

**Desarrollo de sistema SCADA para control LOTOTO (Lock Out, Tag Out, Try Out) automatizado en la
protección de energías peligrosas**

Sergio David Acosta Ortiz

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería Ingeniería Electrónica

Ingeniería Electrónica

2022

**Desarrollo de sistema SCADA para control LOTOTO (Lock Out, Tag Out, Try Out) automatizado en la
protección de energías peligrosas**

Sergio David Acosta Ortiz

Director:

Ing. Jairo Luis Gutiérrez Torres

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería Ingeniería Electrónica

Ingeniería electrónica

2022

Nota de aceptación

Firma jurado No. 1

Firma jurado No. 2

Declaración de derechos de propiedad intelectual

Los autores de la presente propuesta manifestamos que conocemos el contenido del Acuerdo 06 de 2008, estatuto de propiedad intelectual de la UNAD. Artículo 39 referente a la cesión voluntaria y libre de los derechos de propiedad intelectual de los productos generados a partir de la presente propuesta.

Del mismo modo, conocemos el contenido del artículo 40 del mismo acuerdo, relacionado con la autorización de uso del trabajo para fines de consulta y mención en los catálogos bibliográficos de la

UNAD.

Dedicatoria

Este proyecto aplicado va dedico a mi familia, quienes me han enseñado que todo es posible siempre y cuando se hacen las cosas con disciplina y dedicación, por otra parte, pensando en ayudar a los demás y beneficiarlos de lo que se haga. Es por ello que también dedico este trabajo a las personas en condición de riesgo haciendo de buena fe su labor, sabiendo que un futuro este tipo de proyectos aportarán de manera significativa a la protección industrial.

Agradecimientos

Expreso mis agradecimientos a:

Primeramente, a Dios por darme la sabiduría y las energías para hacer las cosas; del mismo modo, a mi madre Amalia, mi padre Felix, por el apoyo incondicional, siendo mis asesores, consejeros y especialmente la motivación que me ha permitido tomar buenas decisiones en la vida. A mi hermana: Erika por el apoyo y compañía que me ha brindado en los momentos complejos de la Universidad, al Ingeniero Jairo quien estuvo atento y me asesoró en la elaboración del proyecto aplicado, al Jefe laboral Hernando Bernal por su orientación, asesoría y acompañamiento en la experiencia transmitida quien en su momento me guió y me enseñó la importancia y ver las cosas difíciles de manera positiva y por último un agradecimiento a la UNAD junto con sus tutores por las herramientas y conocimientos que me brindaron a lo largo de la carrera universitaria, infinitamente agradecido.

Resumen

En el presente proyecto aplicado se presentará un sistema enfocado a la seguridad y a la automatización "LOTOTO", brindando monitoreo en tiempo real para sus diferentes dispositivos característicos de este sistema de seguridad, lo cual brinda el control por medio del protocolo "SCADA". Favoreciendo la seguridad, las buenas prácticas y el respaldo que por medio de la tecnología se puede llegar a tener. Para este proyecto se implementó principalmente protocolo de comunicación IoT, sensores, actuadores, periférico ARDUINO y diferentes etapas que cuentan con la sostenibilidad de energía regulada para protección de los diferentes componentes, creando una dinámica de procesos para la supervisión de seguridad industrial en sus diferentes energías peligrosas que se presentan en el entorno natural presentándose en la vida cotidiana y laboral.

Abstract

This applied project will present a system focused on security and automation "LOTOTO", providing real-time monitoring for different devices characteristic of this security system, which provides control through the "SCADA" protocol. This favors security, good practices and the support that can be achieved through technology.

For this project was implemented mainly IoT communication protocol, sensors, actuators, ARDUINO peripheral and different stages that have the sustainability of regulated energy for protection of the different components, creating a dynamic process for the supervision of industrial safety in its different hazardous energies that occur in the natural environment presented in everyday life and work.

Contenido

Tabla de ilustraciones	13
Tabla estadística.....	16
Tabla de grafica.....	17
Introducción.....	18
Objetivos	19
Objetivo general	19
Objetivos específicos.....	19
Definición del problema.....	20
Justificación	22
Marco Referencial	24
Bloqueo/Etiquetado.....	27
Metodología.....	28
Fase 1: planificación y documentación.....	29
Fase 2: simulación de sistema SCADA para control de mecanismos LOTOTO.....	31

Fase 3: identificación de características y clasificación de las áreas a controlar.	31
Fase 4: diseño del desarrollo SCADA.....	32
Diseño	33
Descripción componentes	33
Componentes y características	33
Power Bank.....	33
Hub Usb 2.0 4 Posiciones.....	34
Esquema Arduino UNO.....	34
ESP-01 e Interfaz 5.0 a 3.3 VCC.....	35
RELE dual para Arduino.....	36
Diodo emisor de luz Led.....	36
Diodo rectificador.....	37
Resistencia.....	37
DB9 – Serial RS232.....	38
DIP switch.....	38

Pulsador	39
Sensor de temperatura y humedad	39
Red switch	40
Cámara mini wifi	40
Diseño del Circuito.....	42
Circuito LOTOTO en Proteus.....	42
Sistema LOTOTO físico.....	42
Sistema LOTOTO.....	43
Etapas de Sistema.....	43
Etapa de alimentación física.....	43
Etapa de Procesamiento y Comunicación.....	44
Etapa de Control	45
Etapa de Supervisión	47
Diagrama de bloques – Arduino Blocks	48
Plataforma MQTT.....	49

Plataforma MQTT.....	49
Pruebas de Sistema.....	50
Comportamiento físico del Sistema.....	50
Plataforma Admin MQTT sistema LOTOTO.....	50
Activación Sistema Etiquetado – Admin MQTT.....	51
Activación Sistema Etiquetado – bloqueo dispositivo.....	51
Se procede con la activación del dispositivo LOTOTO, evidenciándose en el led y en la plataforma MQTT	52
Activación Sistema Etiquetado – bloqueo candado.....	52
Activación Sistema Etiquetado – bloqueo candado – Admin MQTT.....	52
Sistema de control físico.....	53
Análisis de resultados.....	54
Conclusiones.....	59
Referencias bibliográficas.....	60

Tabla de ilustraciones

Bloqueo/Etiquetado.....	27
Power Bank.....	33
Hub Usb 2.0 4 Posiciones.....	34
Esquema Arduino UNO	34
ESP-01 e Interfaz 5.0 a 3.3 VCC	35
RELE dual para Arduino	36
Diodo emisor de luz Led	36
Diodo rectificador	37
Resistencia	37
DB9 – Serial RS232.....	38
DIP switch	38
Pulsador	39
Sensor de temperatura y humedad	39
Red switch	40

Cámara mini wifi	40
Circuito LOTOTO en Proteus	42
Sistema LOTOTO físico	42
Etapa de alimentación física	43
Etapa de Procesamiento y Comunicación	44
Etapa de Control	45
Etapa de Supervisión	47
Diagrama de bloques –Arduino Blocks	48
Plataforma MQTT	49
Ilustración 25.	50
Plataforma Admin MQTT sistema LOTOTO.....	50
Activación Sistema Etiquetado –Admin MQTT.	51
Activación Sistema Etiquetado –bloqueo dispositivo	51
Activación Sistema Etiquetado –bloqueo candado.	52
Activación Sistema Etiquetado –bloqueo candado –Admin MQTT	52

Sistema de control físico53

Tabla estadística

<i>Tiempo de respuesta sistema</i>	54
--	----

Tabla de grafica

<i>Gráfico de líneas - tiempo de respuesta en sistema.....</i>	<i>55</i>
--	-----------

Introducción

De acuerdo a la necesidad de contar con un procedimiento adecuado, seguro, controlado en el área de la industria, monitoreando energías catalogadas como peligrosas potencial o almacenada como electricidad, gravedad, mecánica, inflamable, química, térmica, hidráulica, neumática, creando un desarrollo que permita supervisar un procedimiento seguro. Este proyecto aplicado tiene como objetivo general, desarrollar un modelo de tipo software para control SCADA (Supervisión, control y Adquisición de datos). Para seguridad LOTOTO (Lock Out, Tag Out, Try Out) en energías peligrosas, para lograr lo anterior, se propone metodológicamente hablando un diseño de investigación no experimental, con enfoque mixto.

En este orden de ideas, por los accidentes que se han presentado y están latentes diariamente en la industria y que, por su operación inexperta, trabajo rutinario o de confianza acarreen accidentes fatales, la implementación de ciencia e ingeniería, teniendo en cuenta que ya se manejan diferentes infraestructuras, mecanismos y no se ha llevado a cabo un sistema con nivel tecnológico de control en la intervención del mantenimiento.

El sistema “Supervisory control and data Acquisition” (Supervisión, control y Adquisición de datos) más conocido como SCADA, bajo el concepto que se utiliza para su control, que en este caso por medio del programa Arduino y MQTT, se manejará toda la operatividad del desarrollo virtual no experimental, junto con la conexión de los equipos que generan funcionamiento de LOTOTO (Lock Out, Tag Out, Try Out), asimismo, se busca contribuir con una pequeña parte a futuros estudios y desarrollos de prototipos que permitan facilitar el bienestar y la seguridad necesaria con el apoyo de la tecnología y se siga profundizando en las necesidades de la operación, generando la importancia de implementación de la seguridad con la ingeniería electrónica.

Objetivos

Objetivo general

Desarrollar un modelo de tipo software para control SCADA (Supervisión, control y Adquisición de datos), para seguridad LOTOTO (Lock Out, Tag Out, Try Out) en energías peligrosas.

Objetivos específicos

Planificar y documentar el procedimiento de cómo desarrollar el sistema SCADA y que su orientación sea a la seguridad industrial LOTOTO.

Simular procesos del sistema SCADA por medio de software como PROTEUS sin la necesidad de experimentar algún accidente.

Conocer los colores y especificaciones según energías de peligro para su diseño.

Presentar el diseño de sistema SCADA para LOTOTO, el procesamiento y control de señales sistematizadas.

Implementar de manera virtual y verificar su validación.

Definición del problema

Este proyecto va orientado a la disminución del riesgo e implementación de nuevos sistemas en las diferentes áreas, que requieren utilizar algunas de las energías catalogadas como peligrosas, de acuerdo con un sin número de sistemas que operan a la necesidad de la actividad y en función en las diferentes etapas de control y seguridad. En los bloqueos seguros se adiciona un candado, llave o mecanismo manual con el fin de asegurar la intervención inadecuada, en los mantenimientos del sistema, es necesario tener en cuenta también los posibles residuos que hayan quedado almacenados en el sistema, como energías electromagnéticas AC y DC, gas, aire en tubería, tanques, motores, entre otros. Con este procedimiento se busca constatar que utilizando los dispositivos de LOTOTO, se puede llegar a una posición cero (0) o nula en el sistema, con el fin de minimizar al máximo la ocurrencia de accidentes o eventos dentro de las instalaciones.

“De acuerdo con la necesidad presentada por diferentes escenarios de la industria, en la que se han visto afectados por los incumplimientos en los procedimientos y procesos de control de infraestructura y seguridad” (W. Olarte, M Botero, B Cañón (2010). Se desea desarrollar la simulación de un mecanismo que genere alertas tempranas, mediante un apoyo tecnológico, en la implementación de un sistema SCADA.

Inicialmente el software se implementa en la plataforma Proteus, donde se realizarón validaciones de prueba y error, configuración de comunicación con el programa, una vez se cuente con una conexión en tx y rx de datos en estas dos plataformas, se procede con la configuración de Arduino y velocidad de puertos, en este caso es de 9600 baudios y COM Serial por USB periférico 2.0 (color azul) de conexión automática, para una comunicación estable, compatibilidad de hardware con placa Arduino en este caso modelo UNO.

¿Por qué en la industria no se ha realizado el proceso de automatización del sistema LOTOTO?.

A razón de la existencia de diversos riesgos donde cabe resaltar que los sistemas ya se encuentran programados pero con tecnología media, y que para este caso, solo se encuentra un diseño manual, lo que ocasionaría por confianza o rutina en las actividades la ocurrencia de incidentes o accidentes, por esta razón se presentará un desarrollo automatizado con el apoyo del proceso y control electrónico para una práctica segura en energías peligrosas, beneficiando así al trabajador asignado en la operación del Sistema, y al mantenimiento correctivo del mismo en caso de presentar alguna anomalía.

Justificación

De acuerdo a las cifras generadas en FASECOLDA (Federación de Aseguradores de Colombia), con respecto al sector económico perteneciente a la clase de riesgo V (tarifa 6.960 %). Se pueden evidenciar que son unas de las mayores problemáticas teniendo en cuenta la exposición de cada uno de los funcionarios y que a través del tiempo se busca realizar los trabajos de manera más segura, minimizando el riesgo para cada uno de ellos, y generando a su vez la creación de equipos y mecanismos que ayuden a un control eficaz y temprano para cada una de las actividades, por esta razón, es importante revisar la accidentalidad y mortalidad ocasionada durante un periodo y poder evidenciar el incremento que se ha tenido, partiendo del año 2000 con la generación de 18.690 y para el 2011 un total de 109.726 accidentes, generando un aumento sustancial, de la misma forma se encuentra un aumento en la mortalidad iniciando para el año 2000 con 94 y para el 2011 con 105 muertes; cabe aclarar que estas estadísticas no solo corresponden al manejo de energías peligrosas, sino que también se encuentran todas las actividades pertenecientes a tareas de alto riesgo. Actualmente no se cuenta con información detallada cuantitativa, que nos indique valores exactos centralizados con relación a estos accidentes, sin embargo, se está teniendo en cuenta, documentando y registrando todo este tipo de accidentes.

De acuerdo a lo anterior en Colombia se han establecido, así como en el mundo, la normatividad o el marco legal para la generación de controles, tales como la resolución 2050 del 2020, resolución 5018 de 2009, resolución 41291 de 2018, resolución 40908 de 2018, para el diligenciamiento de la matriz, listas de chequeo y capacitaciones normativas de precaución, junto con la actualización de la NTC 2050 de 2020, Inicialmente en el Art. No. 9 del Retie, “en sus defectos fisiopatológicos, en el cuerpo donde el corazón pierde su ritmo cardiaco, donde puede ser leve o llegar a generar la muerte, donde la IEEE “Institución de Eléctricos y Electrónicos” en un rango de 60 a 100 miliamperios (< 1 Amperio hora),

ocasiona paro cardiaco, paro respiratorio, desconfigura el marcapaso natural del corazón y fibrilación ventricular y en el decreto 2060/2008 de 12 de diciembre, avalando equipos de presión, donde cuenta los estándares mínimos para la operación, mantenimiento, reparación, con medida superior 0.5 bares.

Marco Referencial

Según la revista virtual de la marca IFAM especializada y dedicada a todo lo relacionado en SAFETY en su blog (7 de febrero de 2017), seguridad industrial: ¿Qué es el bloqueo y etiquetado (tagout-lockout o LOTO) ?, “el origen de los procedimientos de LOTO, se hallan en EE UU, donde la administración para la salud y la seguridad laboral estadounidense (OSHA), expone en el año 1989, las normas de bloqueo y etiquetado”. (BRADY. (2014)).

Las tres reglas de oro en el procedimiento adecuado en la desconexión de las distintas fuentes de energías de los equipos que se operen en la industria, mientras se llevan a cabo las actividades de mantenimiento, reparación, intervención, donde protegerá al operario como prioridad, son:

Bloqueo: Asegurar que el elemento quede desenergizado, cortando el paso de energía peligrosa.

Consignación: El mecanismo físico que da aseguramiento a la no puesta en marcha de la energía, donde solo podrá ser retirado por la persona encargada y responsable de la intervención.

Señalización: Etiquetar con tarjeta física la persona o encargado de bloquear con el mecanismo LOTO, tener en cuenta que debe ser el que realice la intervención física, no el supervisor o encargado.

Las energías peligrosas pueden clasificarse en ocho tipos:

Eléctrica: Forma de energía, que es generado por la materia de cargas eléctricas positivas y negativas bajo la ley de Ohm voltaje, amperaje, resistencia y que es transportado por conductos eléctricos.

Gravedad: Algún objeto que, por su fuerza de gravedad,

$$densidad = \frac{masa}{volumen}$$

bajo condiciones físicas y ecuación $V = gt$, donde V es la velocidad de caída en metros por segundo, g es la m aceleración gravitatoria $9,8 \text{ s}^{-2}$ y t es el tiempo en caída en segundos.

Mecánica: “Por medio de un cuerpo o un conjunto físico, que matemáticamente se presenta en la sumatoria de su energía cinética y potencial” (G. White (2010)). $E_m = \frac{1}{2} m v^2 + 2m x v$, conociendo *segunda ley de Newton* $F = m x a$ donde F es la fuerza total, m es la masa y a es la aceleración.

Inflamable: Es el conjunto de bajo condiciones de presión, temperatura, mezcla de gases donde genera en su punto de destello, el hidrógeno arde a temperatura ambiente simplemente por contacto con el oxígeno del aire.

Química: De acuerdo a su composición de los elementos que conforma un compuesto, gráficamente expresado en el número, tipo de enlaces por la cual se unen y que estos datos se suministran bajo la tabla periódica, divididos en los siguientes grupos: metales alcalinos, alcalinotérreos, de transición, pos transicional. Gases nobles, lantánidos, actínidos, metaloides, no metales, halógenos.

Térmico: Vinculado a el calor en donde se gana o se pierde y bajo esta variación de genera la formula $Q = m x C_e x \Delta t$, donde Q es la cantidad de calor, m es la masa, C_e es el calor del cuerpo en condiciones normales y t es la variación de temperatura.

Hidráulica: Es una parte de la física de los líquidos y fuerzas en la cual son sometidos bien ya sea agua o aceite y que es utilizado en diversidad de funciones, bajo su fórmula P donde $P = \frac{F}{A}$ es la fuerza y A es el área.

Sistemas:

Dispositivos LOTO:

como lo son NFPA 70E, Seguridad eléctrica en lugares de trabajo, 29 CFR 1910.147 de OSHA en control de energía, cuando se debe intervenir en el mantenimiento de un equipo.

Hay variedad de dispositivos de acuerdo a su necesidad, energía a la cual se desea asegurar, clase de llave de asiento, macho o de bola, compuerta, mariposa, temporizadas, breaker o algunos dispositivos LOTO que implementan guaya con el fin de bloquear el movimiento o impedir cambio en el bloqueado

Candados: Ofreciendo medida de seguridad más alta que un candado normal, que, realizando un proceso adecuado, impide que alguna persona, energice, generando peligro potencial o accidente a la persona que se encuentra realizando la actividad al equipo o sistema.

Se manejan diferentes colores para cada candado que son los siguientes:

Rojo: Electricista

Verde: Mecánicos

Azul: Bloqueo por operador

Amarillo: Reparación o fuera de uso.

Negro: razones de seguridad

Pinzas múltiples: Es un mecanismo, que ofrece adicionar más de un candado, la cual protege a diferentes actividades y operarios que se encuentran trabajando directamente con el sistema, para así, activar el sistema y que ninguno lo esté interviniendo.

Metodología

Este proyecto metodológicamente hablando tiene un diseño investigativo con implementación no experimental aplicado con un enfoque mixto.

Investigación no experimental aplicada:

(Roberto Hernández Sampieri, 2003), explica que son “estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que solo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos”; asimismo, en este tipo de investigaciones no se genera ninguna situación, sino que se observan situaciones ya existentes. Las variables independientes ocurren y no es posible manipularlas, ya que no se tiene control directo sobre dichas variables ni se puede influir sobre ellas, porque ya sucedieron, al igual que sus efectos.

Enfoque mixto:

(Medina, 2011) menciona en su trabajo la explicación de este tipo de enfoque, quien también extrae la definición dada por (Roberto Hernández Sampieri, 2003), indicando que, “es un proceso que recolecta, analiza y vincula datos cuantitativos y cualitativos en una misma investigación o una serie de investigaciones para responder a un planteamiento, y justifica la utilización de este enfoque en su estudio considerando que ambos métodos (cuantitativo y cualitativo) se entremezclan en la mayoría de sus etapas, por lo que es conveniente combinarlos para obtener información que permita la triangulación como forma de encontrar diferentes caminos y obtener una comprensión e interpretación, lo más amplia posible, del fenómeno en estudio”.

Para el desarrollo del proyecto se ha planificado la ejecución de 4 fases enmarcadas con los objetivos planteados en el documento, quedando de la siguiente manera:

Fase 1: planificación y documentación

Aplicar la propuesta de este proyecto realizando la documentación necesaria, apoyándose con los antecedentes y estudios realizados, en la que se tendrán en cuenta algunos temas:

Conceptos, funcionamiento de mecanismos LOTOTO.

Es un sistema creado bajo la necesidad de bloquear (LOCKOUT), etiquetar (TAGOUT) pero también testear no solamente bajo condición presencial sino también remota, para ello es importante cumplir a cabalidad los conceptos principales de este sistema, implementado este sistema electrónico al sistema de seguridad para las diferentes energías peligrosas.

En su funcionamiento, se activara sincrónicamente y en tiempo real estos dispositivos LOTOTO, de manera automatizada en la que encuentra actuadores para los dispositivos de aseguramiento directo, con los diferentes apliques que controlan las diferentes energías peligrosas, los candados teniendo en cuenta el color para bloqueo de tal energía que se desee asegurar, el etiquetado que tendrá una condición en su sistema electrónico para que sea de gran importancia y con el fin de implementarlo siempre en el sistema, adicionalmente se contará con un sensor que gráficamente mostrara la variación en real time, de acuerdo a la necesidad e intervención de energía peligrosa como por ejemplo, la existencia de algún gas que tenga presencia en el área y se pueda generar la activación de alguna energía peligrosa como por ejemplo, la neumática, también tendrá la implementación de cámara de seguridad para observar de manera remota, apoyando los protocolos de seguridad, utilizar los EPP (elementos de protección personal), para una debida intervención y registro de toda la actividad, esto con el fin de brindar un sistema lo más completo posible y evitar accidentes tanto para el que interviene como para los equipos, infraestructura, área o planta.

Tipos existentes de mecanismos LOTOTO.

Actualmente estos dispositivos LOTO, no cuentan con un sistema electrónico, por ende, se debe hacer siempre una activación y control personalmente, la cual con este sistema se cumple la última sigla del Sistema LOTOTO” que es (TRYUOT), significando un testeo o supervisión del sistema de seguridad.

Procesamiento analógico y digital para la implementación de sistema SCADA en sistema LOTOTO de energías peligrosas.

“De acuerdo a la implementación del sistema electrónico, en su procesamiento de datos es utilizado diferentes mecanismos analógicos y digitales para su respectivo procesamiento” (Santos, M. Piedra (1990). Algunos sensores, su modulación es analógica en su forma de adquisición de datos, como, por ejemplo, sensores de temperatura, humedad, gas, RED swich, donde se debe hacer una conversión A/D bajo el procesamiento digital de cero (0) a 1023 bits. Por otra parte, se encuentran actuadores como lo son pulsadores, relés, cámaras digital, DIP swich, ESP-01 donde es claro su procesamiento a nivel binomial o digital.

Investigación de sistema SCADA para enfoque a su necesidad del sistema tecnológico.

En el Sistema fue implementado el termino SCADA para cumplir la supervisión, control y adquisición de datos y que por medio de IoT (Internet of Things), fue posible la interacción del sistema y control del mismo a nivel remoto.

Entre otros insumos de investigación que se alinean a la propuesta Se crea un sistema netamente portátil, implementando una etapa de power supply, tipo power Bank, para el almacenamiento de corriente y siempre suministrando de energía VCC (voltaje corriente continuo), para que sea aún más robusta y sin necesidad de una conexión física en el área que se desee intervenir.

Se debe contar con una conexión WIFI, previamente configurada en su tarjeta ESP-01, cámara WAN y dispositivo móvil o que cuente con la aplicación MQTT.

Fase 2: simulación de sistema SCADA para control de mecanismos LOTOTO.

Encontrar la manera de simular el sistema para un control total por medio de la comunicación electrónica con sus respectivos actuadores magnéticos.

En el Sistema se implementan dos tarjetas principales y protocolo de red que se encuentran en la etapa de procesamiento a nivel de software y hardware, donde se manipula, interpreta y transforma las señales para el conjunto de periféricos del Sistema.

El primero es una tarjeta ARDUINO UNO, con un microcontrolador tipo ATMEGA328P. Creado por ATMEL, es un circuito integrado de alto rendimiento por su procesamiento por su característica de leer mientras escribe, cerebro del sistema encargado del almacenamiento del pseudocódigo, adquisición de datos de los diferentes sensores y actuadores implementados en el sistema, físicamente con 28 pines, hardware con flash de 32 kbytes, frecuencia máximo de 20 MHz, concluyendo bajo estas indicaciones, encontrando la primera manera de acoplar el sistema electrónico al software ubicado en las capas de red físico y enlace de datos.

El Segundo es un módulo ESP-01, transceptor WIFI (fidelidad inalámbrica), bajo el chip integrado ESP8266, compatible con TCP/IP, bajo capa de red y transporte, para uso principal de conectividad WIFI y TX-RX de datos. Haciendo una conectividad con el ARDUINO UNO y la plataforma MQTT.

El tercer es MQTT (protocolo de red ligero de publicación- suscripción), la cual interviene la capa onivel OSI (modelo de interconexión de sistemas abiertos) de aplicación, presentación y sesión y, es una plataforma se es utilizada especialmente para IoT.

Fase 3: identificación de características y clasificación de las áreas a controlar.

Con las convenciones según el riesgo a controlar y dispositivos a utilizar, seguir la misma línea según la norma, para así, tener la mejor claridad en el momento de operar el sistema SCADA. Bajo esta premisa siguiéndonos de las normas de seguridad para LOTOTO, Consejo Nacional de Seguridad (NSC o

National Safety Council). Se fundó en 1913 por contribuyentes industriales y representantes gubernamentales. Formalizó por el Congreso en 1953 de EEUU, la ANSI (American National Standards Institute) origen al *Estándar de Bloqueo* de la Administración de Seguridad y salud ocupacional (OSHA). Publicó por primera vez en 1990 y MARCO LEGAL de México la norma:PROY-NOM-004-STPS-2020 condiciones de seguridad de maquinaria y equipo y la norma de seguridad nacional, resolución 0312 del 2019, la cual establece los estándares del SG-SST (sistema de gestión de la seguridad y salud en el trabajo) que toda empresa debe cumplir de acuerdo al número de trabajadores y nivel de riesgo, sistema general de riesgos laborales, accidente de trabajo, emergencias.

Fase 4: diseño del desarrollo SCADA

Diseñar el modelo y mostrar su representación del desarrollo de control LOTOTO (Lock Out, Tag Out, Try Out) automatizado, para protección de energías peligrosas.

Diseño

Descripción componentes

Para la creación del sistema electrónico SCADA con apoyo de IoT para el sistema LOTOTO, se implementaron diferentes componentes electrónicos, para la construcción, montaje y puesta en marcha este proyecto que se mencionarán a continuación.

Componentes y características

Etapas de Alimentación o Power Supply

Ilustración 2.

Power Bank



Fuente: <https://beston.com.co/power-bank-bst-038>

Powerbank Beston, modelo BST038, batería de polímero de litio, cuenta con 5000 mA/Hora, cuenta con indicativo de nivel de carga, un-HUB de tres posiciones, velocidad 2.0, velocidad max de **2A** transferencia 480 Mbps, utilizado en el sistema únicamente como fuente de energía a 5V, máximo 2A, y cuenta con regulador de energía para linealizar la salida de energía para posibles picos y no afectar el funcionamiento en ruido de las mediciones.

Ilustración 3.

Hub Usb 2.0 4 Posiciones

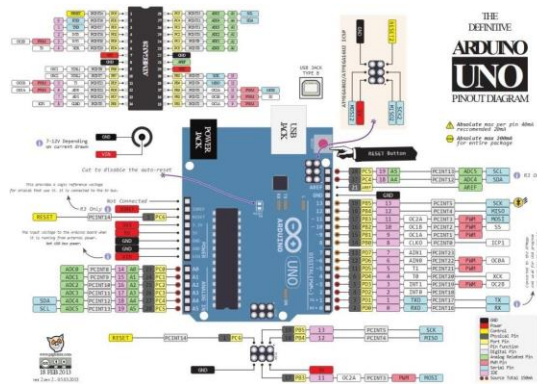


Fuente: <https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-514238276-hub-usb-4-puertos-extension-multiplicador-adaptador-usb-20BwE>

Dispositivo HUB, marca HI-SPEED, 4 channels, compatible con 2.0 transferencia de 480Mbps, no requiere driver de instalación.

Ilustracion 4.

Esquema Arduino UNO



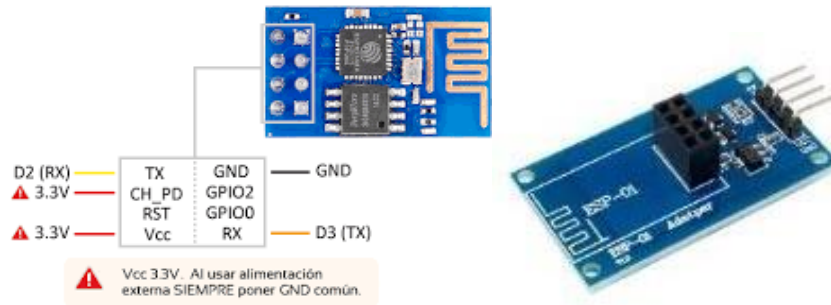
Fuente: <https://www.electrogeekshop.com/arduino-uno-pinout-una-sencilla-introduccion-a-su-esquema-5-5-2/>

Esta placa cuenta con un microcontrolador ATMEGA328, cuenta con 14 pines input y output, de los cuales 6 puertos utilizan señal PWM, 6 puertos análogos, reloj de 16 MHz, conexión mediante USB, contando también con un convertor de USB a Serial, su voltaje de funcionamiento es de 5V, max 6V,

botón Reset, es la encargada de almacenar la programación del sistema por medio de dicho microcontrolador y comunicar todo el Sistema.

Ilustración 5.

ESP-01 e Interfaz 5.0 a 3.3 VCC

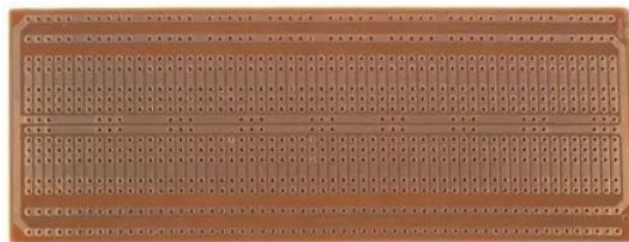


Fuente: <https://www.filipeflop.com/produto/adaptador-para-módulo-wifi-esp8266-esp-01/>

Conforma también una tarjeta ESP-01, trabaja con un módulo ESP8266, comunicación serial TX y RX, para comunicación y gestión por medio de WIFI, protocolo 802.11 b/g/n, 2.4 GHz, interacción con plataforma MQTT, alimentación de 3.3V, adicional se encuentra conectada a un adaptador para su debida conversión de 5V a 3.3V y con TX y RX, configurado por medio de comandos AT.

Ilustración 6.

Tarjeta PCB tipo protoboard



Fuente: <https://ssdielect.com/cb/protoboard/2745-plaq004.html>

La tarjeta PCB, tipo protoboard, diseñada para interconectar los diferentes componentes como la protoboard convencional, en la comunicación y alimentación del circuito.

Ilustración 7.

RELE dual para Arduino

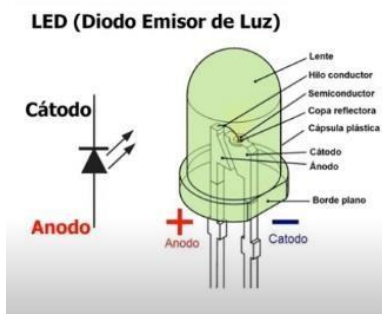


Fuente: <https://dcimecuador.com/producto/módulo-rele-para-arduino-doble-5-voltios-10-amperios/>

El RELAYS Dual Channel optocoplador PC817, dispositivo que trabaja magnéticamente, controlado por entrada TTL (lógica transistor a transistor), se degrada a más de 2 metros por cable, se energiza a 5V, (min 4.75 – max 5.25), donde cuenta de acuerdo a su arreglo electrónico, con canales de comunicación directa con Arduino y energía, en sus puertos output, se encuentra el COM, quien suministra la energía, NC es el puerto normalmente cerrado y NO es cerrado.

Ilustración 8.

Diodo emisor de luz Led

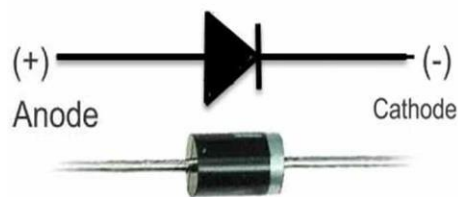


Fuente: <https://www.electrodaddy.com/control-y-polarizacion-de-leds/>

Es un dispositivo que al pasar corriente genera luz por la potencia eléctrica consumida, es un componente activo con polaridad de anodo y catodo, donde se debe utilizar una resistencia 1kOhm, si se desea generalmente a 5 voltios o puede sufrir un cortocircuito o abierto, dejando de funcionar.

Ilustración 9.

Diodo rectificador

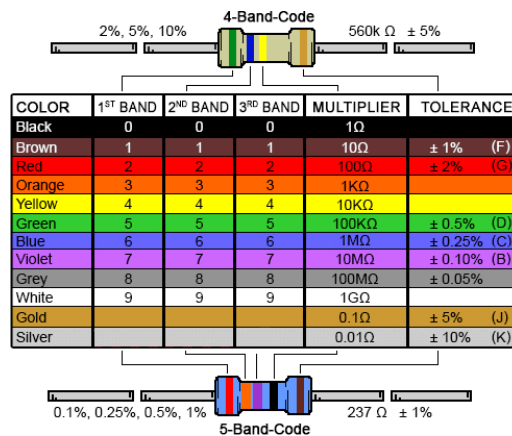


Fuente: <https://unialia.com/tipos-de-diodos-rectificadores-tipos-y-funcion/>

El Diodos Schottky, quien brinda baja pérdida de tensión, con el fin de no afectar el flujo de señal, en sus características deja el flujo de corriente de acuerdo a las especificaciones del componente y datasheet, pero la oposición de la energía, en su especificación técnica N y P.

Ilustración 10.

Resistencia



Fuente: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/codigo-de-colores-de-resistencias.html>

Son componentes pasivos que no cuentan con polaridad y es utilizado para la oposición del flujo de corriente en un circuito, la unidad de resistencia internacional es Ohmio, nombre obtenido quien descubrió el principio, teniendo su nombre.

Ilustración 11.

DB9 – Serial RS232

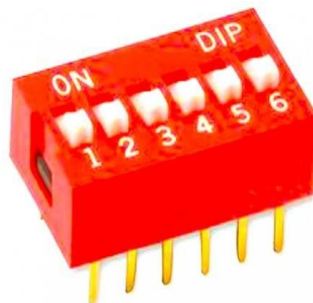


Fuente: <https://www.amazon.com/-/es/Accesorios-Conectores-10-pares-soldadura-10-Hembra/dp/B014IVD7L0>

Se encuentra un conector hembra y macho Serial tipo DB-9 (9 pines), es utilizado para protocolo RS232 (Estándar recomendado), utiliza intercambio binario de datos en serie para la comunicación entre dispositivos, por protocolo DTE y DCE, números de BITS y estándares eléctricos.

Ilustración 12.

DIP switch



Fuente: <https://tostatronic.com/store/componentes-pasivos/186-dip-switch-de-5-canales.html>

Un DIPSwitch es un dispositivo electrónico que cuenta con un conjunto de interruptores en formato encapsulado llamado (dual in-line package) o DIP y de acuerdo a su activación de los Interruptores, genera una tabla de binarios, para su debido procesamiento de datos.

Ilustración 13.

Pulsador

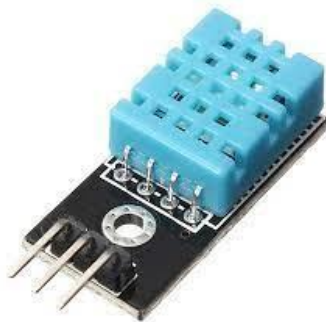


Fuente: <https://www.didacticaselectronicas.com/index.php/suiches-y-conectores/suiches/pulsadores/pulsador>

Los pulsadores de dos pines, dos posiciones, normalmente abierto, su voltaje y funcionamiento 0V -35V, 50Ma, <0.03 Ohm para activación o cambio de estado.

Ilustración 14.

Sensor de temperatura y humedad

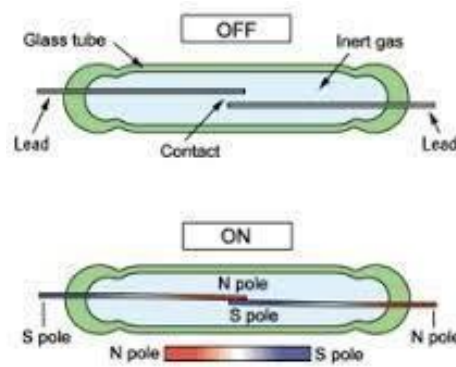


Fuente: <https://www.hwlibre.com/dht11/>

El sensor tipo DTH11 para temperatura y humedad, utilizando un termistor quien censa el aire que circula, también implementado un sensor capacitivo referencia HR202, para humedad, cuenta con tres pines, dos para energia VCC 3V-5.5V, 0.2 Ma-0.5mA, GND y el otro para Data, donde genera una señal digital, su rango de humedad esta en 20-95% y temperatura 0-50 grados centígrados, alta resolución en medida 1%, precisión 0.5%, tiempo <5 segundos.

Ilustración 15.

Red switch



Fuente: <https://www.cursosalpha.com/blog/sabes-lo-que-es-un-reed-switch/>

Dispositivo hecho por contactos ferrosos encerrados al vacío dentro de un tubo de vidrio, este dispositivo puede ser utilizado en área con energías explosivas la cual, por la generación de chispa queda atrapada en la burbuja de vidrio, al acercarse a un campo magnético cambia de estado.

Ilustración 16.

Cámara mini wifi



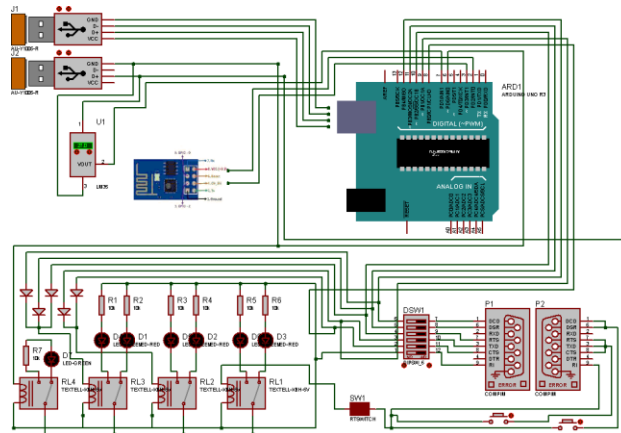
Fuente: Autor

Se implementa una cámara mini WIFI 2.4 GHz, mini lente HD 1080 Pixeles, HD, cuenta micrófono, visión nocturna, con batería alcanzando 3 horas para su funcionamiento, tipo de reproducción en formato VLC Player, cuenta con su antena para un mejor TX y RX de conectividad a la red.

Diseño del Circuito

Ilustración17.

Circuito LOTOTO en Proteus



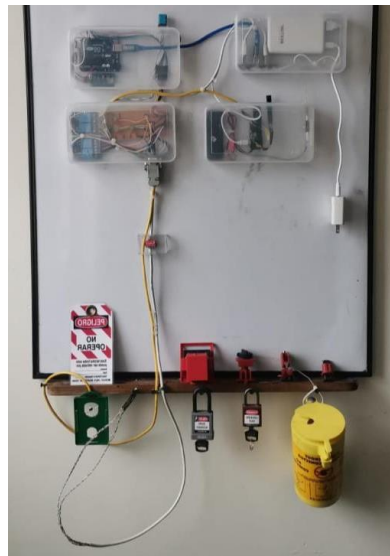
Fuente: Autor -

<https://componentsearchengine.com/library/proteus?gclid=EAIaIQobChMIvKGF6OD79QIVA5KGCh2i8go>

[UEAAYASAAEgI4s D BwE](#)

Ilustración 18.

Sistema LOTOTO físico



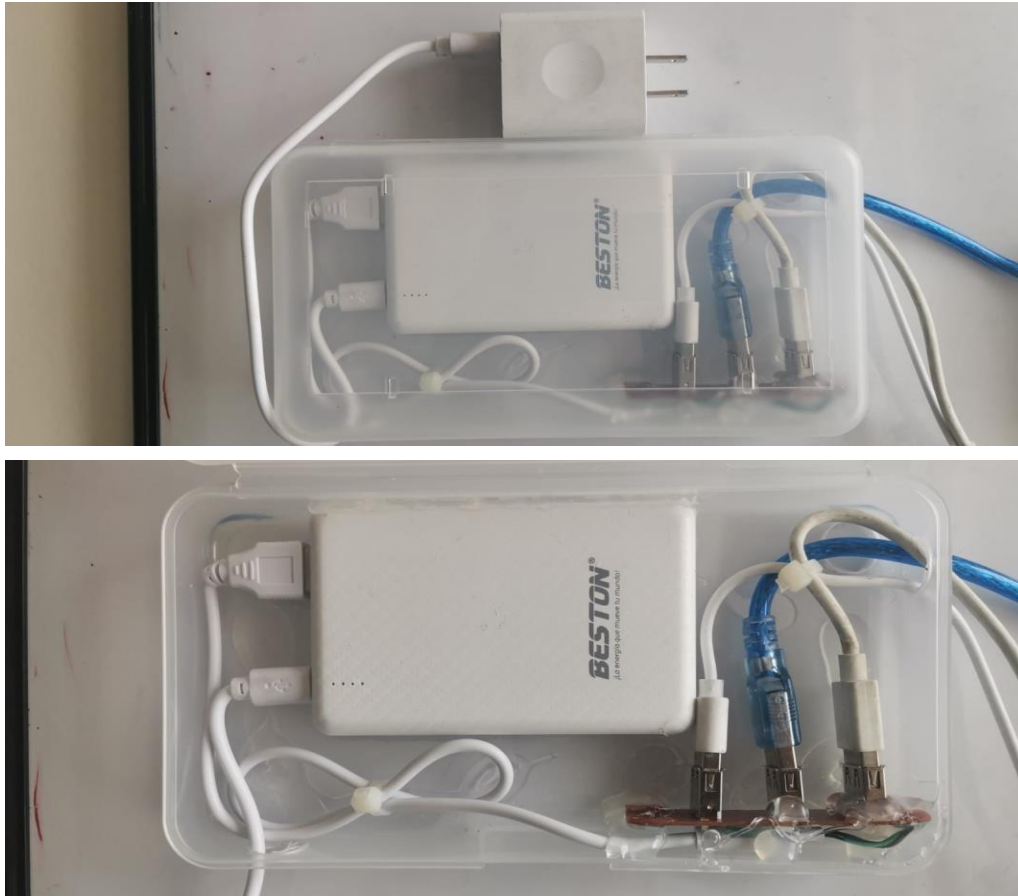
Fuente: Autor

Sistema LOTOTO

Etapas de Sistema

Ilustración 19.

Etapa de alimentación física



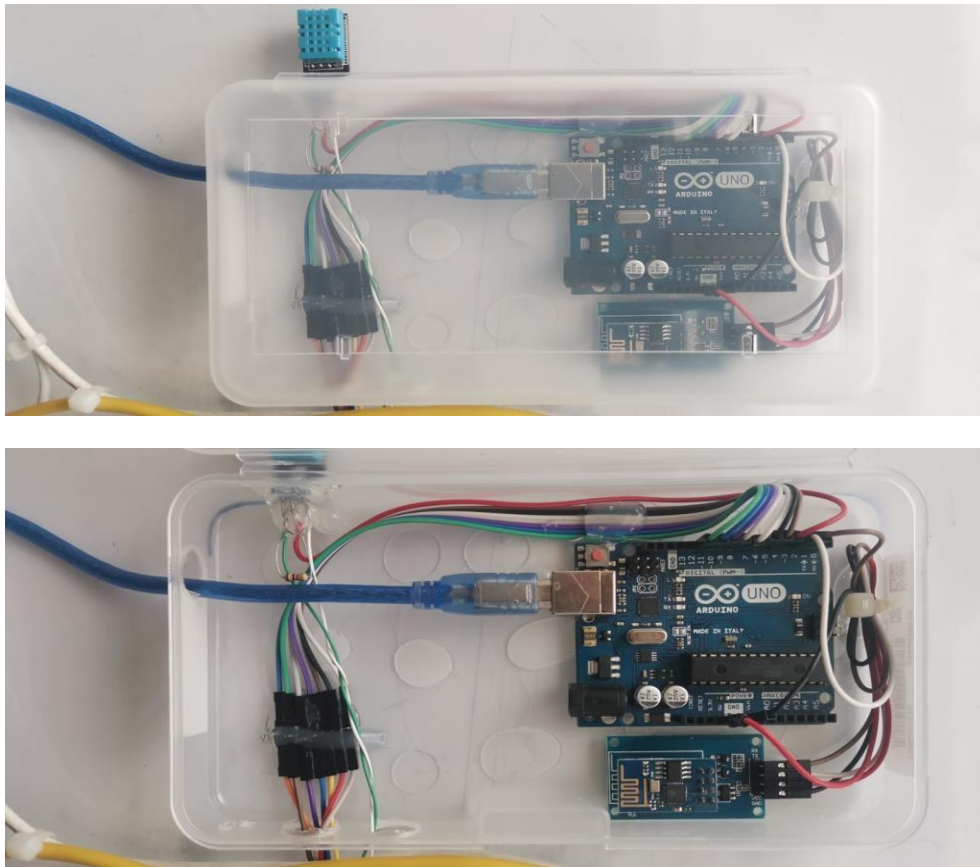
Fuente: Autor

En esta etapa del Sistema se acondiciona una etapa de energía eléctrica DC, donde se ubica la Power Back y HUB 2.0, para el suministro de las diferentes etapas, para un suministro continuo de acuerdo a su consumo, alcanza para tres horas. De esta manera, el equipo es completamente portátil, lo que significa

que no requiere una conexión directa con energía AC o DC física, de allí se cuenta con el cable de poder USB y adaptador AC/AC para la carga de las celdas de dicha batería, siguiente conectada el HUB para la distribución de los 5VCC ya filtrados por la power bank y se deriva de tres cables para la etapa de procesamiento, control y supervisión.

Ilustración 20.

Etapa de Procesamiento y Comunicación



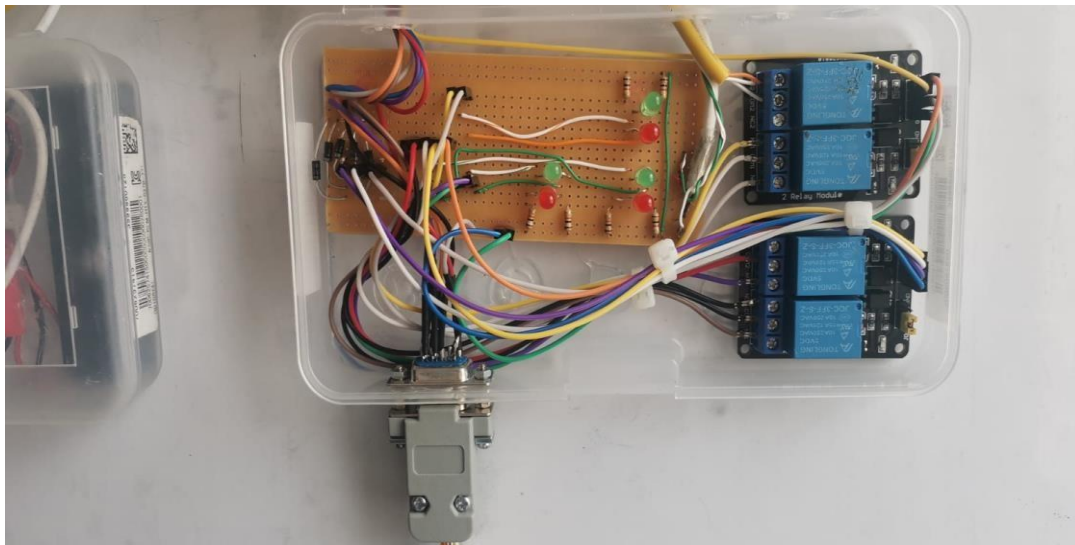
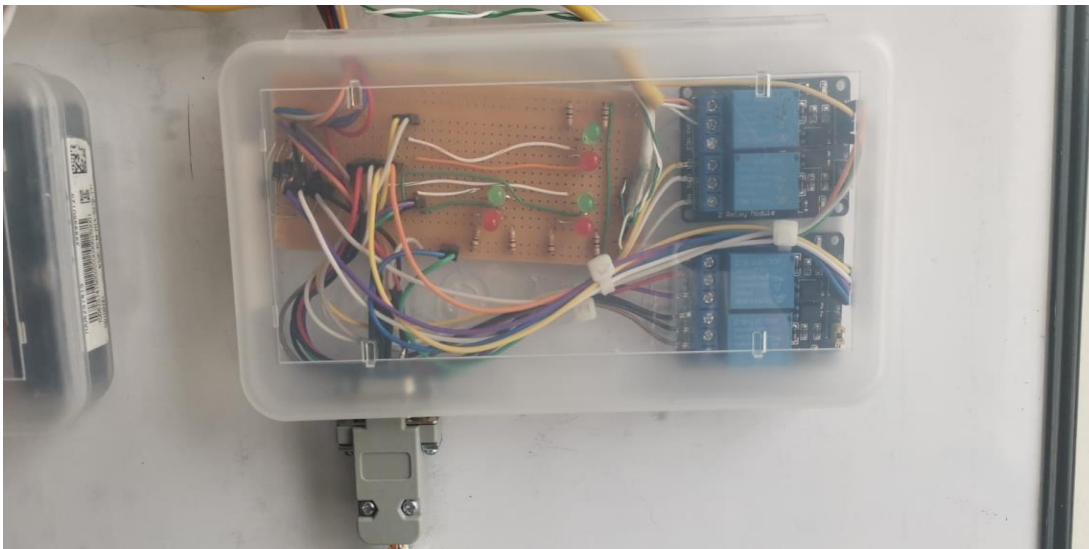
Fuente: Autor

En esta etapa se encuentra el Arduino UNO, donde se encuentra principalmente el Pseudocódigo en el microcontrolador ATMEGA328, donde dará control lógico a todo el sistema, actuadores y sensores y brindará conexión con la parte electrónica y software, también cuenta con la placa de comunicación

ESP-01, encargada de conectividad WIFI y comunicación sincrónica con la plataforma MQTT, esta se conecta en los pines PWM 2 (RX) y 3 (TX) y conexión directamente al canal de 5V y GND que cuenta el Arduino UNO, para energizar dicho módulo, siendo la única fuente de alimentación que suministrará la placa principal, para evitar problemas en alimentación de corriente y procesamiento.

Ilustración 21.

Etapa de Control



Fuente: Autor

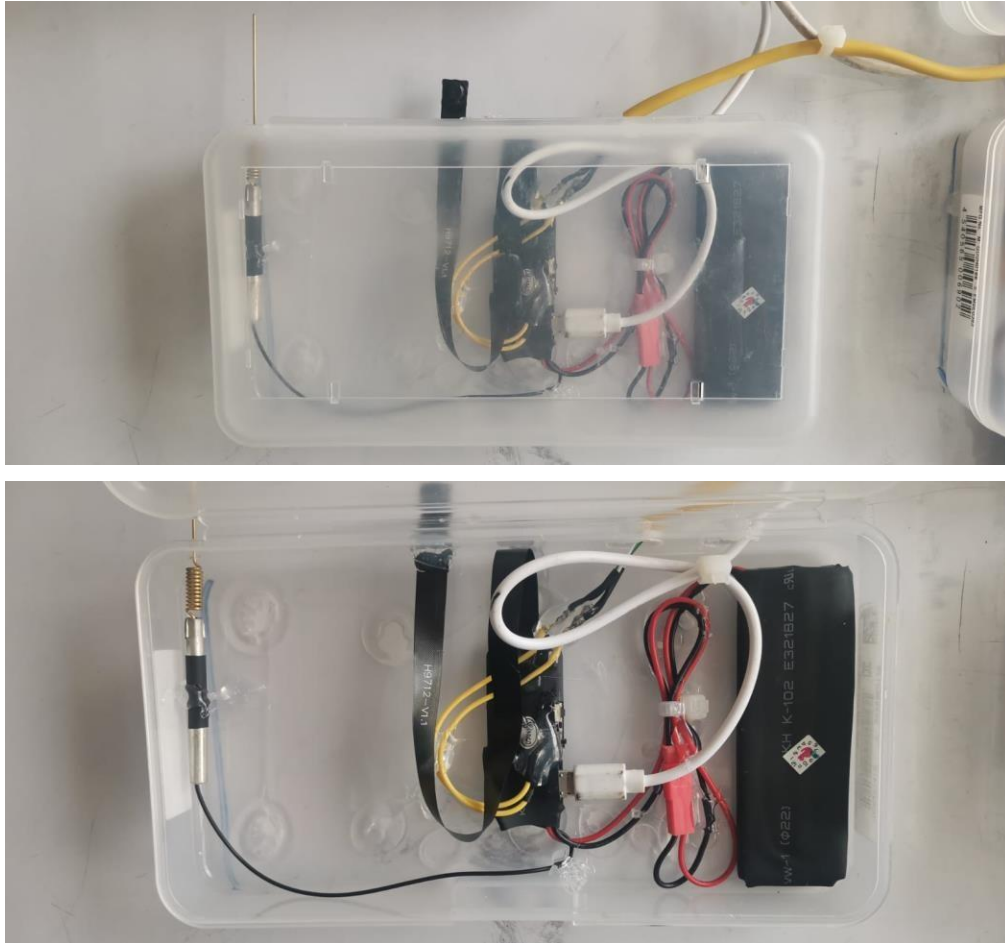
En la presente etapa se encuentra inicialmente la PCB donde administra la comunicación de datos y alimentación a los diferentes sensores y actuadores del Sistema excluyendo la etapa de supervisión, encontrándose los LEDs emisores de luz y en el circuito se encuentra un arreglo de Diodos emisores de Luz, con sus debidas resistencias de 1Kohmio a GND, el led rojo quien se encuentra conectado al canal del relay NC, se va encontrar siempre cuando este desactivado, el led verde se encenderá y por ende el led rojo se apagará, cuando el dispositivo haya sido activado y cambiará de estado al estado NO.

En la etapa de control se evidencian tres verdes y tres rojos, donde avisarán del cierre magnético del RED Swich en la tarjeta de etiquetado, el siguiente de un dispositivo que bloqueará directamente el sistema a intervenir y por último es la activación del candado que bloqueará el dispositivo LOTO, para así, cumplir con todo lo debidamente estipulado, necesario y obligatorio en un Sistema LOTOTO. Implementado el conector Serial RS232 – DB9 para la comunicación directa con los dispositivos LOTO, donde este cable puede ser retirado, sin la necesidad de intervenir internamente en la etapa de control por el usuario y que a su estructura física, proporciona un aseguramiento sólido para no afectaciones en los cables.

Siguiente se encuentra el DIP Swich, haciendo la debida configuración por el sistema para activar únicamente el dispositivo a utilizar y que lo detecte tanto el arreglo de LEDs, la etapa de procesamiento y el software, y en los dispositivos que interactúan con los dispositivos LOTO y etiqueta, los dos pulsadores, uno para los diferentes dispositivos LOTO y el otro para el candado según corresponda. Un RED Swich que se encuentra normalmente abierto y al contar con la presencia del imán que tiene dicha etiqueta, su estado cambia a cerrado y posterior aviso al Sistema para estado habilitado en el etiquetado en software.

Ilustración 22.

Etapa de Supervisión



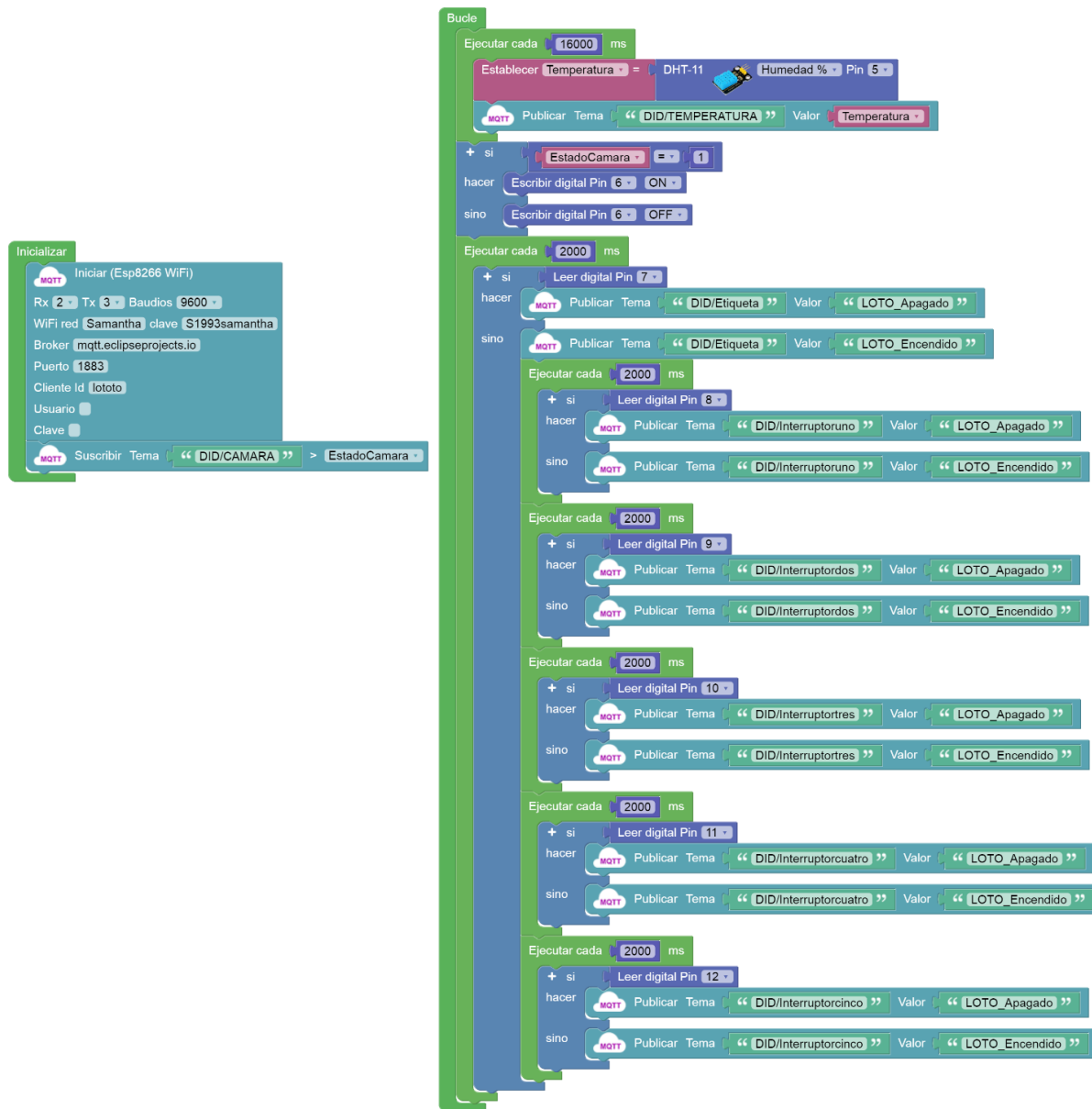
Fuente. Autor

En la etapa de supervisión se encuentra la cámara Mini, donde se puede controlar la activación o desactivación por medio de la plataforma MQTT, por medio de un swich debidamente configurado en el pseudocódigo y el software, para tener interacción no únicamente de la parte electrónica al MQTT, sino que también desde MQTT a la electrónica, Se realiza una modificación en su etapa de encendido y apagado para control remoto, por medio del relay desde el software MQTT. Utilizando la aplicación ULar

de PlayStore para Android, haciendo una configuración por medio de QR o directamente con la red del móvil para la visualización de la cámara remotamente.

Ilustración 23.

Diagrama de bloques – Arduino Blocks



Fuente: Autor - <http://www.arduinoblocks.com/>

Diseño Software Programación – Diagrama de bloques – Arduino Blocks

La siguiente programación bajo programación C++, normalmente utilizado por Arduino pero con un método abreviado, por bloques, online que cuenta con sus respectivas librerías, ServerClients, diferentes sensores, relay, condicionales de código entre otros, configuración Wifi, puertos de RX y TX para conectividad a ESP-01, hacienda configuración directa al módulo ESP8266, sin comandos AT, utilizando ArduinoBlocks-Conector para el reconocimiento del Puerto físico COM del Computador y Arduino UNO, la transferencia del programa a la placa mediante el LocalHost:9987, por defecto .

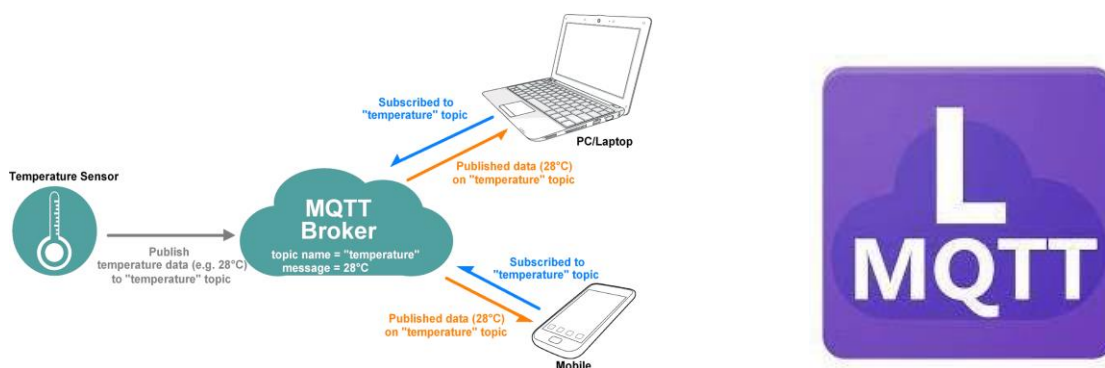
Plataforma MQTT

Esta plataforma en sus siglas Message Queing Telemetry Transport, es utilizada especialmente para IoT bajo la comunicación achine to Machine (M2M), la cual cuenta con cualidades de fácil de configuración, velocidad, en tamaño de programación baja, sin embargo, es limitado en ancho de banda, potencia y consumo. Maneja comunicación TCP/IP, donde cada comunicación es abierta y es reutilizada.

Fue creada por el Dr. Andy Stanford-Clark de IBM y Arley Nipper de Arcom (ahora EUROTECH), en el año 1999 privado como mecanismo para la conexión de industrias petroleras, pero en 2010 fue abierto y estándar en el 2014 segu OASIS.

Ilustración 24.

Plataforma MQTT



Fuente: <https://firtec.com.ar/cms/component/content/article/10-notas-tecnicas/53-que-es-mqtt>

Pruebas de Sistema

Comportamiento físico del Sistema

Se procede a realizar las diferentes pruebas del Sistema de acuerdo a su pseudocódigo, condicionales, electrónica y software, dando manejo a lo configurado.

Condición principal – Etiquetado Inicialmente el software deshabilitado

Ilustración 25.

Plataforma Admin MQTT sistema LOTOTO.

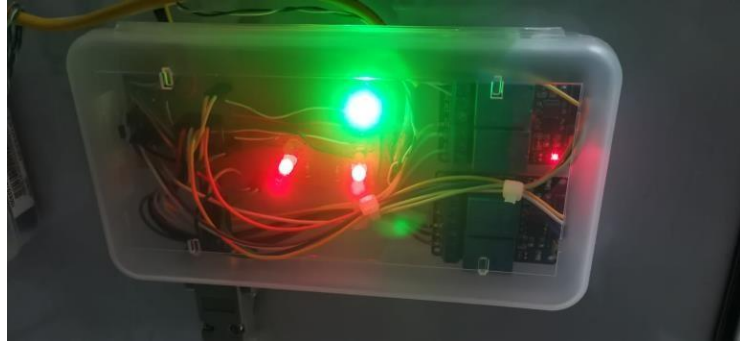


Fuente: Autor

Se instala la etiqueta, para que el Redswich cambie de estado y se active el led verde.

Ilustración 26.

Activación Sistema Etiquetado – Admin MQTT.



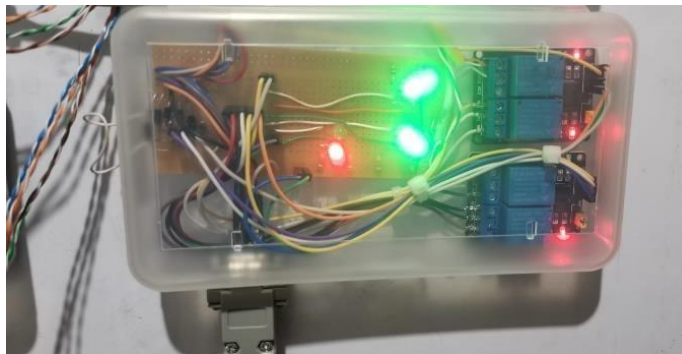
Fuente: Autor

Según necesidad del buen manejo se realiza el accionamiento y presencia del imán en la red switch en la etiqueta, donde es importante para el conocer quien está ejecutando la actividad para intervención de energías peligrosas.

En la imagen se observa la activación del led verde se enciende y en la plataforma MQTT cambia de estado en activo, habilitando las demás funciones del Sistema.

Ilustración 27.

Activación Sistema Etiquetado – bloqueo dispositivo

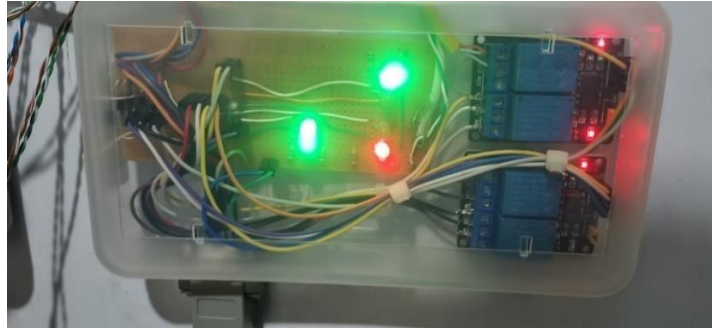


Fuente: Autor

Se procede con la activación del dispositivo LOTOTO, evidenciándose en el led y en la plataforma MQTT.

Ilustración 28.

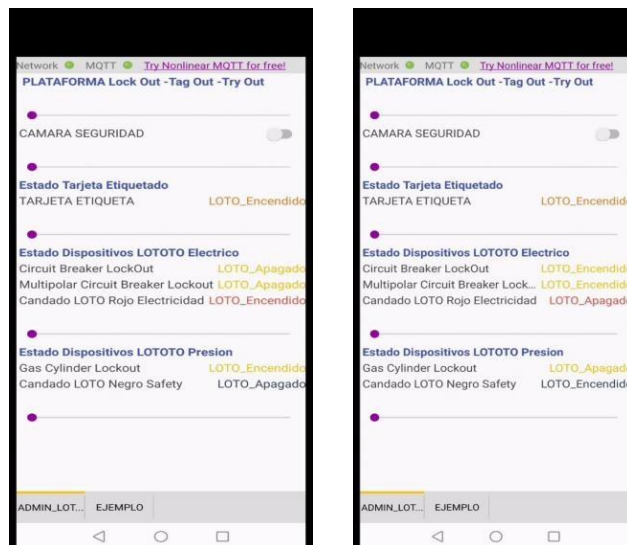
Activación Sistema Etiquetado – bloqueo candado.



Fuente: Autor

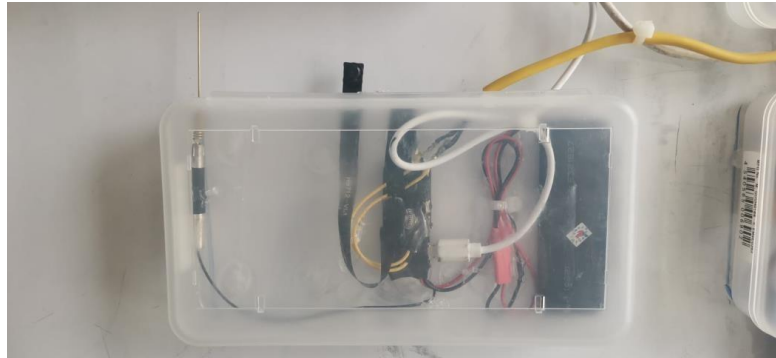
Ilustración 29.

Activación Sistema Etiquetado – bloqueo candado – Admin MQTT



Fuente: Autor

En la presente imagen se evidencia la activación de los dispositivos LOTOTO y candados LOTOTO, según el color a la energía peligrosa que se esté utilizando, evidenciándose en la aplicación LOTOTO – MQTT.

Ilustración 28.*Sistema de control físico*

Fuente: Autor

En la etapa de control se activa desde la plataforma MQTT la cámara, donde es posible contar con un mayor control en el área donde se esté ejecutando la actividad y la activación de la energía peligrosa.

Análisis de resultados

Se observa el funcionamiento del sistema, para dar plena confianza en la secuencia de todo el proceso que se brindará para el control hacia las energías peligrosas, esto conlleva a un sistema creado e innovador para los dispositivos **LOTOTO** y sistemas safety.

En plena visión para el operario, usuario o persona interesada en la necesidad de contar con este sistema innovador y práctico que busca satisfacer las necesidades en cuanto seguridad donde se necesite implementar en el campo laboral que tenga presencia de alguna energía peligrosa, con el fin de cumplir con los parámetros básicos o mínimos necesarios que sean requeridos en seguridad y salud en el trabajo.

Analizando las diferentes etapas se pueden generar una gráfica general en la velocidad de respuesta en procesamiento de datos, cuando hay cambio de estado de los diferentes sensores y actuadores principales del sistema IoT activado desde la plataforma o desde el sistema y que es medido en tiempo para dar confiabilidad en el momento que se presente algún acto inseguro o accidente en el área bloqueada.

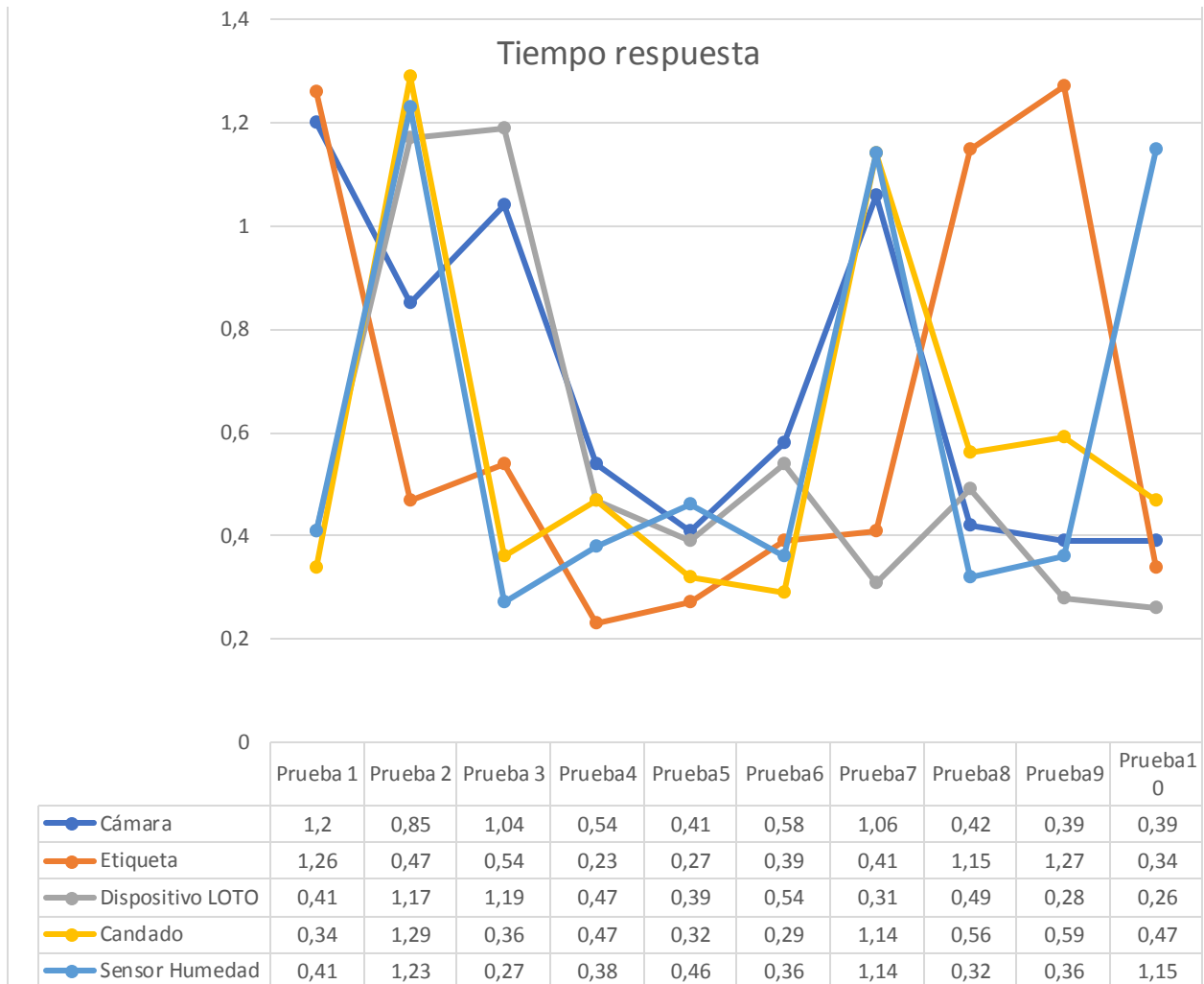
Tabla 1.*Tiempo de respuesta sistema*

	Tiempo (segundos)				
	Cámara	Etiqueta	Dispositivo LOTO	Candado	Sensor Humedad
Prueba 1	1.25	1.26	0.41	0.34	0.41
Prueba 2	0.85	0.47	1.17	1.29	1.23
Prueba 3	1.04	0.54	1.19	0.36	0.27
Prueba4	0.54	0.23	0.47	0.47	0.38
Prueba5	0.41	0.27	0.39	0.32	0.46
Prueba6	0.58	0.39	0.54	0.29	0.36
Prueba7	1.06	0.41	0.31	1.14	1.14
Prueba8	0.42	1.15	0.49	0.56	0.32
Prueba9	0.39	1.27	0.28	0.59	0.36
Prueba10	0.39	0.34	0.26	0.47	1.15

Fuente: Autor

Figura 1.

Gráfico de líneas - tiempo de respuesta en sistema



Fuente: Autor

Para cada una de las variables como: Cámara, etiqueta, dispositivo LOTO, candado, sensor humedad. Existe una media, mediana y moda:

Para la cámara

$$\bar{x}: \sum \frac{x_1+x_1+\dots+x_1}{n}$$

$$\bar{x}: 0.693$$

$$Me: \frac{0.54 + 0.58}{2}$$

$$Me: 0.56$$

$$Mo: 0.39$$

Para la cámara se tiene que el promedio es aproximadamente de 0.693, la mediana es 0.56 y la moda es 0.39, pues este es el dato que más se repite a lo largo del proceso.

Para la etiqueta

$$\bar{x}: \sum \frac{x_1 + x_1 + \dots + x_1}{n}$$

$$\bar{x}: 0.633$$

$$Me: \frac{0.41 + 0.42}{2}$$

$$Me: 0.44$$

En la etiqueta se tiene que el promedio de procesos aproximadamente es de 0.633, la mediana es de 0.44 y no existe moda, ya que no hay datos que se repitan.

Para el dispositivo LOTO

$$\bar{x}: \sum \frac{x_1 + x_1 + \dots + x_1}{n}$$

$$\bar{x}: 0.551$$

$$Me: \frac{0.41 + 0.47}{2}$$

$$Me: 0.44$$

Se tiene que el promedio para el número de procesos de los dispositivos LOTO es aproximadamente de 0.551, también una mediana del 0.44, y de nuevo para esta variable no hay moda. Se puede observar que para la variable “etiqueta” y para la variable “dispositivo LOTO” su mediana es la misma y que en ninguna de las dos existe la moda, lo que significa que los datos tienden a ser semejantes, pero no lo son.

Para el candado

$$\bar{x}: \sum \frac{x_1+x_1+\dots+x_1}{n}$$

$$\bar{x}: 0.583$$

$$Me: 0.47$$

$$Mo: 0.47$$

Para el número de procesos en cuanto a los candados es aproximadamente del 0.583, existe una mediana del 0.47 y un dato que más se repite que es 0.47 conociéndose esta como la moda.

Para el sensor humedad

$$\bar{x}: \sum \frac{x_1+x_1+\dots+x_1}{n}$$

$$\bar{x}: 0.608$$

$$Me: 0.395$$

$$Mo: 0.36$$

Por último se tiene que el promedio del sensor humedad para el número de procesos es de aproximadamente 0.608, existe una mediana de 0.395 y una moda del 0.36. Pues nuevamente hay un valor que se repite y es el anterior mencionado.

De acuerdo a los anteriores cálculos se puede inferir que los datos no tuvieron una mayor variabilidad, por lo que en el momento de realizar los cálculos, en las respuestas no hay inestabilidad.

Entonces de acuerdo a la gráfica se puede notar que la variable etiqueta y cámara inician con un comportamiento decreciente, posteriormente, las variables Dispositivo LOTO, sensor humedad y candado inician con un comportamiento creciente

Conclusiones

Se desarrolló un modelo de tipo software para control SCADA (Supervisión, control y Adquisición de datos), para seguridad LOTOTO (Lock Out, Tag Out, Try Out) en energías peligrosas.

Se planificó y documentó el procedimiento de cómo desarrollar de sistema SCADA y que su orientación sea a la seguridad industrial LOTOTO.

Se simuló procesos del sistema SCADA por medio de software como PROTEUS sin la necesidad de experimentar algún accidente.

Se conocieron los colores y especificaciones según energías de peligro para su diseño.

Se presentó el diseño de sistema SCADA para LOTOTO, el procesamiento y control de señales sistematizadas.

Se implementó de manera virtual y verificar su validación.

Referencias bibliográficas

BRADY. (2014). Catalogo de Bloqueo – Etiquetado. Una solución completa para bloqueo Etiquetado.

(2021).

<http://www.melcsa.com/public/frontend/images/products/SIBRLOT001/Catalogo%20de%20Bloqueo%20y%20Etiquetado.pdf>.

Erick ulloa chaverri coordinador área industrial cso. (2019). Guía para bloqueos de maquinariay equipos energizados. En cso (pag 2 - 11). Mayo de 2019: cso.

<https://es.freownloadmanager.org/Windows-PC/Symbol-Factory.html#:~:text=Symbol%20Factory%20pertenece%20al%20grupo,%2F7%2F8%2F10.&text=Originariamente%2C%20esta%20herramienta%20la%20desarroll%C3%B3%20Software%20Toolbox%2C%20Inc>.

G. Mosquera (2000) Las vibraciones mecánicas y su aplicación en el mantenimiento Predictive. (2021).

https://www.academia.edu/14081827/LAS_VIBRACIONES_MECANICAS_Y_SU_APLICACION_AL_MANTENIMIENTO_PREDICTIVO_GENARO_MOSQUERA_COORDINADOR_MARGARITA_DE_LA_VICTORIA_PIEDRA_DIAZ_RAUL_ANTONIO_ARMAS_CARDONA

GRUPO RP Seguridad Industrial. (2020). LOTO Safety. GRUPO RP Seguridad Industrial (2021).

<https://rpseguridadindustrial.com/>.

G. White (2010). Introducción al Análisis de Vibraciones. (2021) https://eissas.com.co/balanceo-dinamico/?gclid=EAlalQobChMIrpiLiPru9QIVq-iGCh2T_QjJEAYASAAEgIQWfD_BwE.

Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH). (2015). Prevención de muertes de trabajadores por descargas no controladas de energía eléctrica, mecánica y otros tipos de energía peligrosa. (2021). https://www.cdc.gov/spanish/niosh/docs/99-110_sp/default.html.

Lockey. (2020). safety y lockout. (2021).

https://www.lockeyesafety.com/products.html?gclid=EAlalQobChMI3LPv-9O58gIVBK-GCh0cugqYEAYASAAEgLAefD_BwE.

Santos, M.Piedra (1990). Experiencias con el sistema para el procesamiento de señales Vibroacústicas. (2021). <https://repository.unad.edu.co/jspui/bitstream/10596/40523/3/jecastanom.pdf>.

Servicio de salud y riesgos laborales de centros educativos. (2019). Guía de prevención de riesgos por el uso del aire comprimido y máquinas portátiles neumáticas. 18 de Julio de 2021, de Junta de Extremadura Sitio web: https://www.educarex.es/pub/cont/com/0055/documentos/10_Informaci%C3%B3n/03_Gu%C3%ADa/guia_Aire_Comprimido.pdf.

Soluciones en señalización industrial. (2019). CANDADOS DE SEGURIDAD/LOTO. 17 de agosto de 2021,

de FNLS S.R.L Sitio web:

http://www.fnls.com.ar/PRODUCTOS/CANDADOS_LOTO/candados_loto.html.

W. Olarte, M Botero, B Cañón (2010). Técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en la industria.

(2021). <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/355>.