto A	Punto B
Push Button	Entrada de la tarjeta ubicada en el TCI
Luces piloto	Relays

Relays	Borneras
Relays (pines)	Salidas
Pantalla LCD	Salida de la tarjeta ubicada en el TCI Alimentación de la tarjeta
Botones on/off	Contactador
Alimentación principal	Breaker
Fuente de alimentación	Relays
Fuente de alimentación	Alimentación de la tarjeta
Fuente de alimentación	Contactador
Transformador	Alimentación de luces piloto
UPS	Fuente de alimentación
Breaker	UPS

Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Prueba de aislamiento:

La finalidad de ésta prueba es verificar que los materiales usados en la implementación del TCI, presenten una firme resistencia eléctrica, que limite al máximo el paso de la corriente. Para la realización de esta prueba se usó el multímetro Fluke 117, presentado anteriormente en la Figura 47; y además, se utilizó la conexión a tierra instalada dentro del TCI, que consta de una varilla de cobre enterrada, para lo cual una punta del multímetro fue conectado a tierra y el otro extremo se conectó en varias secciones donde existía presencia de pintura, permitiendo observar cuanta resistencia existía en esas secciones; luego, se procedió a realizar las mediciones donde se ha visto deterioro de la pintura para medir la resistencia existente.

3.1.4 Prueba de arranque

La finalidad de esta prueba es evaluar el tiempo de conexión entre el arduino y el gateway mediante el protocolo MQTT; este tiempo es tomado a partir del momento en el que el TCI es encendido hasta que se recibe el mensaje de confirmación de conexión exitosa. Este mensaje aparece en el monitor serial del IDE Arduino.

La prueba se la llevó a cabo creando un tópico *Logs*, donde se publica el tiempo (yyyy-mm-dd hh:mm:ss.µs) que demora en conectarse el arduino con el gateway y lo almacena en una base de datos. La prueba tuvo 110 observaciones durante un lapso de 20 minutos.

3.1.5 Prueba de rendimiento y retardo de tiempo

El TCI será puesto a prueba para verificar la interacción entre TCI, Arduino, Gateway y la plataforma Cloud IOTMACH. Se evalúa el retardo de tiempo y el éxito de encendido/apagado de electroválvulas. Primero se comprueba el funcionamiento de los push button y las luces piloto; para lo cual, los push button son presionados múltiples veces, encendiendo o apagando la electroválvula respectiva. Luego, se comprueba que el Arduino envíe en fragmentos, a un tópico temporal, el estado actual de la electroválvula. A continuación, se examina si el gateway genera el JSON de lectura que enviará a la Cloud IOTMACH. Finalmente, se verifica si llega el JSON al servidor IOTMACH.

3.2 Resultados de la evaluación

Las pruebas realizadas ayudaron a constatar el funcionamiento del prototipo, ya sean estos resultados positivos o negativos. Según las pruebas realizadas, se obtuvieron los siguientes resultados:

3.2.1 Resultado de las pruebas físicas

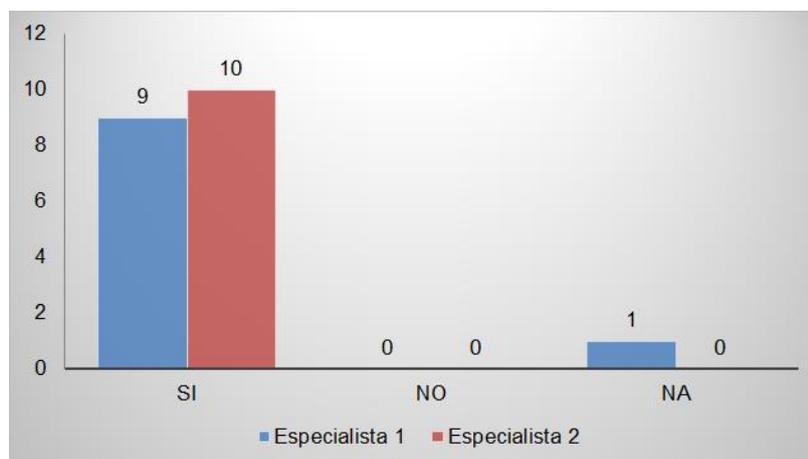
Las pruebas físicas, según plantillas de los **Anexo A**, han permitido determinar el nivel de estado de los componentes mecánicos e instalación del TCI, verificando las características físicas del mismo. En los **Anexos G-H** se pueden verificar los resultados obtenidos de la evaluación a dos especialistas (**Anexo M**), en la Tabla 7 se presentan éstos resultados tabulados y en la Figura 48 se representa gráficamente dichos resultados.

Tabla 7: Resultados de la prueba física - Características físicas

Características físicas			
Evaluador	SI	NO	NA
Especialista 1	9	0	1
Especialista 2	10	0	0

Fuente: Elaboración propia

Figura 48: Resultados de la prueba Físicas - Características físicas



Fuente: Elaboración propia

Interpretación: como se observa en la Figura 48, la cantidad de características físicas evaluadas fueron 10. El especialista 1, determinó que se cumplen 9 características (SI) y una determino que no se aplica (NA). El especialista 2, evaluó las 10 características afirmativamente (SI), por lo que el TCI diseñado posee las características físicas necesarias para su implementación.

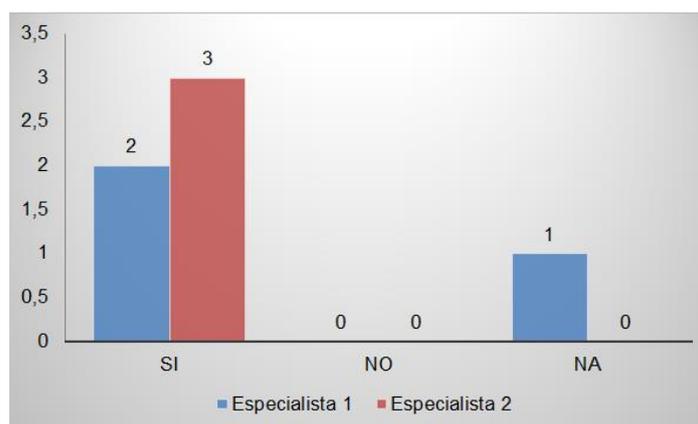
Para la evaluación física del TCI, también se consideró 3 tipos de protecciones que debe cumplir, según la plantilla del **Anexo A**; esta prueba también fueron evaluadas por los especialistas, como se observa en la Tabla 8. En la Figura 49 se aprecian los resultados gráficamente.

Tabla 8: Resultados de la prueba física - Protecciones

Protecciones			
Evaluador	SI	NO	NA
Especialista 1	2	0	1
Especialista 2	3	0	0

Fuente: Elaboración propia

Figura 49: Resultados de la prueba Físicas - Protecciones



Fuente: Elaboración propia

Interpretación: se evaluaron 3 protecciones, de las cuales, el especialista 1 evaluó 2 ítems afirmativamente (SI), y determinó que una protección no aplica (NA); para el especialista 2 se cumplen las 3 protecciones afirmativamente (SI).

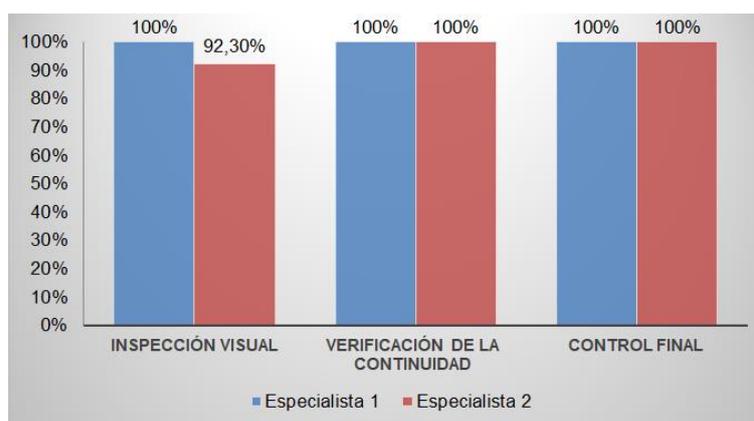
Según el **Anexo B**, también se verificó el cumplimiento de las normas IEC 61439-1 e IEC 61439-2 para la verificación de tableros eléctricos. Los resultados tabulados se presentan en la Tabla 9 y gráficamente en la Figura 50.

Tabla 9: Resumen de la prueba física

Criterio evaluado	Cantidad de ítems evaluados	Especialista 1	Especialista 2
IV	13	100%	92,3%
VC	2	100%	100%
CF	2	100%	100%

Fuente: Elaboración propia

Figura 50: Gráfico de resultados de la evaluación física del prototipo según norma



Fuente: Elaboración propia

Interpretación: en la Figura 50 se puede observar 3 criterios y 17 ítems evaluados. En el criterio Inspección visual (IV), se evaluaron 13 criterios de los cuales se cumplieron en un 100% para el especialista 1 y el 92,3% para el especialista 2. Para los criterios: Verificación de la continuidad del circuito de protección (VC) y Control Final (CF), los dos especialistas evaluaron que se cumplen en un 100%.

3.2.2 Resultado de la prueba de continuidad

La prueba de continuidad (**Anexo C-F**) verifica que el conexionado del TCI esté correcto y que la corriente llegue de manera adecuada a todos los puntos. Los resultados de la prueba se encuentran en los **Anexo H-K**.

Para llevar a cabo esta prueba se ha tomado en cuenta a dos expertos en el área de electricidad con el propósito de validar el correcto funcionamiento del TCI, verificando que las acciones que éste ejecuta sean las adecuadas con el monitoreo y control de la parcela. A continuación, se tabulan los resultados obtenidos de la prueba; los 48 puntos cumplen al 100% la prueba de continuidad (Ver Tabla 10).

Tabla 10: Resumen de los resultados de la prueba de continuidad

Ítem	Descripción	Total de Puntos	Total de puntos con continuidad	%
1	Medición desde Push Button hasta entradas de tarjeta de control	24	24	100%
2	Medición desde Luces Piloto hacia Relays	12	12	100%
3	Medición desde los Relays hacia Borneras de electroválvulas	12	12	100%

Fuente: Elaboración propia

3.2.3 Resultado de la prueba de aislamiento

Puesta en marcha la medición de la resistencia existente en el TCI, se observó que la resistencia que se obtuvo en las partes donde la pintura estaba en buen estado era 0 Ω por lo que existe un buen aislamiento eléctrico; y en las secciones donde existe contacto con el metal, la resistencia oscilaba entre 54

kΩ y 74,9 kΩ, como se observa en la Figura 51, por lo que el TCI se encuentra dentro del rango de aislamiento adecuado que debe tener un tablero eléctrico para funcionar correctamente.

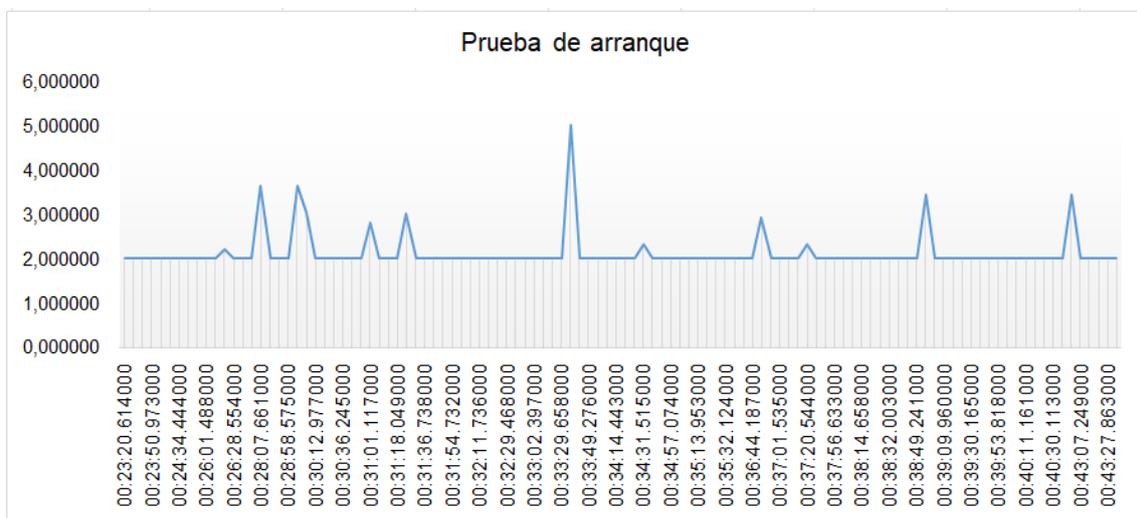


Figura 51: Medición de resistencia eléctrica

3.2.4 Resultado de la prueba de arranque

La prueba de arranque fue llevada a cabo mediante la captura de tiempos en una base de datos, verificando de esta manera el tiempo que tarda en iniciar la conexión con MQTT. En el **Anexo L** se puede observar la base de datos utilizada para esta prueba, a continuación se detallan los resultados obtenidos:

Figura 52: Resultado de los tiempos de conexión al MQTT



Fuente: Elaboración propia

Interpretación: como se puede observar en la Figura 52 el tiempo de arranque normal del TCI se encuentra entre 2" y 5", manteniéndose la mayoría del

tiempo entre el tiempo de 2'', durante el periodo recopilado se puede ver que de entre las 110 observaciones de conexión con MQTT, sólo se obtuvo una vez un tiempo de retardo elevado de 5'' que se encontró entre los 10 primeros minutos de la realización de la prueba, éste retraso pudo haberse dado debido a un fallo en la conexión con Ethernet.

Tabla 11: Tiempo promedio de conexión con MQTT

SUMA (segundos)	237,01518
CANTIDAD	110
PROMEDIO (segundos)	2,154684

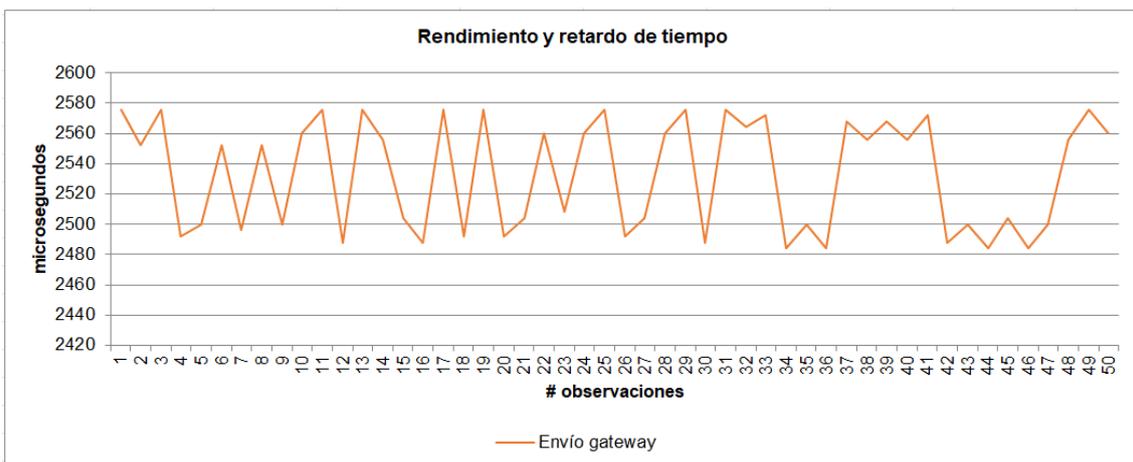
Fuente: Elaboración propia

Interpretación: con los tiempos recopilados en la base de datos para la conexión con MQTT se realizó el cálculo del promedio, en la Tabla 11 se puede ver que el promedio de conexión con MQTT es de 2 segundos con 154684 microsegundos, analizando que el promedio de arranque obtenido en la evaluación es aceptable para el TCI.

3.2.5 Resultado de la prueba de rendimiento y retardo de tiempo

La ejecución de esta prueba ayudó a observar la interacción entre el TCI, Arduino, Gateway y la plataforma Cloud IOTMACH, verificando el envío de los datos desde que los push button son pulsados hasta que llega al servidor. Esta prueba se la realizó con 50 pulsaciones a los push button. A continuación se detalla los resultados obtenidos:

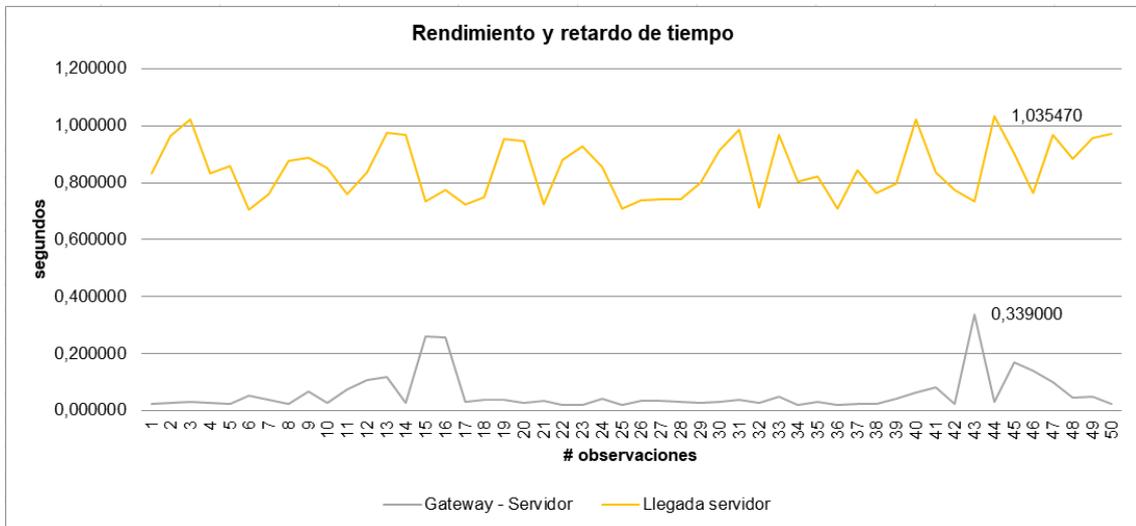
Figura 53: Tiempo de envío Arduino - Gateway presentado en milisegundos



Fuente: Elaboración propia

Interpretación: de las 50 observaciones realizadas para evaluar rendimiento y retardo del Arduino al gateway, el tiempo que tarda en enviar se encuentra entre los 2560 y 2580 microsegundos como se aprecia en la Figura 53.

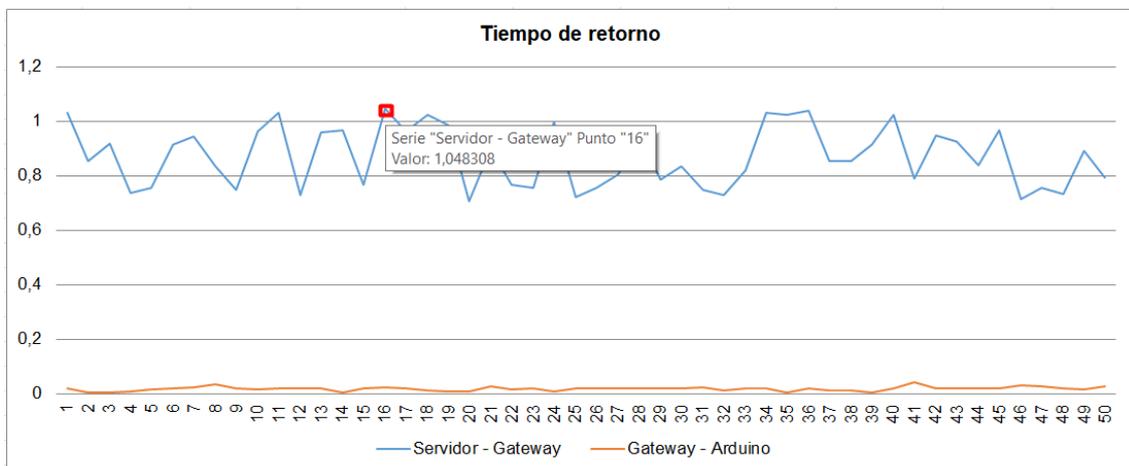
Figura 54: Tiempo de envío del Arduino – Gateway, tiempo de llegada al Gateway y envío al Servidor, y tiempo de llegada al Servidor



Fuente: Elaboración propia

Interpretación: el tiempo de llegada al gateway y envío al servidor, como se observa en la Figura 54, el tiempo máximo de retardo es 0,339000 microsegundos; y, el tiempo de llegada al servidor Cloud que como se observa, es de un segundo con 035470 microsegundos; por lo que se puede decir, que los tiempo de rendimiento y retardo son óptimos.

Figura 55: Tiempo de retorno desde el servidor Cloud hasta Arduino, efectuado en el Control



Fuente: Elaboración propia

Interpretación: para el análisis de los tiempos de retorno, según se aprecia en la Figura 55, se tomó en cuenta el tiempo desde el Servidor hacia el gateway, teniendo un tiempo máximo de envío de un segundo con 048308 microsegundos, y para el envío desde el gateway a Arduino demora un tiempo máximo de 0,045000 microsegundos, siendo ésta una respuesta inmediata y óptima para el control.

Tabla 12: Tiempo promedio de envío y retorno de Arduino, Gateway y Servidor

	Arduino – Gateway	Gateway – Servidor	Llegada servidor	Retorno
SUMA (segundos)	0,1266	2,9830	42,3022	44,5458
CANTIDAD	50	50	50	100
PROMEDIO (segundos)	0,0025	0,0596	0,8460	0,4454

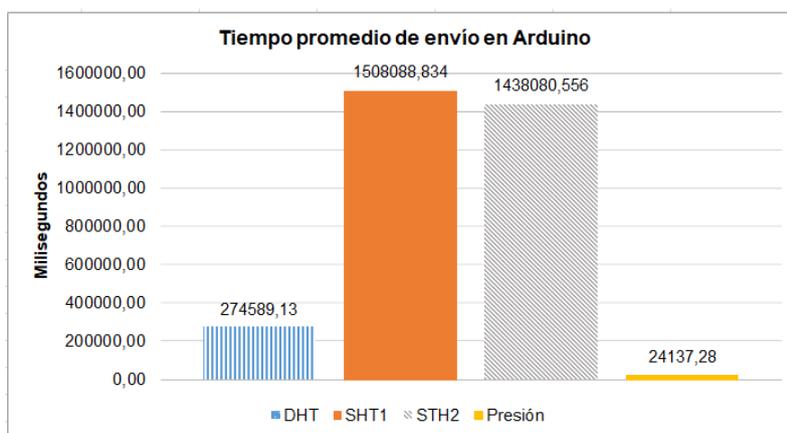
Fuente: Elaboración propia

Interpretación: en la Tabla 12 se visualizan los tiempos promedios que resultó de la prueba, teniendo un tiempo de 0,0025 segundos entre arduino y gateway; el tiempo promedio entre gateway y servidor fue de 0,0596 segundos; el tiempo promedio de la llegada al servidor fue de 0,8460 segundos; y finalmente, el tiempo promedio de retorno desde el servidor hacia el arduino fue de 0,4454; determinando que los tiempos empleados para envío y retorno son óptimos.

Tiempo de envío en sensores

Para el análisis de tiempos de sensores, se recolectaron durante una hora, en periodos de 30 segundos, 187 datos, que se detalla a continuación:

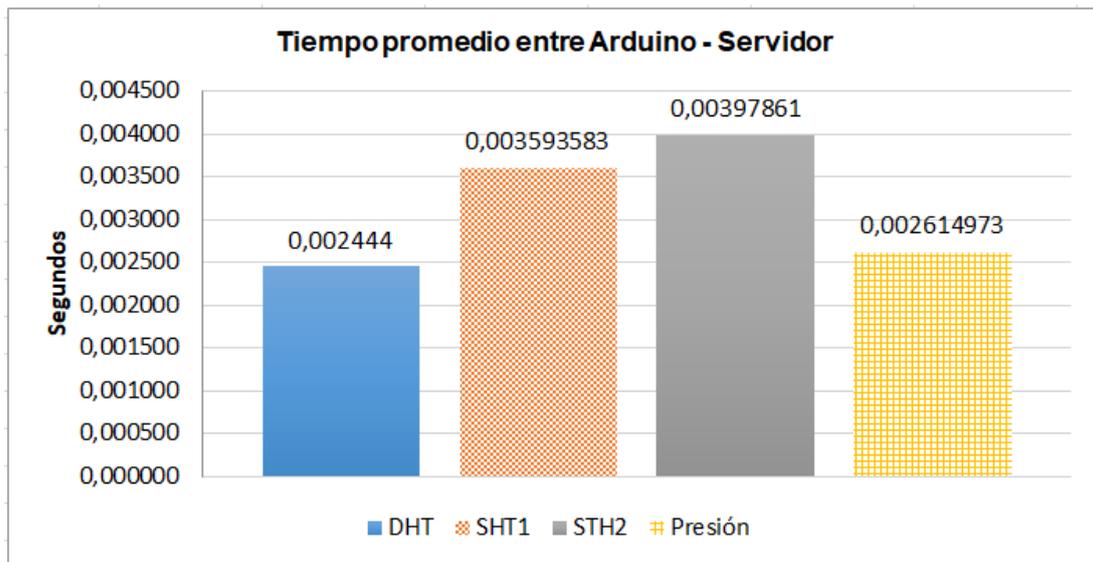
Figura 56: Tiempo de envío promedio en Arduino



Fuente: Elaboración propia

Interpretación: la Figura 56 representa el tiempo promedio de envío de los sensores en el Arduino, pudiendo ver que el sensor de presión es mucho más rápido al momento de realizar la acción, ya que lo ejecuta en 24137 microsegundos, mientras que los sensores SHT1 y SHT2, que son de temperatura y humedad, tienen más tiempo de envío encontrándose en los 1508088 y 143808 microsegundos respectivamente.

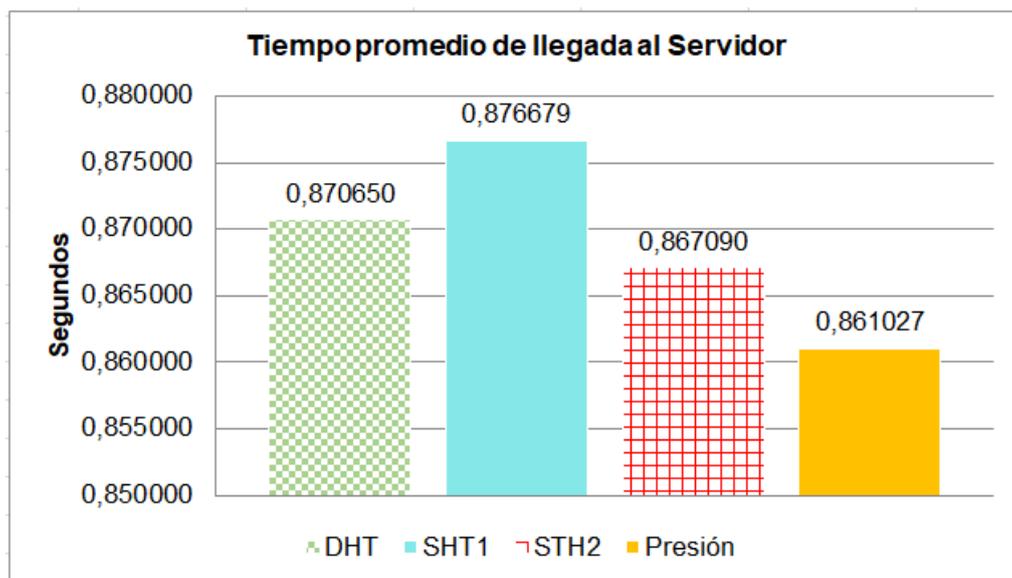
Figura 57: Tiempo de envío promedio entre Arduino - Servidor



Fuente: Elaboración propia

Interpretación: como se aprecia en la Figura 57, los tiempos promedios de envío de los sensores, entre Arduino y servidor cloud, son mínimos, teniendo que el DHT (temperatura y humedad ambiental) es de 0,0024 segundos, SHT1 y SHT2 (temperatura y humedad del suelo) es de 0,0036 y 0,00398 segundos respectivamente; y finalmente, el sensor de presión es de 0,0026 segundos; determinando así que los tiempos de envío desde el Arduino al servidor son eficientes.

Figura 58: Tiempo promedio de llegada al Servidor



Fuente: Elaboración propia

Interpretación: los tiempos promedios de llegada de datos de los sensores al servidor Cloud, se visualizan en la Figura 58, teniendo que el DHT (temperatura y humedad ambiental) es de 0,8707 segundos, SHT1 y STH2 (temperatura y humedad del suelo) es de 0,8767 y 0,8671 segundos respectivamente; y finalmente, el sensor de presión es de 0,8610 segundos; obteniendo así tiempos óptimos de llegada al servidor.

3.3 Conclusiones

- ✓ En la actualidad el Internet de las Cosas ha revolucionado la mayoría de las áreas cotidianas abarcando varios campos como salud, hogar, ganadería, agricultura; en esta última área a la cual el proyecto se encuentra enfocado, la aplicabilidad de IoT son muchas una de ellas es la Agricultura de precisión permitiendo el monitoreo del cultivo mediante la implementación de sensores y la automatización en el sistema de riego.
- ✓ Según la revisión de trabajos de la comunidad científica relacionados al tema sobre tableros de control, la información que se encontró fue limitada, puesto que los aportes científicos encontrados abordaban temas de tableros de control eléctricos sin embargo no abarcan tableros de control inteligentes, siendo estos necesarios hoy en día para facilitar el monitoreo y control del área de cultivo gracias a las ventajas que IoT brinda para la interconexión de los dispositivos.
- ✓ El TCI fue construido con el propósito de mejorar los procesos manuales de control de riego en la bananera “Santa Inés” de la Universidad Técnica de Machala, por medio de la automatización del encendido/apagado de electroválvulas desde un panel de control inteligente remoto.
- ✓ Se diseñó un TCI para el riego de banano utilizando Arduino aplicado a IoT, para la comunicación entre Arduino y Gateway se utilizó el protocolo MQTT y tecnología Ethernet y WIMAX, mientras tanto que el Gateway fue desarrollado en el lenguaje de programación Python, debido a que éste brinda mayor optimización de recursos.
- ✓ El dashboard diseñado cumple la función de monitoreo y control en tiempo real para el riego de banano, permitiendo la visualización de los sensores y actuadores implementados en el TCI, además del encendido y apagado de las electroválvulas de manera remota.

- ✓ Se verificaron cinco pruebas para evaluar al TCI, de lo cual, en la prueba física cumple al 100% en ambas pruebas realizadas; en la prueba de continuidad se cumple en un 100% de la totalidad de puntos puestos a prueba; en la prueba de aislamiento ; la prueba de arranque se obtuvo que el promedio de tiempo para la conexión con MQTT fue de 2 segundos con 154684 microsegundos, siendo aceptable y por último, la prueba de rendimiento y retardo el tiempo máximo que toma en llegar es de un segundo con 035470 microsegundos.

- ✓ Después de las pruebas realizadas se puede ver que el TCI ha sido eficiente y cumple con los objetivos planteados para ser implementado en el riego de banano, debido a que cumple con las características físicas, eléctricas y electrónicas.

3.4 Recomendaciones

Para el correcto funcionamiento del TCI se plantearon las siguientes recomendaciones:

- ✓ Poner una barra de fase y neutro para facilitar el conexionado a cualquier carga del TCI y adicionar una barra de 5 V, 12 V y tierra para evitar conectar todos los dispositivos a la tarjeta de control evitando desconectar algún otro dispositivo sin percatarse.

- ✓ Para trabajos futuros se recomienda implementar el modo automático del riego, que consiste en la toma de decisiones, sin la intervención humana, de cuándo y en qué cantidad se debe regar. Decisión que se la puede realizar basándose en la información histórica recolectada de las variables del suelo como temperatura y humedad o en su defecto planificando reglas de decisión.

4. BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. Escobar Gallardo and A. Villazón, "Sistema De Monitoreo Energético Y Control Domótico Basado En Tecnología 'Internet De Las Cosas,'" *Investig. Desarro.*, vol. 18, no. 1, pp. 103–116, 2018.
- [2] L. M. Acevedo Quintero and M. Á. Gonzáles Castrillón, "Sistema de telemetría para el monitoreo y registro de las variables ambientales de un cultivo hidropónico," Universidad Tecnológica de Pereira, 2008.
- [3] M. S. Allahyari, M. Mohammadzadeh, and S. A. Nastis, "Agricultural experts' attitude towards precision agriculture: Evidence from Guilan Agricultural Organization, Northern Iran," *Inf. Process. Agric.*, vol. 3, no. 3, pp. 183–189, 2016.
- [4] P. Demin, "Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego," *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*. Catamarca, 2014.
- [5] Z. Enrique Cisneros, M. Mendez F, and C. Chong P, "Nuevos enfoques sobre el riego por aspersión de baja intensidad en la agricultura cubana," *Rev. Ciencias Técnicas Agropecu.*, vol. 13, no. 3, pp. 1–11, 2004.
- [6] I. Bennis, H. Fouchal, O. Zytoune, and D. Aboutajdine, "Drip Irrigation System using Wireless Sensor Networks," in *2015 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*, 2015, vol. 5, pp. 1297–1302.
- [7] SENPLADES, *Plan Nacional del Buen vivir 2017-2021*, vol. 1. Quito, Ecuador, 2017, p. 150.
- [8] E. Pérez-López, "Los sistemas SCADA en la automatización industrial," *Tecnol. en Marcha.*, vol. 28, no. 4, pp. 3–14, 2015.
- [9] L. B. Martell, R. C. M. Paneque, and B. V. Cuesta, "Sistemas SCADA para la automatización de los procesos productivos del CIGB," *Rielac*, vol. 37, no. 1, pp. 20–37, 2016.
- [10] C.-D. Dumitru and A. Gligor, "SCADA Based Software for Renewable Energy Management System," *Procedia Econ. Financ.*, vol. 3, no. 12, pp. 262–267, 2012.
- [11] G. Jayavardhana, B. Rajkumar, M. Slaven, and P. Marimuthu, "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions," *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 29, no. 7, pp. 1645–1660, 2013.
- [12] T. Popović, N. Latinović, A. Pešić, Ž. Zečević, B. Krstajić, and S. Djukanović, "Architecting an IoT-enabled platform for precision agriculture and ecological monitoring: A case study," *Comput. Electron. Agric.*, vol.

140, pp. 255–265, 2017.

- [13] D. L. Hernández-Rojas, B. Mazon-Olivo, and C. J. Escudero, “Internet de las cosas (IoT),” in *Análisis de Datos Agropecuarios*, 1st ed., no. June, I. Ramirez-Morales and B. Mazón-Olivo, Eds. Machala, Ecuador: Universidad Técnica de Machala, 2018, pp. 71–100.
- [14] H. Boyes, B. Hallaq, J. Cunningham, and T. Watson, “The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework,” *Comput. Ind.*, vol. 101, no. March, pp. 1–12, 2018.
- [15] A. Sajid, H. Abbas, and K. Saleem, “Cloud-Assisted IoT-Based SCADA Systems Security: A Review of the State of the Art and Future Challenges,” *IEEE Access*, vol. 4, pp. 1375–1384, 2016.
- [16] D. L. Hernández-Rojas, T. M. Fernández-Caramés, P. Fraga-Lamas, and C. J. Escudero, “A plug-and-play human-centered virtual TEDS architecture for the web of things,” *Sensors*, vol. 18, no. 7, pp. 0–40, 2018.
- [17] I. Mohanraj, K. Ashokumar, and J. Naren, “Field Monitoring and Automation Using IOT in Agriculture Domain,” in *6th International Conference On Advances In Computing & Communications, ICACC 2016*, 2016, vol. 93, no. September, pp. 931–939.
- [18] M. Mirhosseini, F. Barani, and H. Nezamabadi-pour, “Design optimization of wireless sensor networks in precision agriculture using improved BQIGSA,” *Sustain. Comput. Informatics Syst.*, vol. 16, pp. 38–47, 2017.
- [19] Ministerio de Agricultura del Gobierno de Chile, *Tecnologías aplicable en agricultura de precisión.*, Primera Ed. Santiago: OGRAMA Impresores, 2015.
- [20] I. Ramirez-Morales, B. Ruilova Reyes, and J. Garzón Montealegre, *Innovación tecnológica en el sector agropecuario*, 1st ed., vol. 2, no. 1. Machala: Universidad Técnica de Machala, 2015.
- [21] J. de la C. Tun Dzul, G. Ramírez Jaramillo, I. Sánchez Cohen, C. T. Lomas Barrié, and A. de J. Cano González, “Diagnóstico y evaluación de sistemas de riego en el distrito 048 Ticul, Yucatán,” *Rev. Mex. ciencias agrícolas*, vol. 2, no. 1, pp. 5–18, 2011.
- [22] L. Levidow, D. Zaccaria, R. Maia, E. Vivas, M. Todorovic, and A. Scardigno, “Improving water-efficient irrigation: Prospects and difficulties of innovative practices,” *Agric. Water Manag.*, vol. 146, pp. 84–94, 2014.
- [23] O. Lugo Espinosa, A. Quevedo Nolasco, J. R. Bauer Mengelberg, D. H. Del Valle Paniagua, E. Palacios Vélez, and M. Águila Marín, “Prototipo

- Para Automatizar Un Sistema De Riego Multicultivo,” *Rev. Mex. Ciencias Agrícolas*, vol. 2, no. 5, pp. 659–672, 2011.
- [24] C. Kumar Sahu and P. Behera, “A low cost smart irrigation control system,” in *2nd International Conference on Electronics and Communication Systems, ICECS 2015*, 2015, no. February 2015, pp. 1146–1151.
- [25] W. M. Rodriguez-Ortega, V. Martinez, R. M. Rivero, J. M. Camara-Zapata, T. Mestre, and F. Garcia-Sanchez, “Use of a smart irrigation system to study the effects of irrigation management on the agronomic and physiological responses of tomato plants grown under different temperatures regimes,” *Agric. Water Manag.*, vol. 183, pp. 158–168, 2017.
- [26] C. Chávez, C. Fuentes, and E. V. Ramos, “Uso eficiente del agua de riego por gravedad utilizando Yeso y Poliácridamida,” *Terra Latinoam.*, vol. 28, no. 3, pp. 231–238, 2010.
- [27] H. Flores-Gallardo, E. Sifuentes-Ibarra, H. Flores-Magdaleno, W. Ojeda-Bustamante, and C. R. Ramos-García, “Técnicas de conservación del agua en riego por gravedad a nivel parcelario,” *Rev. Mex. Ciencias Agrícolas*, vol. 5, no. 2, pp. 241–252, 2014.
- [28] J. M. Gonzalez and E. Playan, *Principios básicos del riego por superficie*, vol. 1, no. 10–11. 2000.
- [29] J. C. Buendía Espinoza, E. Palacios Vélez, J. Chávez Morales, and B. Rojas Martínez, “Impacto del funcionamiento de los sistemas de riego presurizados en la productividad de ocho cultivos, en Guanajuato, México,” *Agrociencia*, vol. 38, pp. 477–486, 2004.
- [30] C. Camposano, B. Espinosa, and P. Saraguro, “Evaluación hidráulica del riego por aspersión subfoliar en banano (*Musa paradisiaca*) en la finca San José 2, provincia Los Ríos, Ecuador,” *Ciencias Técnicas Agropecu.*, vol. 24, no. 1, pp. 38–43, 2015.
- [31] F. Li, Y. Han, and C. Jin, “Practical access control for sensor networks in the context of the Internet of Things,” *Comput. Commun.*, vol. 89–90, pp. 154–164, 2016.
- [32] D. L. Hernández-Rojas, T. M. Fernández-Caramés, P. Fraga-Lamas, and C. J. Escudero, “Design and practical evaluation of a family of lightweight protocols for heterogeneous sensing through BLE beacons in IoT telemetry applications,” in *Sensors*, 2018, vol. 18, no. 1, pp. 1–33.
- [33] D. Hernandez-Rojas, B. Mazon-Olivo, C. Escudero-Cascon, A. Pan-Bermudez, and G. Belduma-Vacacela, “IoT Android Gateway for

- Monitoring and Control a WSN,” *Technol. Trends. CITT 2017. Commun. Comput. Inf. Sci.*, vol. 798, pp. 18–32, 2017.
- [34] L. E. González and K. A. Macías Jiménez, “Tablero de control eléctrico,” Instituto Politécnico Nacional Cuauhtémoc, 2013.
- [35] C. A. Cardozo Galvis, “Diseño y construcción de un tablero de control aplicable a una estación de combustibles líquidos,” Universidad Pontificia Bolivariana, 2011.
- [36] Arduino, “Tarjeta Arduino,” *Página Oficial de Arduino*, 2018. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/>.
- [37] J. Novillo-Vicuña, D. Hernández Rojas, B. Mazón-Olivo, J. Molina-Ríos, and O. Cárdenas Villavicencio, *Arduino y el Internet de las cosas*, 1st ed. Machala: Universidad Técnica de Machala, 2018.
- [38] G. Barbon, M. Margolis, F. Palumbo, F. Raimondi, and N. Weldin, “Taking Arduino to the Internet of Things: The ASIP programming model,” *Comput. Commun.*, vol. 89–90, pp. 128–140, 2016.
- [39] B. Kang and H. Choo, “An experimental study of a reliable IoT gateway,” *ICT Express*, vol. 4, no. 3, pp. 130–133, 2018.
- [40] W. E. Castellanos-Hernández, J. C. Guerri Cebollada, and M. E. Chacón Osorio, “A hybrid gateway discovery algorithm for supporting QoS communications in heterogeneous networks,” *Rev. Fac. Ing. Antioquia*, no. 78, pp. 80–88, 2016.
- [41] A. Glória, F. Cercas, and N. Souto, “Design and implementation of an IoT gateway to create smart environments,” in *The 8th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies (ANT 2017)*, 2017, vol. 109, pp. 568–575.
- [42] M. A. Prada, P. Reguera, S. Alonso, A. Morán, J. J. Fuertes, and M. Domínguez, “Communication with resource-constrained devices through MQTT for control education,” in *IFAC-PapersOnLine*, 2016, vol. 49, no. 6, pp. 150–155.
- [43] M. Singh, M. A. Rajan, V. L. Shivraj, and P. Balamuralidhar, “Secure MQTT for Internet of Things (IoT),” in *2015 5th International Conference on Communication Systems and Network Technologies*, 2015, pp. 746–751.
- [44] D. Hernández, B. Mazon-Olivo, and A. M. Campoverde, “Cloud computing para el internet de las cosas. Caso de estudio orientado a la agricultura de precisión,” in *I Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología UTMACH 2015*, 2015, no. April, pp. 47–53.

- [45] B. Mazon-Olivo, D. Hernández-Rojas, J. Maza-Salinas, and A. Pan, "Rules engine and complex event processor in the context of internet of things for precision agriculture," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 154, pp. 347–360, 2018.
- [46] A. Campoverde, D. Hernández R, and B. Mazón, "Cloud computing con herramientas open-source para Internet de las cosas," *MASKANA*, no. 7, pp. 172–182, 2015.

5. ANEXOS

Anexo A: Plantilla empleada para evaluación de tableros eléctricos

PRUEBA FÍSICA DEL TABLERO INTELIGENTE

1. LUGAR DE TRABAJO

Área de trabajo:

Fecha:

Inspector:

Elaborado por:

		SI	NO	NA.	Observaciones
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS					
1	El acceso al tablero está despejado y este se encuentra cercano al área de trabajo.				
2	Tiene señalizada la tensión de servicio y la corriente nominal.				
3	El tablero está montado dentro de cajas, gabinetes o armarios.				
4	El tablero está construido con materiales no higroscópicos (no liberan humedad) ni combustibles.				
5	El tablero es resistente a la corrosión o está protegido contra ella.				
6	El gabinete que contiene el tablero es hermético, de acceso solo frontal y se puede mantener cerrado.				
7	Posee luces piloto que indiquen el funcionamiento de cada una de las fases.				
8	Posee tapa interior que no permite el contacto con partes energizadas.				
9	La instalación del tablero esta entre 0,6 y 2,0 m. de altura, medidos desde el nivel del piso.				
10	El tablero metálico está conectado a tierra.				
PROTECCIONES					
1	¿Tiene el tablero interruptores de corte o interruptores termo magnéticos automáticos?				
2	Al interior del tablero, todos y cada uno de los interruptores están debidamente identificados.				
3	Se comprobó el correcto funcionamiento de los dispositivos				

diferenciales, además, el tiempo y la intensidad de disparo con instrumentos adecuados, registrar las anotaciones.				
--	--	--	--	--

MUY DEFICIENTE	DEFICIENTE	MEJORABLE

RESULTADO DE LA VALORACIÓN

	Muy deficiente	Deficiente	Mejorable	Correcta
Objetiva				
Subjetiva				

ACCIONES A TOMAR PARA CORREGIR LAS DEFICIENCIAS DETECTADAS

Nombre

Firma

Anexo B: Plantilla para la verificación de tableros eléctricos dado por la norma IEC 61439-1 e IEC 61439-2

**Plantilla para la verificación de tableros eléctricos dado por la norma IEC
61439-1 e IEC 61439-2**

Fecha:

--	--	--

Evaluador:

	Firma
--	--------------

Elaborado por:

Berrú Ayala Jorge Boris	
Morocho Díaz Patricia Elizabeth	

	Operación	Si	No
1. INSPECCIÓN VISUAL			
11.10	Verificación del cableado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.10	Conformidad según los planos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.5	Verificación de equipos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.5	Conformidad de equipos especificados	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.4	Verificación de las medidas relacionadas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.10	Funcionamiento eléctrico (potencia)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.10	Funcionamiento eléctrico (comando)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.10	Verificación de aparatos de medida	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.8	Verificación del funcionamiento mecánico	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.8	Conformidad de las especificaciones	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.4/11.6	Verificación de torques de apriete	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.10	Conformidad de dispositivos de maniobra	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.2	Verificación de la conservación del grado de protección IP	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. VERIFICACIÓN DE LA CONTINUIDAD DEL CIRCUITO DE PROTECCIÓN			
11.4	Medidas de continuidad con corriente de operación de 2A	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.4	Verificación con Tester de continuidad.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. CONTROL FINAL			
11.10	Presencia de placa de datos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.10	Presencia de documentación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Anexo C: Plantilla para pruebas de continuidad – desde push button hasta entradas de tarjeta de control Zona 1

**PRUEBA DE CONTINUIDAD
TABLERO DE CONTROL INTELIGENTE**

Lugar	MACHALA -EL ORO - ECUADOR	
Fecha	26/12/2018	
Realizada por	Jorge Berrú Patricia Morocho	
Supervisada	PhD. Dixys Hernández	

SE HIZO LA PRUEBA CON EL EQUIPO:

Marca	Fluke	TABLERO DE CONTROL INTELIGENTE	
Modelo	117	Número de serie	12244

El presente documento certifica los resultados de las pruebas efectuadas en el TCI, que se encuentra ubicado en la hacienda "Santa Inés" de la UTMACH, a continuación se especifica continuidad en Zona 1 (Z1):

Descripción	Continuidad		Continuidad
	Punto A	Punto B	
Conexión de los Push Button a las entradas de la tarjeta de control	PB NO Z1	Entrada TC Z1 ON	
	PB NO EV1-Z1	Entrada TC EV1-Z1 ON	
	PB NO EV2-Z1	Entrada TC EV2-Z1 ON	
	PB NO EV3-Z1	Entrada TC EV3-Z1 ON	
	PB NO EV4-Z1	Entrada TC EV4-Z1 ON	
	PB NO EV5-Z1	Entrada TC EV5-Z1 ON	
	PB NO EV6-Z1	Entrada TC EV6-Z1 ON	
	PC NC Z1	Entrada TC Z1 OFF	
	PC NC EV1-Z1	Entrada TC EV1-Z1 OFF	
	PC NC EV2-Z1	Entrada TC EV2-Z1 OFF	
	PC NC EV3-Z1	Entrada TC EV3-Z1 OFF	
	PC NC EV4-Z1	Entrada TC EV4-Z1 OFF	
	PC NC EV5-Z1	Entrada TC EV5-Z1 OFF	
	PC NC EV6-Z1	Entrada TC EV6-Z1 OFF	

Nota:

PB: Push Button

NC: Normalmente Cerrado

NO: Normalmente Abierto

TCI: Tablero de Control Inteligente

EV: Electroválvula

Anexo D: Plantilla para pruebas de continuidad – desde push button hasta entradas de tarjeta de control Zona 2

**PRUEBA DE CONTINUIDAD
TABLERO DE CONTROL INTELIGENTE**

Lugar	MACHALA -EL ORO - ECUADOR	
Fecha	26/12/2018	
Realizada por	Jorge Berrú Patricia Morocho	
Supervisada	PhD. Dixys Hernández	

SE HIZO LA PRUEBA CON EL EQUIPO:

Marca	Fluke	TABLERO DE CONTROL INTELIGENTE	
Modelo	117	Número de serie	12244

El presente documento certifica los resultados de las pruebas efectuadas en el TCI, que se encuentra ubicado en la hacienda "Santa Inés" de la UTMACH, a continuación se especifica continuidad en Zona 2 (Z2):

Descripción	Continuidad		Continuidad
	Punto A	Punto B	
Conexión de los Push Button a entradas de la tarjeta de control	PB NO Z2	Entrada TC Z2 ON	
	PB NO EV1-Z2	Entrada TC EV1-Z2 ON	
	PB NO EV2-Z2	Entrada TC EV2-Z2 ON	
	PB NO EV3-Z2	Entrada TC EV3-Z2 ON	
	PB NO EV4-Z2	Entrada TC EV4-Z2 ON	
	PC NC Z2	Entrada TC Z2 OFF	
	PC NC EV1-Z2	Entrada TC EV1-Z2 ON	
	PC NC EV2-Z2	Entrada TC EV2-Z2 ON	
	PC NC EV3-Z2	Entrada TC EV3-Z2 ON	
	PC NC EV4-Z2	Entrada TC EV4-Z2 ON	

Nota:

PB: Push Button

NC: Normalmente Cerrado

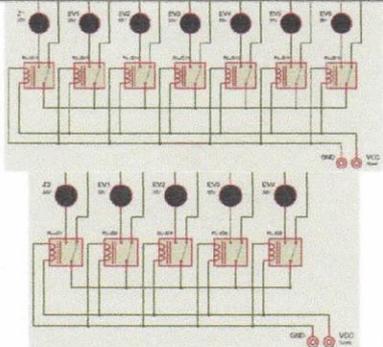
NO: Normalmente Abierto

TCI: Tablero de Control Inteligente

EV: Electroválvula

Anexo E: Plantilla para pruebas de continuidad – desde luces piloto hacia Relays

**PRUEBA DE CONTINUIDAD
TABLERO DE CONTROL INTELIGENTE**

Lugar	MACHALA -EL ORO - ECUADOR	
Fecha	26/12/2018	
Realizada por	Jorge Berrú Patricia Morocho	
Supervisada	PhD. Dixys Hernández	

SE HIZO LA PRUEBA CON EL EQUIPO:

Marca	Fluke	TABLERO DE CONTROL INTELIGENTE	
Modelo	117	Número de serie	12244

El presente documento certifica los resultados de las pruebas efectuadas en el TCI, que se encuentra ubicado en la hacienda "Santa Inés" de la UTMACH, a continuación:

Descripción	Continuidad		Continuidad
	Punto A	Punto B	
Conexión de las Luces Piloto hacia los Relays	RelayNO-JD16	Z1	
	RelayNO-JD15	EV1-Z1	
	RelayNO-JD14	EV2-Z1	
	RelayNO-JD13	EV3-Z1	
	RelayNO-JD12	EV4-Z1	
	RelayNO-JD11	EV5-Z1	
	RelayNO-JD10	EV6-Z1	
	RelayNO-JD1	Z2	
	RelayNO-JD2	EV1-Z2	
	RelayNO-JD4	EV2-Z2	
	RelayNO-JD6	EV3-Z2	
	RelayNO-JD9	EV4-Z2	

Nota:

EV: Electroválvula

NO: Normalmente Abierto

Anexo F: Plantilla para pruebas de continuidad – desde Relays hacia Borneras

**PRUEBA DE CONTINUIDAD
TABLERO DE CONTROL INTELIGENTE**

Lugar	MACHALA -EL ORO - ECUADOR	
Fecha	26/12/2018	
Realizada por	Jorge Berrú Patricia Morocho	
Supervisada	PhD. Dixys Hernández	

SE HIZO LA PRUEBA CON EL EQUIPO:

Marca	Fluke	TABLERO DE CONTROL INTELIGENTE	
Modelo	117	Número de serie	12244

El presente documento certifica los resultados de las pruebas efectuadas en el TCI, que se encuentra ubicado en la hacienda "Santa Inés" de la UTMACH, a continuación:

Descripción	Continuidad		Continuidad
	Punto A	Punto B	
Conexión de los Relays hacia las Borneras de electroválvulas	RelayNO-JD16	B-Z1	
	RelayNO-JD15	B-EV1-Z1	
	RelayNO-JD14	B-EV2-Z1	
	RelayNO-JD13	B-EV3-Z1	
	RelayNO-JD12	B-EV4-Z1	
	RelayNO-JD11	B-EV5-Z1	
	RelayNO-JD10	B-EV6-Z1	
	RelayNO-JD1	B-Z2	
	RelayNO-JD2	B-EV1-Z2	
	RelayNO-JD4	B-EV2-Z2	
	RelayNO-JD6	B-EV3-Z2	
	RelayNO-JD9	B-EV4-Z2	

Nota:

B: Bornera

EV: Electroválvula

NO: Normalmente Abierto

Anexo G: Resultado de las pruebas físicas

PRUEBA FÍSICA DEL TABLERO INTELIGENTE

1. LUGAR DE TRABAJO

Área de trabajo:

Fecha:

Inspector:

Elaborado por:

		SI	NO	NA.	Observaciones
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS					
1	El acceso al tablero está despejado y este se encuentra cercano al área de trabajo.	✓			
2	Tiene señalizada la tensión de servicio y la corriente nominal.	✓			
3	El tablero está montado dentro de cajas, gabinetes o armarios.	✓			
4	El tablero está construido con materiales no higroscópicos (no liberan humedad) ni combustibles.	✓			
5	El tablero es resistente a la corrosión o está protegido contra ella.	✓			
6	El gabinete que contiene el tablero es hermético, de acceso solo frontal y se puede mantener cerrado.	✓			
7	Posee luces piloto que indiquen el funcionamiento de cada una de las fases.	✓			
8	Posee tapa interior que no permite el contacto con partes energizadas.			✓	
9	La instalación del tablero esta entre 0,6 y 2,0 m. de altura, medidos desde el nivel del piso.	✓			
10	El tablero metálico está conectado a tierra.	✓			
PROTECCIONES					
1	¿Tiene el tablero interruptores de corte o interruptores termo magnéticos automáticos?	✓			
2	Al interior del tablero, todos y cada uno de los interruptores están debidamente identificados.	✓			

3	Se comprobó el correcto funcionamiento de los dispositivos diferenciales, además, el tiempo y la intensidad de disparo con instrumentos adecuados, registrar las anotaciones.			✓	
---	---	--	--	---	--

MUY DEFICIENTE	DEFICIENTE	MEJORABLE
		✓

RESULTADO DE LA VALORACIÓN

	Muy deficiente	Deficiente	Mejorable	Correcta
Objetiva				✓
Subjetiva			✓	

ACCIONES A TOMAR PARA CORREGIR LAS DEFICIENCIAS DETECTADAS

ING. JOHNNY NOVILO J.

Nombre



Firma

PRUEBA FÍSICA DEL TABLERO INTELIGENTE

1. LUGAR DE TRABAJO

Área de trabajo: Hacienda "Santa Inés"

Fecha: 21 / 01 / 19

Inspector: Ing. Dixys Hernández

Elaborado por: Berrú Ayala Jorge Boris
Morocho Díaz Patricia Elizabeth

		SI	NO	NA.	Observaciones
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS					
1	El acceso al tablero está despejado y este se encuentra cercano al área de trabajo.	✓			
2	Tiene señalizada la tensión de servicio y la corriente nominal.	✓			
3	El tablero está montado dentro de cajas, gabinetes o armarios.	✓			
4	El tablero está construido con materiales no higroscópicos (no liberan humedad) ni combustibles.	✓			
5	El tablero es resistente a la corrosión o está protegido contra ella.	✓			
6	El gabinete que contiene el tablero es hermético, de acceso solo frontal y se puede mantener cerrado.	✓			
7	Posee luces piloto que indiquen el funcionamiento de cada una de las fases.	✓			
8	Posee tapa interior que no permite el contacto con partes energizadas.	✓			
9	La instalación del tablero esta entre 0,6 y 2,0 m. de altura, medidos desde el nivel del piso.	✓			
10	El tablero metálico está conectado a tierra.	✓			
PROTECCIONES					
1	¿Tiene el tablero interruptores de corte o interruptores termo magnéticos automáticos?	✓			
2	Al interior del tablero, todos y cada uno de los interruptores están debidamente identificados.	✓			
3	Se comprobó el correcto funcionamiento de los dispositivos	✓			

diferenciales, además, el tiempo y la intensidad de disparo con instrumentos adecuados, registrar las anotaciones.				
--	--	--	--	--

MUY DEFICIENTE	DEFICIENTE	MEJORABLE
		✓

RESULTADO DE LA VALORACIÓN

	Muy deficiente	Deficiente	Mejorable	Correcta
Objetiva				✓
Subjetiva			✓	

ACCIONES A TOMAR PARA CORREGIR LAS DEFICIENCIAS DETECTADAS

Dixys Hernández Rojas

Nombre



Firma

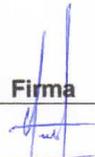
Anexo G: Resultado de las pruebas físicas según Norma IEC 61439-1 e IEC 61439-2

Plantilla para la verificación de tableros eléctricos dado por la norma IEC 61439-1 e IEC 61439-2

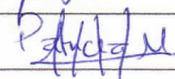
Fecha:

21	01	19
----	----	----

Evaluador:

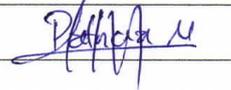
INC. JOHNNY NOVILO V.	Firma 
-----------------------	--

Elaborado por:

Berrú Ayala Jorge Boris	
Morocho Díaz Patricia Elizabeth	

	Operación	Si	No
1. INSPECCIÓN VISUAL			
11.10	Verificación del cableado	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.10	Conformidad según los planos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.5	Verificación de equipos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.5	Conformidad de equipos especificados	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.4	Verificación de las medidas relacionadas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.10	Funcionamiento eléctrico (potencia)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.10	Funcionamiento eléctrico (comando)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.10	Verificación de aparatos de medida	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.8	Verificación del funcionamiento mecánico	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.8	Conformidad de las especificaciones	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.4/11.6	Verificación de torques de apriete	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.10	Conformidad de dispositivos de maniobra	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.2	Verificación de la conservación del grado de protección IP	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. VERIFICACIÓN DE LA CONTINUIDAD DEL CIRCUITO DE PROTECCIÓN			
11.4	Medidas de continuidad con corriente de operación de 2A	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.4	Verificación con Tester de continuidad.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. CONTROL FINAL			
11.10	Presencia de placa de datos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.10	Presencia de documentación	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Plantilla para la verificación de tableros eléctricos dado por la norma IEC
61439-1 e IEC 61439-2**

Fecha:	21	01	19
Evaluador:	Dirys Hernandez Rojas		Firma 
Elaborado por:	Berrú Ayala Jorge Boris		
	Morocho Díaz Patricia Elizabeth		

	Operación	Si	No
1. INSPECCIÓN VISUAL			
11.10	Verificación del cableado	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.10	Conformidad según los planos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.5	Verificación de equipos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.5	Conformidad de equipos especificados	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.4	Verificación de las medidas relacionadas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.10	Funcionamiento eléctrico (potencia)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.10	Funcionamiento eléctrico (comando)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.10	Verificación de aparatos de medida	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.8	Verificación del funcionamiento mecánico	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.8	Conformidad de las especificaciones	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.4/11.6	Verificación de torques de apriete	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.10	Conformidad de dispositivos de maniobra	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.2	Verificación de la conservación del grado de protección IP	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2. VERIFICACIÓN DE AISLACIÓN			
11.9	Test dieléctrico de tensión	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.2	Resistencia de aislación bajo 110V. Valor mínimo medido	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. VERIFICACIÓN DE LA CONTINUIDAD DEL CIRCUITO DE PROTECCIÓN			
11.4	Medidas de continuidad con corriente de operación de 2A	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.4	Verificación con Tester de continuidad.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. CONTROL FINAL			
11.10	Presencia de placa de datos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.10	Presencia de documentación	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Anexo H: Resultado de la prueba de continuidad – medición desde los push button hacia las entradas de la tarjeta de control Zona 1.

**PRUEBA DE CONTINUIDAD
TABLERO DE CONTROL INTELIGENTE**

Lugar	MACHALA -EL ORO - ECUADOR	
Fecha	26/12/2018	
Realizada por	Jorge Berrú Patricia Morocho	
Supervisada	PhD. Dixys Hernández	

SE HIZO LA PRUEBA CON EL EQUIPO:

Marca	Fluke	TABLERO DE CONTROL INTELIGENTE	
Modelo	117	Número de serie	12244

El presente documento certifica los resultados de las pruebas efectuadas en el TCI, que se encuentra ubicado en la hacienda "Santa Inés" de la UTMACH, a continuación se especifica continuidad en Zona 1 (Z1):

Descripción	Continuidad		Continuidad
	Punto A	Punto B	
Conexionado de los Push Button a entradas de la tarjeta de control	PB NO Z1	Entrada TC Z1 ON	✓
	PB NO EV1-Z1	Entrada TC EV1-Z1 ON	✓
	PB NO EV2-Z1	Entrada TC EV2-Z1 ON	✓
	PB NO EV3-Z1	Entrada TC EV3-Z1 ON	✓
	PB NO EV4-Z1	Entrada TC EV4-Z1 ON	✓
	PB NO EV5-Z1	Entrada TC EV5-Z1 ON	✓
	PB NO EV6-Z1	Entrada TC EV6-Z1 ON	✓
	PC NC Z1	Entrada TC Z1 OFF	✓
	PC NC EV1-Z1	Entrada TC EV1-Z1 OFF	✓
	PC NC EV2-Z1	Entrada TC EV2-Z1 OFF	✓
	PC NC EV3-Z1	Entrada TC EV3-Z1 OFF	✓
	PC NC EV4-Z1	Entrada TC EV4-Z1 OFF	✓
	PC NC EV5-Z1	Entrada TC EV5-Z1 OFF	✓
	PC NC EV6-Z1	Entrada TC EV6-Z1 OFF	✓

Nota:

PB: Push Button

NC: Normalmente Cerrado

NO: Normalmente Abierto

TCI: Tablero de Control Inteligente

EV: Electroválvula

Anexo I: Resultado de la prueba de continuidad – medición desde los push button hacia las entradas de la tarjeta de control Zona 2.

**PRUEBA DE CONTINUIDAD
TABLERO DE CONTROL INTELIGENTE**

Lugar	MACHALA -EL ORO - ECUADOR	
Fecha	26/12/2018	
Realizada por	Jorge Berrú Patricia Morocho	
Supervisada	PhD. Dixys Hernández	

SE HIZO LA PRUEBA CON EL EQUIPO:

Marca	Fluke	TABLERO DE CONTROL INTELIGENTE	
Modelo	117	Número de serie	12244

El presente documento certifica los resultados de las pruebas efectuadas en el TCI, que se encuentra ubicado en la hacienda "Santa Inés" de la UTMACH, a continuación se especifica continuidad en Zona 2 (Z2):

Descripción	Continuidad		Continuidad
	Punto A	Punto B	
Conexión de los Push Button a entradas de la tarjeta de control	PB NO Z2	Entrada TC Z2 ON	✓
	PB NO EV1-Z2	Entrada TC EV1-Z2 ON	✓
	PB NO EV2-Z2	Entrada TC EV2-Z2 ON	✓
	PB NO EV3-Z2	Entrada TC EV3-Z2 ON	✓
	PB NO EV4-Z2	Entrada TC EV4-Z2 ON	✓
	PC NC Z2	Entrada TC Z2 OFF	✓
	PC NC EV1-Z2	Entrada TC EV1-Z2 ON	✓
	PC NC EV2-Z2	Entrada TC EV2-Z2 ON	✓
	PC NC EV3-Z2	Entrada TC EV3-Z2 ON	✓
	PC NC EV4-Z2	Entrada TC EV4-Z2 ON	✓

Nota:

PB: Push Button

NC: Normalmente Cerrado

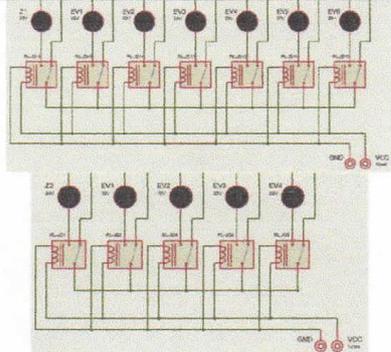
NO: Normalmente Abierto

TCI: Tablero de Control Inteligente

EV: Electroválvula

Anexo J: Resultado de la prueba de continuidad – medición desde las luces piloto hacia los relays

**PRUEBA DE CONTINUIDAD
TABLERO DE CONTROL INTELIGENTE**

Lugar	MACHALA -EL ORO - ECUADOR	
Fecha	26/12/2018	
Realizada por	Jorge Berrú Patricia Morocho	
Supervisada	PhD. Dixys Hernández	

SE HIZO LA PRUEBA CON EL EQUIPO:

Marca	Fluke	TABLERO DE CONTROL INTELIGENTE	
Modelo	117	Número de serie	12244

El presente documento certifica los resultados de las pruebas efectuadas en el TCI, que se encuentra ubicado en la hacienda "Santa Inés" de la UTMACH, a continuación:

Descripción	Continuidad		Continuidad
	Punto A	Punto B	
Conexión de las Luces Piloto hacia los Relays	RelayNO-JD16	Z1	✓
	RelayNO-JD15	EV1-Z1	✓
	RelayNO-JD14	EV2-Z1	✓
	RelayNO-JD13	EV3-Z1	✓
	RelayNO-JD12	EV4-Z1	✓
	RelayNO-JD11	EV5-Z1	✓
	RelayNO-JD10	EV6-Z1	✓
	RelayNO-JD1	Z2	✓
	RelayNO-JD2	EV1-Z2	✓
	RelayNO-JD4	EV2-Z2	✓
	RelayNO-JD6	EV3-Z2	✓
	RelayNO-JD9	EV4-Z2	✓

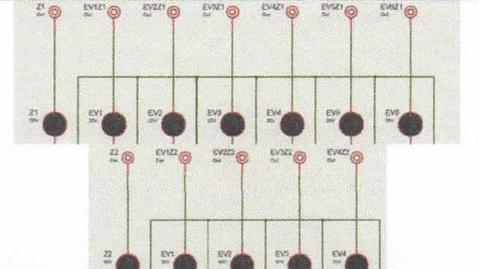
Nota:

EV: Electroválvula

NO: Normalmente Abierto

Anexo K: Resultado de la prueba de continuidad – medición desde los relays hacia las borneras.

**PRUEBA DE CONTINUIDAD
TABLERO DE CONTROL INTELIGENTE**

Lugar	MACHALA -EL ORO - ECUADOR	
Fecha	26/12/2018	
Realizada por	Jorge Berrú Patricia Morocho	
Supervisada	PhD. Dixys Hernández	

SE HIZO LA PRUEBA CON EL EQUIPO:

Marca	Fluke	TABLERO DE CONTROL INTELIGENTE	
Modelo	117	Número de serie	12244

El presente documento certifica los resultados de las pruebas efectuadas en el TCI, que se encuentra ubicado en la hacienda "Santa Inés" de la UTMACH, a continuación:

Descripción	Continuidad		Continuidad
	Punto A	Punto B	
Conexión de los Relays hacia las Borneras de electroválvulas	RelayNO-JD16	B-Z1	✓
	RelayNO-JD15	B-EV1-Z1	✓
	RelayNO-JD14	B-EV2-Z1	✓
	RelayNO-JD13	B-EV3-Z1	✓
	RelayNO-JD12	B-EV4-Z1	✓
	RelayNO-JD11	B-EV5-Z1	✓
	RelayNO-JD10	B-EV6-Z1	✓
	RelayNO-JD1	B-Z2	✓
	RelayNO-JD2	B-EV1-Z2	✓
	RelayNO-JD4	B-EV2-Z2	✓
	RelayNO-JD6	B-EV3-Z2	✓
	RelayNO-JD9	B-EV4-Z2	✓

Nota:

B: Bornera

EV: Electroválvula

NO: Normalmente Abierto

Anexo L: Logs almacenados en la base de datos para la realización de la prueba de arranque

TimeStamp	Tiempo	Descripción
00:23:20.614000	2,031088	Conexión MQTT
00:23:36.008000	2,031652	Conexión MQTT
00:23:42.011000	2,032704	Conexión MQTT
00:23:50.973000	2,030708	Conexión MQTT
00:24:03.317000	2,030708	Conexión MQTT
00:24:27.995000	2,030792	Conexión MQTT
00:24:34.444000	2,033040	Conexión MQTT
00:24:41.545000	2,031864	Conexión MQTT
00:24:47.768000	2,030668	Conexión MQTT
00:26:01.488000	2,030708	Conexión MQTT
00:26:10.732000	2,031132	Conexión MQTT
00:26:21.201000	2,232116	Conexión MQTT
00:26:28.554000	2,030752	Conexión MQTT
00:26:33.936000	2,031652	Conexión MQTT
00:27:43.288000	2,031844	Conexión MQTT
00:28:07.661000	3,646524	Conexión MQTT
00:28:15.950000	2,030836	Conexión MQTT
00:28:47.571000	2,030708	Conexión MQTT
00:28:58.575000	2,030668	Conexión MQTT
00:29:10.299000	3,646564	Conexión MQTT
00:29:44.437000	3,041152	Conexión MQTT
00:30:12.977000	2,030792	Conexión MQTT
00:30:20.713000	2,031844	Conexión MQTT
00:30:30.005000	2,030792	Conexión MQTT
00:30:36.245000	2,030752	Conexión MQTT
00:30:42.356000	2,030708	Conexión MQTT
00:30:48.431000	2,030668	Conexión MQTT
00:31:01.117000	2,839696	Conexión MQTT
00:31:07.015000	2,030752	Conexión MQTT
00:31:12.850000	2,030628	Conexión MQTT
00:31:18.049000	2,030836	Conexión MQTT
00:31:25.109000	3,040276	Conexión MQTT
00:31:30.777000	2,030708	Conexión MQTT
00:31:36.738000	2,030752	Conexión MQTT
00:31:43.064000	2,030752	Conexión MQTT
00:31:49.122000	2,030792	Conexión MQTT
00:31:54.732000	2,031004	Conexión MQTT
00:32:00.258000	2,030668	Conexión MQTT
00:32:06.169000	2,030836	Conexión MQTT

00:32:11.736000	2,030792	Conexión MQTT
00:32:18.329000	2,030752	Conexión MQTT
00:32:23.899000	2,030668	Conexión MQTT
00:32:29.468000	2,030836	Conexión MQTT
00:32:44.610000	2,030628	Conexión MQTT
00:32:53.114000	2,031044	Conexión MQTT
00:33:02.397000	2,030708	Conexión MQTT
00:33:12.052000	2,030876	Conexión MQTT
00:33:21.685000	2,030668	Conexión MQTT
00:33:29.658000	2,030708	Conexión MQTT
00:33:38.299000	5,028540	Conexión MQTT
00:33:43.964000	2,030752	Conexión MQTT
00:33:49.276000	2,030792	Conexión MQTT
00:33:55.093000	2,030836	Conexión MQTT
00:34:00.836000	2,030752	Conexión MQTT
00:34:14.443000	2,030752	Conexión MQTT
00:34:20.818000	2,030752	Conexión MQTT
00:34:25.903000	2,030668	Conexión MQTT
00:34:31.515000	2,331904	Conexión MQTT
00:34:36.940000	2,030668	Conexión MQTT
00:34:42.753000	2,030876	Conexión MQTT
00:34:57.074000	2,030836	Conexión MQTT
00:35:02.472000	2,030708	Conexión MQTT
00:35:07.914000	2,030668	Conexión MQTT
00:35:13.953000	2,030752	Conexión MQTT
00:35:19.478000	2,030792	Conexión MQTT
00:35:25.231000	2,030708	Conexión MQTT
00:35:32.124000	2,030708	Conexión MQTT
00:36:28.176000	2,030628	Conexión MQTT
00:36:38.098000	2,035328	Conexión MQTT
00:36:44.187000	2,031044	Conexión MQTT
00:36:50.603000	2,943688	Conexión MQTT
00:36:55.774000	2,030752	Conexión MQTT
00:37:01.535000	2,031560	Conexión MQTT
00:37:07.677000	2,030752	Conexión MQTT
00:37:14.642000	2,031044	Conexión MQTT
00:37:20.544000	2,331096	Conexión MQTT
00:37:41.637000	2,030836	Conexión MQTT
00:37:49.842000	2,030668	Conexión MQTT
00:37:56.633000	2,030836	Conexión MQTT
00:38:02.216000	2,030920	Conexión MQTT
00:38:07.745000	2,031804	Conexión MQTT
00:38:14.658000	2,031928	Conexión MQTT

00:38:20.714000	2,032612	Conexión MQTT
00:38:26.470000	2,033924	Conexión MQTT
00:38:32.003000	2,031888	Conexión MQTT
00:38:37.471000	2,032012	Conexión MQTT
00:38:43.150000	2,030668	Conexión MQTT
00:38:49.241000	2,030668	Conexión MQTT
00:38:58.017000	3,445352	Conexión MQTT
00:39:03.655000	2,030708	Conexión MQTT
00:39:09.960000	2,030708	Conexión MQTT
00:39:15.202000	2,030668	Conexión MQTT
00:39:21.944000	2,030708	Conexión MQTT
00:39:30.165000	2,030708	Conexión MQTT
00:39:38.437000	2,030668	Conexión MQTT
00:39:46.104000	2,030668	Conexión MQTT
00:39:53.818000	2,031436	Conexión MQTT
00:39:59.670000	2,030836	Conexión MQTT
00:40:05.612000	2,030708	Conexión MQTT
00:40:11.161000	2,030668	Conexión MQTT
00:40:17.406000	2,031044	Conexión MQTT
00:40:24.125000	2,031388	Conexión MQTT
00:40:30.113000	2,030752	Conexión MQTT
00:41:01.885000	2,030248	Conexión MQTT
00:43:02.015000	3,446360	Conexión MQTT
00:43:07.249000	2,031224	Conexión MQTT
00:43:12.452000	2,032056	Conexión MQTT
00:43:17.971000	2,030836	Conexión MQTT
00:43:27.863000	2,030752	Conexión MQTT
00:43:34.773000	2,030752	Conexión MQTT

Anexo M: Evidencias fotográficas de la implementación del prototipo TCI



Descripción: Programación en Arduino del TCI



Descripción: Verificación de los bush button y de las luces pilotos instaladas en el TCI.

Anexo M: Evidencias fotográficas del TCI



Descripción: Ing. Johnny Novillo realizando las pruebas de físicas del TCI según Anexo A y B.



Descripción: Ing. Dixys Hernández realizando las pruebas físicas al TCI según plantillas de Anexo A y B.



Descripción: Realización de la prueba de continuidad desde el contactor hacia los interruptores de on/off del TCI



Descripción: Realización de la prueba de aislamiento, usando un multímetro Fluke 117, verificando la resistencia existente en el TCI.



Descripción: Instalación del TCI en la hacienda “Santa Inés” en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UTMACH.