

**Diseño de semáforo inteligente para minería subterránea en los tramos 0600 m y 0840 m
del túnel Higabra en la mina Buriticá**

Elvin Palencia Miranda

Asesor

Erik Miguel Barrios Montes

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería ECBTI

Ingeniería Electrónica

2025

Resumen

En este proyecto está plasmado una posible solución a la problemática de congestión vehicular, presentada en la mina higabra del municipio de Buriticá Antioquia Colombia, para la cual se diseñó, construyó e implemento un prototipo de sistema de semaforización inteligente que busca optimizar la movilidad entre los tramos 0+600m y 0+840m del túnel de la mina higabra. Se plantearon unos objetivos claros que buscaban el análisis de los escenarios de la movilidad, buscando recopilar toda la información posible mediante la técnica de observación directa y la realización de encuestas a los conductores con el fin de saber el nivel de aceptación del sistema, ya teniendo la información se procedió al diseño de una lógica de funcionamiento del prototipo que consiste en un sistema basado en un microcontrolador ESP32 y en sensores ultrasónicos; se tuvo como apoyo las pruebas en campo del prototipo con la cual se observó una mejora en la movilidad de los tramos compartidos de la mina higabra del municipio de Buriticá Antioquia Colombia

Palabras claves: Sensores, semáforo, microcontrolador ESP32, rezaga, movilidad, mina subterránea, volquetas

Abstract

This project presents a possible solution to the problem of traffic congestion, presented in the Higabra mine in the municipality of Buriticá, Antioquia, Colombia. For this project, a prototype of an intelligent traffic light system was designed, built, and implemented to optimize mobility between sections 0+600m and 0+840m of the Higabra mine tunnel. Clear objectives were set that sought to analyze mobility scenarios, seeking to collect all possible information through direct observation techniques and conducting surveys with drivers in order to know the level of acceptance of the system. Once the information was obtained, the prototype's operating logic was designed, consisting of a system based on an ESP32 microcontroller and ultrasonic sensors. Support was provided by field tests of the prototype, which showed an improvement in mobility in the shared sections of the Higabra mine in the municipality of Buriticá, Antioquia, Colombia.

Keywords: Sensors, traffic lights, Arduino, lag, mobility, underground mine, dump trucks

Tabla de Contenido

Introducción	10
Planteamiento del Problema	11
Pregunta Problémica	12
Justificación	13
Objetivos	15
Objetivo General	15
Objetivos Específicos.....	15
Marco Conceptual	16
El Control Predictivo por Modelo Descentralizado.....	16
Mina Subterránea	16
Protocolos de Comunicación	16
Control Adaptativo.....	16
Congestión Vehicular.....	17
Marco Teórico.....	18
Semáforos	18
Simbolización de Luces de un Semáforo.....	18
Partes de un Semáforo Vehicular.....	19
Tipos de Semáforos.....	20
Sensores	20
Característica de los Sensores.....	20

Sensor de Proximidad	21
Sensor Ultrasónico	21
Partes del Sensor Ultrasónico	22
Sensor Ultrasónico hc-sr04	22
El Funcionamiento del Sensor Ultrasónico hc-sr04.....	22
Pines del Sensor Ultrasónico hc-sr04	23
Características Técnicas del Sensor Ultrasónico hc-sr04	24
Microcontrolador	25
Evolución del Microcontrolador	25
Microcontrolador ESP32	26
Características Microcontrolador ESP32	26
Pines Microcontrolador ESP32.....	27
Metodología	29
Diseño de Investigación.....	29
Enfoque de la Investigación.....	29
Técnicas de Recolección de Datos.....	30
Instrumento de Recolección de Datos.....	30
Población.....	31
Muestra y Muestreo	31
Técnicas Procesamiento de Datos.....	32
Análisis y Resultado	33

Escenarios de Movilidad Vehicular en los Tramos Compartidos del Túnel Higabra, Datos de Tráfico, Factores Críticos que Generan Congestión	33
Descripción del tramo 0+600 m y tramo 0+840 m.....	33
Condiciones Actuales de Movilidad	33
Semáforo Apago	35
Escenario 1 Vía Libre Para Ingreso	35
Escenario 2 Tiempo de Evacuación.....	36
Escenario 3 Vía Libre Para Vehículos de Salidas.....	37
Lógica de Funcionamiento del Sistema de Semaforización Inteligente	38
Funcionamiento Lógico del Semáforo Inteligente Minero.....	40
Posicionamiento de los Sensores Ultrasónico Hc-sr04 en la Mina.....	40
Prototipo de Semáforo Inteligente en Condiciones Reales de Operación en Mina	41
Recursos Necesarios Para el Desarrollo del Proyecto Semáforo Inteligente Minero.....	41
El Prototipo Inicial del Semáforo Inteligente Minero.....	42
El Prototipo Físico del Semáforo Inteligente Minero	43
Algoritmos de Funcionamiento del Semáforo Inteligente Minero	45
Campo, Eficacia en la Reducción de Tiempos Muertos y Mejora del Tránsito	50
Prueba de Sistema del Semáforo Inteligente Minero en Sitio	50
Validación de Resultados Obtenidos del Funcionamiento del Semáforo Inteligente Minero.....	52
Conclusiones.....	53

Referencias Bibliográficas 55

Lista de Tablas

Tabla 1 *Recursos Necesarios para el Desarrollo del Proyecto Semáforo Inteligente Minero* . 42

Tabla 2 *Ciclos de Simulación*..... 52

Tabla de Figuras

Figura 1 <i>Funciones Semáforo</i>	19
Figura 2 <i>Funcionamiento del Sensor Ultrasónico HC-SR04</i>	23
Figura 3 <i>Pines Sensor del Sensor Ultrasónico HC-SR04</i>	24
Figura 4 <i>Pines Microcontrolador ESP32</i>	28
Figura 5 <i>Cantidad de Trancones por Meses</i>	34
Figura 6 <i>Semáforo Apagado</i>	35
Figura 7 <i>Escenario 1 Vía Libre para Ingreso</i>	36
Figura 8 <i>Escenario 2 Tiempo de Evacuación</i>	37
Figura 9 <i>Escenario 3 Vía Libre para Vehículos de Salidas</i>	38
Figura 10 <i>Flujograma del Funcionamiento del Sistema de Semáforo Minero Inteligente</i>	39
Figura 11 <i>Posicionamiento de Sensores Ultrasónico HC-SR04</i>	41
Figura 12 <i>Boceto Prototipo Inicial del Semáforo Inteligente Minero</i>	43
Figura 13 <i>Prototipo Físico del Semáforo Inteligente Minero</i>	44
Figura 14 <i>Soporte de Balizas</i>	45
Figura 15 <i>Prueba de Sistema en Sitio Semáforo en Verde</i>	51
Figura 16 <i>Prueba de Sistema en Sitio Semáforo en Rojo</i>	52

Introducción

El gran desafío para la productividad y la seguridad operativa, dentro de una mina subterránea está representado en la congestión vehicular. Este documento presenta el diseño de un prototipo de semaforización inteligente que busca mitigar este problema. En toda la trayectoria del documento se abordarán el problema identificado, los fundamentos teóricos, la metodología implementada, los resultados observados y las conclusiones derivadas del diseño del prototipo final.

Se tiene como reto la creación de un prototipo de semaforización inteligente, el cual se implementará en la mina subterránea de forma organizada y coherente; basado en el planteamiento del problema donde se evidencian las causas reales, las cuales son mitigadas con la aplicación de este proyecto como posible solución definitiva al problema actual de movilidad en la mina Higabrá. La justificación se relaciona con las pérdidas actuales que se vienen presentando en la producción y el aumento en el presupuesto de los repuestos debido al desgaste y cómo se pueden mejorar estos ítems aplicando una solución sencilla y versátil donde el mayor beneficiario sería la producción en general. Los objetivos ayudan a estar claro en donde se está, para donde se va y como se quiere llegar, enmarcando el proyecto de forma distributiva y ordenada sin eludir ninguna fase.

Planteamiento del Problema

Según Minera S. (2017), el carguío, consiste en retirar el material tronado del frente de explotación para su posterior transporte, es uno de los procesos más costosos en la minería. Esto se debe a la gran cantidad de equipos involucrados, su alto grado de mecanización y el menor rendimiento productivo por equipo. Además, es un proceso prácticamente continuo y lento.

Al desaparecer las horas no productivas en la operación de carguío y transporte, se disminuyen los costos de operación; mejorando los principales indicadores de productividad de esta etapa; afirma (Arango y Bellido, 2015).

En la mina higabra del municipio de Buriticá Antioquia Colombia se está presentando perdida de producción debido a la movilidad reducida producto de congestiones y trancones que se presentan dentro del túnel, entre los tramos de vías compartidas del metro 0600 y metro 0840 donde se comparte la vía de acceso y evacuación en ambos sentidos; debido a la topología del túnel y al gran parque automotor que comprende la operación; el túnel de la mina higabra solo cuenta con un bocamina de acceso y evacuación por donde entran y salen los vehículos, lo que lleva a pérdida de tiempo afectando la producción.

La movilidad entra en conflicto debido a que hay unos vehículos que necesitan salir y otros vehículos que necesitan entrar y al no existir una lógica de movilidad implementada con escenarios definidos las rutas de acceso tienden al colapso; provocando una posible perdida en la producción, posibles accidentes que pueden terminar con tiempo de incapacidad, daños a la propiedad, provocando una mayor tasa de improductividad.

Por lo tanto, Es importante que las empresas mineras realicen evaluaciones de riesgos periódicas y mantengan programas de seguridad sólidos para garantizar la protección de

los trabajadores y minimizar los riesgos en la ruta, con la Implementación de sistemas de comunicación y control de tráfico para gestionar de manera efectiva el flujo de vehículos y minimizar los riesgos de colisiones (Minera, 2023, Par.2).

De acuerdo con Minera, R. T (2023), Implementar un sistema de control vehicular, es beneficiosos para la industria por hecho que cumple doble funcionabilidad facilita el tiempo de producción y protege al personal que está laborando.

La finalidad de este proyecto aplicado, es el diseño de un prototipo de un sistema de semaforización inteligente minero, donde se va generar una lógica de movilidad en la cual, se puedan poner en práctica todos los posibles escenarios que se presentan dentro de las rutas de movilidad compartidas; evidenciando esquemas claros y lógicos con los que se pueden brindar un mejor flujo tanto de ingreso como de salida en los vehículos, de esta manera se pueden asociar procesos que buscan la reducción del tiempo donde la mayor beneficiada es la producción.

Debido a la ausencia de un buen sistema automatizado que pueda organizar de forma eficiente el flujo vehicular en los tramos de doble circulación, generando cuellos de botella y grandes pérdidas operativas; siendo este el problema técnico a resolver.

Pregunta Problemática

¿Como se podría mejorar la congestión vehicular mitigando los riesgos y aumentando la productividad en la movilidad en los tramos 0600m al 0840m del túnel Higabra?

Justificación

En igual opinión que Rodríguez, M. M. (2015), 2% de las muertes a nivel global son gracias a los accidentes de tránsito, volviéndose un problema de primer orden por salud pública. Las lesiones provenientes del tránsito no se le están dando el trato requerido para mitigarlas como una estrategia global de salud pública. Está claro, Por medio de leyes integrales se puede lograr la prevención de accidentes; basándose en los fundamentales de prevención y cultura viales.

De acuerdo con el Ministerio de Minas y Energía (2022). Plantea que La seguridad es un tema transversal a cualquier actividad económica que se desarrolle en el mundo, es sinónimo de protección dada la importancia que tiene para preservar la vida, la salud y el bienestar de los individuos. Para el caso del sector minero, la seguridad adquiere gran relevancia ya que se constituye en un elemento clave que permite el aprovechamiento de los recursos, teniendo como foco principal la prevención de accidentes y la gestión de riesgos inherentes a la actividad. Bajo este escenario es necesario que la minería se desarrolle en entornos saludables y garantizando la optimización de las actividades de tal forma que se reduzcan la vulnerabilidad y las amenazas que se presentan en el día a día. Se le suma el hecho Sector transporte representa el 40.06% de energía final donde el 96,2% proviene de fuentes fósiles, ósea, provenientes del petróleo provocando grandes cantidades de emisiones debido a los procesos de combustión (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Minas y Energía, & Ministerio de Transporte, 2019).

Este proyecto se lleva a cabo con el fin de aportar un gramo de arena, con la creación de un sistema de semaforización minera, a través de la integración de circuitos y sistemas los cuales al agruparse forman una estructura que cumple con las necesidades requeridas para su buen funcionamiento. En las constantes interacciones de los componentes electrónicos se puede evidenciar la eficiencia del prototipo, porque permite convertir el simple accionamiento de un

sensor en una señal luminosa, indicando a un operador de cualquier vehículo si debe para o seguir con su recorrido, evitando que se presente embotellamiento o trancones.

Basados en la lógica de cableado y lógica de programación, se representan los diferentes escenarios planteados por la topología de la mina subterránea de Higabrá y apoyado de los microprocesadores, sensores ultrasónicos y una buena lógica de programación se da origen a un prototipo que mitigue el problema del embotellamiento, de esta forma se busca disminuir los altos costo de combustibles, ya que se evitan recorridos innecesarios manteniendo el bajo rodamientos de los vehículos y desgastes de los mismo; mejorando la productividad en tonelaje de tierra acarreada.

Este proyecto se desarrolló como un prototipo funcional, con el objetivo de evaluar el impacto que puede tener dentro de condiciones normales de funcionamiento en la movilidad de una mina subterránea, no como una solución industrial definitiva, sino como una opción demostrativa aplicable a escenarios reales.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar un prototipo de semaforización inteligente minero para optimización del transporte de minerales en la mina subterránea higabra del municipio de Buriticá Antioquia; favoreciendo los tiempos en la producción y eliminando los colapsos de las rutas compartidas.

Objetivos Específicos

Analizar los escenarios de movilidad vehicular en los tramos compartidos del túnel Higabra, mediante observación directa y recopilación de datos de tráfico, para identificar los factores críticos que generan congestión.

Diseñar la lógica de funcionamiento del sistema de semaforización inteligente, utilizando sensores ultrasónicos y un microcontrolador ESP32, con el fin de regular el flujo vehicular y evitar colisiones.

Implementar el prototipo de semáforo inteligente en condiciones reales de operación en mina, mediante pruebas de campo, para verificar su eficacia en la reducción de tiempos muertos y mejora del tránsito.

Marco Conceptual

El Control Predictivo por Modelo Descentralizado

(más conocido como MPC por sus siglas en inglés); El esquema de control MPC Descentralizado propone dividir el sistema por cada una de las intersecciones de tal manera que un controlador MPC local calcule las acciones de control locales de manera independiente. Por lo tanto, la secuencia de acciones de control calculadas por cada uno de los controladores es desconocida para el resto de los controladores (cortes, 2014, p.51).

Mina Subterránea

En general se le llama al conjunto de pozos, galería, rampas, chimeneas, cámara para el alojamiento de servicios e infraestructura varias, así como de labores de explotación propiamente dichas, que han sido destinados a permitir la extracción eficiente de un mineral o conjunto de minerales de un yacimiento situado a una cierta profundidad y que no es accesible, tanto económica, social o ambientalmente por métodos de explotación a cielo abierto (Herrera, 201, p.7).

Protocolos de Comunicación

Establecen la forma de transmisión de datos, como se deben procesar y como se identifican en la red. Los protocolos de comunicación pueden ser empleados a nivel de hardware o software permitiendo que dos sistemas o más transmitan información y sea entendible para el receptor. Son un conjunto de reglas que definen la sintaxis, semántica y sincronización, también incluyen los métodos de recuperación de errores (Parra, 2021, p.15).

Control Adaptativo

Es un método para el diseño de un controlador con parámetros ajustables y un mecanismo embebido que se encargue de dicha tarea. Los controladores adaptativos han sido utilizados principalmente para mejorar el rendimiento en tiempo real. Para cada ciclo de control, el algoritmo adaptativo es normalmente implementado en tres pasos básicos: (1) La información observable es recolectada para calcular el rendimiento del controlador, (2) el rendimiento del controlador es utilizado como una guía para calcular el ajuste de un

conjunto de parámetros, y (3) los parámetros del controlador son ajustados para mejorar el rendimiento del controlador en el siguiente ciclo (Peñaranda, Escobar, Sepúlveda, Castro, Medina & Ramírez, 2016, p.173).

Congestión Vehicular

Habitualmente se entiende como la condición en que existen muchos vehículos circulando y cada uno de ellos avanza lenta e irregularmente. Estas definiciones son de carácter subjetivo y no conllevan una precisión suficiente. La causa fundamental de la congestión es la fricción entre los vehículos en el flujo de tránsito (Ibarra, 2015, P.49).

Marco Teórico

Semáforos

Para Cadavid (2016). Artefactos que regulan el tránsito todo tipo de circulación vial, ordenando el paso y la restricción vial, por medio de luces indicativas las cuales paran la circulación, le dan paso o la alertan. Lo único que está por encima de una señal emitida por un semáforo son los agentes de tránsito, lo que hace que las señales sean de obligatorio cumplimiento.

Simbolización de Luces de un Semáforo

Los semáforos por lo general están conformados por tres tipos de color de luces como son: rojo, amarillo y verde donde cada color tiene una indicación diferente.

Luz Roja no Intermitente. Se prohíbe el paso, La circulación no deben exceder el semáforo. Al ver una un paso peatonal los vehículos deben de estar detenidos antes de esta.

Luz Roja Intermitente o Dos Luce Rojas Intermitentes Alternativamente.

Provisionalmente prohíbe el paso ante un paso a nivel.

Luz Amarilla no Intermitente. Indica que la circulación debe detenerse de inmediato.

Luz Amarilla Intermitente o dos Luces Amarillas Intermitentes Alternativamente.

no restringe el paso, exige a los conductores que deben de ser extremadamente más precavidos.

Luz Verde. Habilita el paso.

Figura 1

Funciones Semáforo



Nota. Aprende que significan las luces de los semáforos de vehículos y peatones. Tomado de Peques Aprenden Jugando. (2022). https://www.youtube.com/watch?v=_52-5xB179I

Partes de un Semáforo Vehicular

Un semáforo vehicular está formado por cierta cantidad de componentes como son.

Cabeza. Es carcasa que contiene las partes visibles en el semáforo. Donde pueden estar ubicadas varias caras orientadas en diferentes direcciones

Soporte. Es la estructura que sujeta a la cabeza de los semáforos.

Cara. Comprende las luces que están en los semáforos, en una cara puede contener dos

Lente. Es la unidad óptica que por refracción dirige la luz proveniente de la lámpara y de su reflector en la dirección requerida.

Viseras. Es un elemento que se coloca encima o alrededor de cada una de las unidades ópticas, para evitar que, a determinadas horas, los rayos del sol incidan sobre estas y den la impresión de estar iluminadas, así como también para impedir que la señal emitida por el semáforo sea vista desde otros lugares distintos hacia el cual está enfocado.

Placa de Contraste. Incrementar la visibilidad del semáforo evitando que otras fuentes de luz confundan la señal.

Tipos de Semáforos

Esta clasificación es basada en el tipo de accionamiento de los semáforos; según accionamiento existen varios tipos como son:

Semáforos no accionados por el tránsito

semáforos semiaccionados por el tránsito

semáforos totalmente accionados por el tránsito

semáforos parcialmente accionados por el totalmente accionados por el tránsito

Sensores

Son instrumentos reconocer señales específicas dentro eventos en un medio ambiente, identificando parámetros del entorno, tales, como humedad, movimiento, temperatura entre muchas más (Balderrama, 2006, p.7).

Característica de los Sensores

Rango de Medida. Es el control en la magnitud medida en el que puede aplicarse el sensor.

Precisión. Es el error de medida máximo esperado.

desviación de Cero. Valor de la variable de salida cuando la variable de entrada es nula.

Resolución. Es la mínima variación de la magnitud de entrada que puede detectarse a la salida.

Rapidez de Respuesta. Se puede presentar en un tiempo fijo o depender de cuánto varíe la magnitud a medir.

Derivas. Son otras magnitudes, aparte de la medida como magnitud de entrada, que influyen en la variable de salida.

Repetitividad. Error esperado al repetir varias veces la misma medida.

Sensor de Proximidad

Es un captador el cual puede percibir señales que estén dentro de su rango. Actualmente existen variedad de tipos de sensores de proximidad entre ellos existen son los interruptores de posición, los detectores capacitivos, los inductivos y los fotoeléctricos.

Sensor Ultrasónico

Los ultrasonidos son antes que nada sonido, exactamente igual que los que oímos normalmente, salvo que tienen una frecuencia mayor que la máxima audible por el oído humano. Ésta comienza desde unos 16 Hz y tiene un límite superior de aproximadamente 20 KHz, mientras que nosotros vamos a utilizar sonido con una frecuencia de 40 KHz, cuyo funcionamiento básico es medir distancias (Malavé, Nevárez, Vallejo, Valdivieso, 2009, p.2).

Como lo manifestó Corpe (2026). El funcionamiento de un sensor ultrasónico estos operan bajo el principio de medir distancias mediante el cálculo del tiempo de retorno de las ondas sonoras. En este proceso, el sensor emite una onda sonora a través de un transmisor que colisiona con un objeto, haciéndolo rebotar y regresar al receptor del sensor. La medición del tiempo que tarda esta onda permite calcular con precisión la

distancia al objeto en función de la velocidad del sonido. Estos sensores presentan un margen de error reducido cuando se colocan en ángulos perpendiculares a las ondas.

Partes del Sensor Ultrasónico

A pesar de que existen muchos modelos diferentes las partes esenciales para su funcionamiento siempre son las mismas.

Emisor. Dentro del emisor encontramos un cristal piezoeléctrico que cuando se le introduce una señal eléctrica este empieza a vibrar y por consecuencia de la vibración se crea una onda de sonido que viaja hacia la dirección en que este colocado el sensor.

Receptor. El receptor básicamente hace el proceso inverso. Un cristal piezoeléctrico recibe el sonido que rebota en algún objeto o superficie y lo convierte en una señal eléctrica.

Alimentación. Sirve para hacer funcionar el sensor.

Circuito Eléctrico. Este circuito se encarga de procesar la señal y traducir el tiempo a distancia.

Sensor Ultrasónico hc-sr04

Son sensores que miden distancia, con la capacidad de detección de obstáculos y identificar distancias desde 2 a 450 cm, esto lo realiza por medio de sus pines ECHO y TRIGGER, donde uno envía una señal y el otro detecta el pulso de rebote de la señal (G Electrónica AS, 2023, p.1).

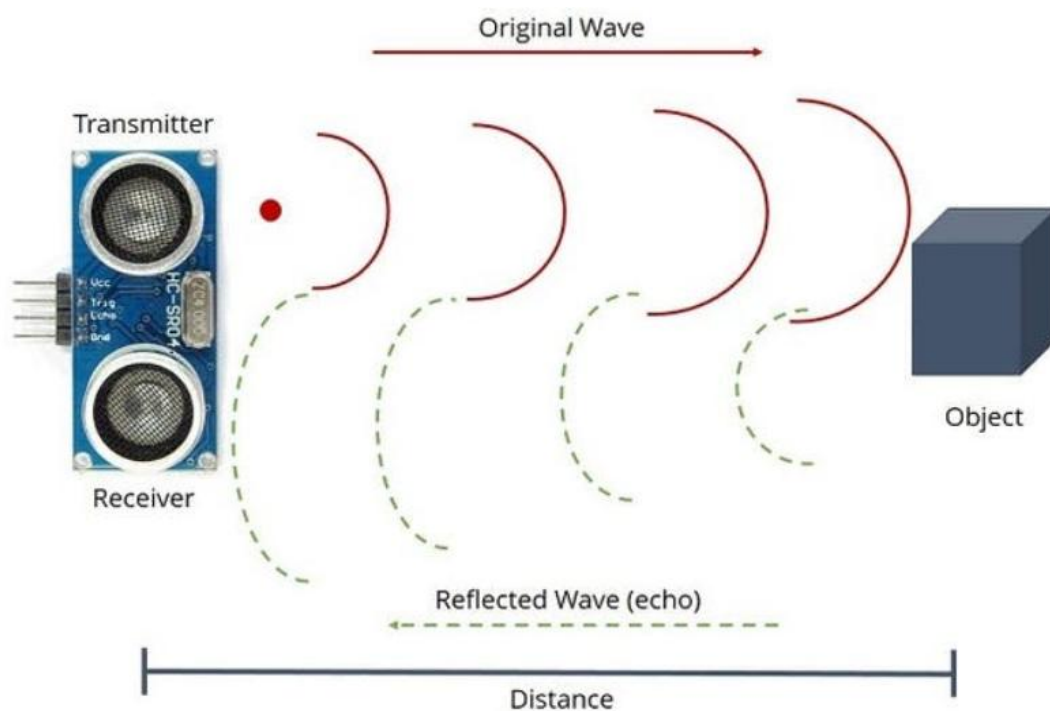
El Funcionamiento del Sensor Ultrasónico hc-sr04

El emisor piezoeléctrico emite 8 pulsos de ultrasonido(40KHz) luego de recibir la orden en el pin TRIG, las ondas de sonido viajan en el aire y rebotan al encontrar un objeto, el sonido de rebote es detectado por el receptor piezoeléctrico, luego el pin ECHO cambia

ha Alto (5V) por un tiempo igual al que demoró la onda desde que fue emitida hasta que fue detectada, el tiempo del pulso ECO es medido por el microcontrolador y así se puede calcularla distancia al objeto. El funcionamiento del sensor no se ve afectado por la luz solar o material de color negro (G Electrónica AS, 2023, p.1).

Figura 2

Funcionamiento del Sensor Ultrasónico HC-SR04



Nota. El sensor ultrasónico utiliza un sonar para determinar la distancia a un objeto. Tomado de.

Ecuarobot. (2021) <https://ecuarobot.com/2021/07/06/sensor-ultrasonico-de-siguiente-nivel/>

Pines del Sensor Ultrasónico hc-sr04

Vcc. +5V DC

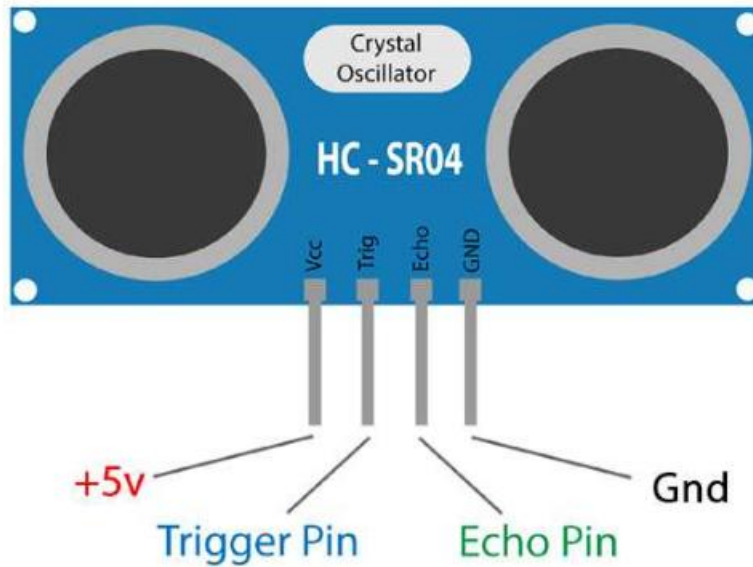
TRIG. Disparo del ultrasonido

ECHO. Recepción del ultrasonido

GND. Tierra: 0V

Figura 3

Pines Sensor del Sensor Ultrasónico HC-SR04



Nota. Los pines de funcionamiento de un sensor ultrasónico hc-sr04. Tomado de. Tecnosalva.

(2020). <https://www.tecnosalva.com/sensor-de-ultrasonidos-en-arduino/>

Características Técnicas del Sensor Ultrasónico hc-sr04

Voltaje de Operación. 5V DC

Corriente de reposo. < 2mA

Corriente de trabajo. 15mA

Rango de medición. 2cm a 450cm

Precisión. +- 3mm

Ángulo de apertura. 15°

Frecuencia de ultrasonido. 40KHz

Duración mínima del pulso de disparo TRIG (nivel TTL). 10 μ S

Duración del pulso ECO de salida (nivel TTL). 100-25000 Ms

Microcontrolador

Es un Circuito Integrado con una escala de integración muy grande que internamente contiene una Unidad Central de Procesamiento, memoria para código, memoria para datos, temporizadores, fuentes de interrupción y otros recursos necesarios para el desarrollo de aplicaciones, por lo general con un propósito específico (García, 2023, p.17). “La clave del éxito de los microprocesadores como componente electrónico reside en que, modificando el programa almacenado en memoria, puede adaptarse a numerosas y diferentes aplicaciones” (INET, 2004, p.9).

Evolución del Microcontrolador

En 1971 se lanzaron los primeros microprocesadores el primero fue el Intel 4004 de 4 bits el segundo el Intel 8008 pero por su elevado costo dividido a que ambos requerían circuitos adicionales elevaban el valor del sistema.

1974 los ingenieros de Texas Instruments Gary Boone y Michael Cochran crearon el microcontrolador TMS 1000, el cual estaba destinado a los sistemas embebidos, por que mezclaba memoria ROM, memoria RAM, microprocesador y reloj en un chip

En el año 1977 el Intel 8048 desarrolló un sistema de ordenador en un chip optimizado para aplicaciones de control, pudiendo encontrar en más de mil millones de teclados de compatible IBM PC, y otras numerosas aplicaciones y todo esto gracias al principio de TMS 1000.

En 1993, el lanzamiento de la EEPROM en los microcontroladores (comenzando con el Microchip PIC16x84) permite borrarla eléctrica y rápidamente sin necesidad de un paquete costoso como se requiere en EPROM, lo que permite tanto la creación rápida de prototipos y

la programación en el sistema. El mismo año, Atmel lanza el primer microcontrolador que utiliza memoria flash.

En el 2009 se desploma el valor de los microcontroladores de 8 bits y en los de 32 bits (INET, 2004, p.9).

Microcontrolador ESP32

Es la denominación de una familia de chips SoC de bajo coste y consumo de energía, con tecnología Wi-Fi y Bluetooth de modo dual integrada. El ESP32 emplea un microprocesador Tensilica Xtensa LX6 en sus variantes de simple y doble núcleo e incluye interruptores de antena, balun de radiofrecuencia, amplificador de potencia, amplificador receptor de bajo ruido, filtros, y módulos de administración de energía. El ESP32 fue creado y desarrollado por Espressif Systems y es fabricado por TSMC utilizando su proceso de 40 nm. Es un sucesor de otro SoC, el ESP8266 (Espressif Systems, 2025, p.2)

Características Microcontrolador ESP32

algunas de las características fundamentales del microcontrolador ESP32 son:

CPU. Xtensa® Dual-Core LX6 de 32 bits.

Memoria ROM. 448 KBytes.

Reloj. Máximo. 240MHz.

Memoria RAM. 520 Kbytes.

Memoria Flash. 4 MB;

Estándar Inalámbrico. 802.11 b / g / n.

Conexión Wifi. 2.4Ghz (máximo 150 Mbps).

Antena. integrada en el tablero.

Conector Micro USB. para comunicación y alimentación.

Wi-Fi Direct. (P2P), P2P Discovery, modo P2P Group Owner y P2P Power Management

Modos de Funcionamiento. STA / AP / STA + AP.

Bluetooth. BLE 4.2.

Puertos GPIO. 11.

GPIO. con PWM, I2C, funciones SPI, etc.

Voltaje de Funcionamiento. 4.5 ~ 9V.

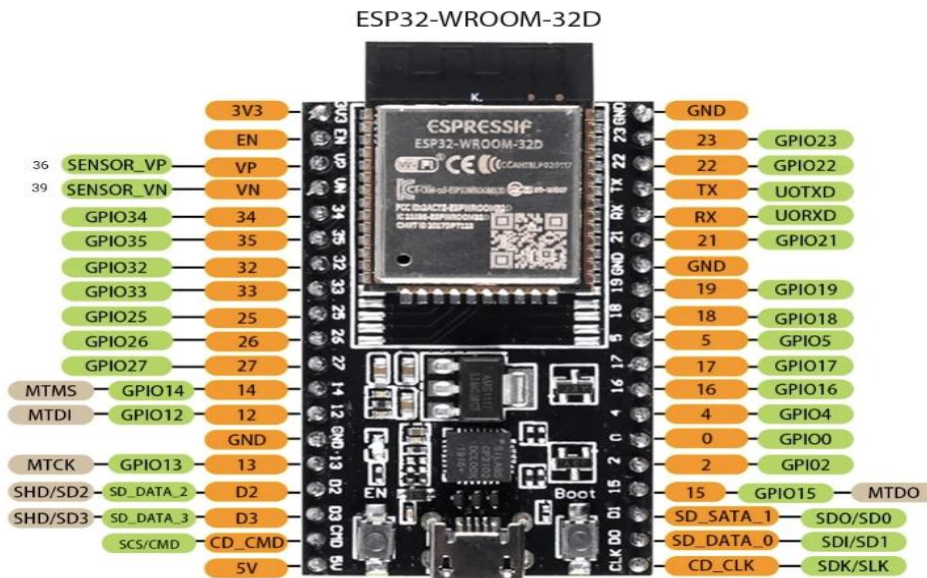
Convertidor. analógico a digital (ADC).

Pines Microcontrolador ESP32

Existen dos versiones de microcontroladores ESP32, los de 30 pines y los de 36 pines pero en general son 48 pines ya que hay unos pines que no están al servicio del usuario. En la figura 4, podemos observar la estructura de pines de un microcontrolador ESP32 de 36 pines.

Figura 4

Pines Microcontrolador ESP32



Nota. placa de 38 pines basada en ESP32. Es una tarjeta de desarrollo WIFI/Bluetooth y al igual que otras placas ESP32. Tomado de. Altronics. (2025). <https://altronics.cl/placa-esp32-38p>

Metodología

Diseño de Investigación

Como la meta de este proyecto aplicado es el diseño de un prototipo de semaforización minero inteligente que busque mejorar los tiempos muertos en el tránsito de los vehículos en la mina subterránea en el municipio de Buriticá Antioquia, se recurrió a un diseño experimental el cual se aplica por medio del método de observación directa e indirecta, dentro de las rutas viales de la mina Higabrá.

El diseño experimental estudia procesos. Puede considerarse a un proceso como una caja negra a la cual ingresan diversas variables que interactúan para producir un resultado. Las variables que ingresan al proceso se denominan variables de entrada, y el resultado, variable de salida. El nivel de la variable de salida depende de los niveles que adopten las variables de entrada, el beneficio es saber qué combinación de variables de entrada produce la variable de salida óptima (Sánchez, 2010, p.13).

La Observación Directa explicada por Díaz (2010). Cuando el investigador es espectador directo en el hecho o situación a indagar. También se puede dar si el investigador argumenta investigaciones realizadas por otras personas y esto se puede dar mediante de libros, revistas, informes, grabaciones, fotografías... siempre y cuando tengan relación con lo que estamos investigando, los cuales han sido conseguidos o elaborados por personas que observaron antes lo mismo que nosotros.

Enfoque de la Investigación

Este trabajo se diseñó bajo el planteamiento metodológico del enfoque cuantitativo, ya que este es el que mejor se adapta a las necesidades de la investigación.

Enfoque cuantitativo según Hernández, Fernández, & Baptista Lucio, (2014) dicen “Utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías”.

Técnicas de Recolección de Datos

La técnica de recolección de datos que se utilizó en el presente proyecto fue la encuesta.

Las técnicas de recolección de datos En las investigaciones, proporcionan una mayor profundidad de búsqueda, algunas de estas técnicas son la observación participante o no participante que permiten observar un proceso que requiere atención voluntaria orientada y organizada; la entrevista a profundidad con la interacción entre dos personas, una que transmite una idea y otra que recepta-responde lo planteado; el grupo focal que se centra en la pluralidad y variedad de los participantes en un espacio y tiempo corto; y la revisión documental que constituye un punto de partida que incluso puede ser el origen del tema o problema a investigar (Cisneros, Guevara, Urdánigo & Garcés, 2022, p.8).

Por lo tanto la encuesta es una de las técnicas de investigación social de más extendido uso en el campo de la Sociología que ha trascendido el ámbito estricto de la investigación científica, para convertirse en una actividad cotidiana de la que todos participamos tarde o temprano. (López, P. & Fachelli, 2016, p.5).

Instrumento de Recolección de Datos

El instrumento utilizado en este proyecto es un cuestionario elaborado con preguntas cerradas.

La encuesta realizada solo tenía 5 ítems con pregunta de tipo respuesta de selección, si o no con valor 1 para el SI y valor cero para el NO; se buscó saber la cantidad de operadores de vehículos dentro de la mina Higabrá en el municipio de Buriticá Antioquia categorizados en 4 grupos operadores de camionetas, operadores volqueta, operadores de p-bus y operadores de otro tipo de vehículos. Buscando entender lo favorable de la implementación de un semáforo minero inteligente en los tramos de la mina.

Según Hernández, S., & Duana (2020). “Las técnicas de recolección de datos comprenden procedimientos y actividades que le permiten al investigador obtener información necesaria para dar respuesta a su pregunta de investigación.”

Las preguntas cerradas contienen categorías u opciones de respuesta que han sido previamente delimitadas. Es decir, se presentan las posibilidades de respuesta a los participantes, quienes deben acotarse a éstas. Pueden ser dicotómicas (dos posibilidades de respuesta) o incluir varias opciones de respuesta (Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, M. P. B, 2000, p.217).

Población

La población de estudio se conformó por aproximadamente 200 conductores de vehículos de la mina higabra en el municipio de Buriticá Antioquia; incluyendo los conductores de las empresas contratistas que hacen parte de las labores subterráneas en la mina higabra. Debido a que la población supera los 100 conductores de vehículos se tomo una muestra

Por Carmona (2015), “La población se define como el conjunto de individuos con características comunes”.

Muestra y Muestreo

Se tomo el método de muestreo no probabilístico. Se le solicito la participación a todos los conductores de vehículos en labores subterráneas incluyendo los de las empresas contratistas de la mina higabra en el municipio de Buriticá Antioquia Colombia. La muestra se conformó con un total de 33 conductores que fueron los que quisieron participar.

Conforme con Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, M. P. B (2000); las muestras no probabilísticas, la elección de los elementos no depende de la probabilidad... Aquí el procedimiento no es mecánico ni se basa en fórmulas de probabilidad, sino que depende del proceso de toma de decisiones de un investigador o de un grupo de investigadores y, desde luego, las muestras seleccionadas obedecen a otros criterios de investigación. Se toman las unidades que estén disponible en determinado momento.

La muestra es un subgrupo de la población de interés sobre el cual se recolectarán datos, y que tiene que definirse y delimitarse de antemano con precisión, además de que debe ser representativo de la población. Las muestras se utilizan por economía de tiempo y recursos (Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, M. P. B, 2000, p.217).

Técnicas Procesamiento de Datos

La tabulación de los datos arrojados por el cuestionario que se realizó a los conductores de vehículos de la mina higabra en el municipio de Buriticá Antioquia Colombia se utilizó el programa Microsoft office Excel.

La técnica que se usó para el procesamiento de datos arrojados por la encuesta fue la estadística descriptiva.

Según Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, M. P. B (2000); la estadística descriptiva sirve para resumir un conjunto de datos mediante medidas estadísticas, gráficos o tablas. Los tipos o métodos de análisis cuantitativo o estadístico son variados y se comentarán a continuación; pero cabe señalar que el análisis no es indiscriminado, sino que cada método tiene su razón de ser y un propósito específico; por ello, no deben hacerse más análisis de los necesarios. La estadística no es un fin en sí misma, sino una herramienta para evaluar los datos.

Análisis y Resultado

A continuación se presenta los resultados obtenidos durante la fase de ejecución en prueba en campo con el prototipo físico.

Escenarios de Movilidad Vehicular en los Tramos Compartidos del Túnel Higabra, Datos de Tráfico, Factores Críticos que Generan Congestión

Descripción del tramo 0+600 m y tramo 0+840 m

El túnel de la mina higabra, es un túnel de 5x5 m de trayecto irregular que a la fecha tiene un solo acceso donde transitan los vehículos tanto de salida y los vehículos de ingreso; en sus primeros 200 m es una recta de un solo carril prácticamente, en el absisar 0+200 m se encuentra el primer bay pass ingresando el cual conecta con la absisar 0+400 m y a su vez con la absisar 0+600m que se utilizan como bay pass de salida; ósea que los carros que vienen saliendo deben entrar a la absisar 0+600m para salir a la absisar 0+200m y los vehículos que van entrando deben entrar por boca mina por la vía principal hasta la absisar 0+600m, él túnel sigue derecho 200 m más; En la absisar 0+800m el túnel hace un quiebre de 45° a la izquierda impidiendo que los conductores tengan visual completa y por ende se ocasionan los cuellos de botella; a 40 m se tiene dos galerías a la derecha la galería llamada laureles, a 10 m más adelante se encuentra a la derecha la galería llamada alimak, el túnel sigue derecho hasta el bay pass de la absisar 0+1200m el cual se usa como túnel de salida; siendo el tramo entre la absisar 0+600m y absisar 0+840m el cuello de botellas por la falta de visual de los conductores.

Condiciones Actuales de Movilidad

En la movilidad actual los tramos de las absisar 0+600 m y la absisar 0+840 m siguen siendo compartidas de doble sentido implementada tanto para los vehículos que salen como para los vehículos que entran, se maneja doble turno día y noche; en el turno día el horario

comprendido entre las 09:30 am y 12:00 pm, son las horas con mayor congestión vehicular y en turno noche el horario comprendido entre 20:30 y 00:00 am son las horas con mayor congestión vehicular; esto se debe a varios factores como son los inicios de turnos, los inicios de la rezaga en los frentes, inicio de labores de soporte y perforación en los frentes rezagados.

Según el informe reportado por el centro de control de continental Gold en el segundo semestre del año 2024 se presentaron 45 atasco donde se vio comprometida la movilidad entre la absisar 0+200 m y 0+1200 m presentando pérdidas de tiempo y de producción. Como lo podemos detallar en la siguiente grafica donde se representan por meses la cantidad de atasco con referencia a la movilidad en la absisar 0+200 m y absisar 0+1200 m. Figura 5. Cantidad de atasco por meses

Figura 5

Cantidad de Trancones por Meses



Nota. Paradas en la vía. Tomado de. informe semestral producción continental Gold. (2025).

Semáforo Apago

En la inicialización del semáforo presenta todas las balizas apagadas a la espera de la energización, por la parte del control el microprocesador y los relés están encendidos y ejecutando la orden según la señal de los sensores. Se pueden observar las balizas apagadas y la espera de su inicialización. Figura 6 semáforo apagado

Figura 6

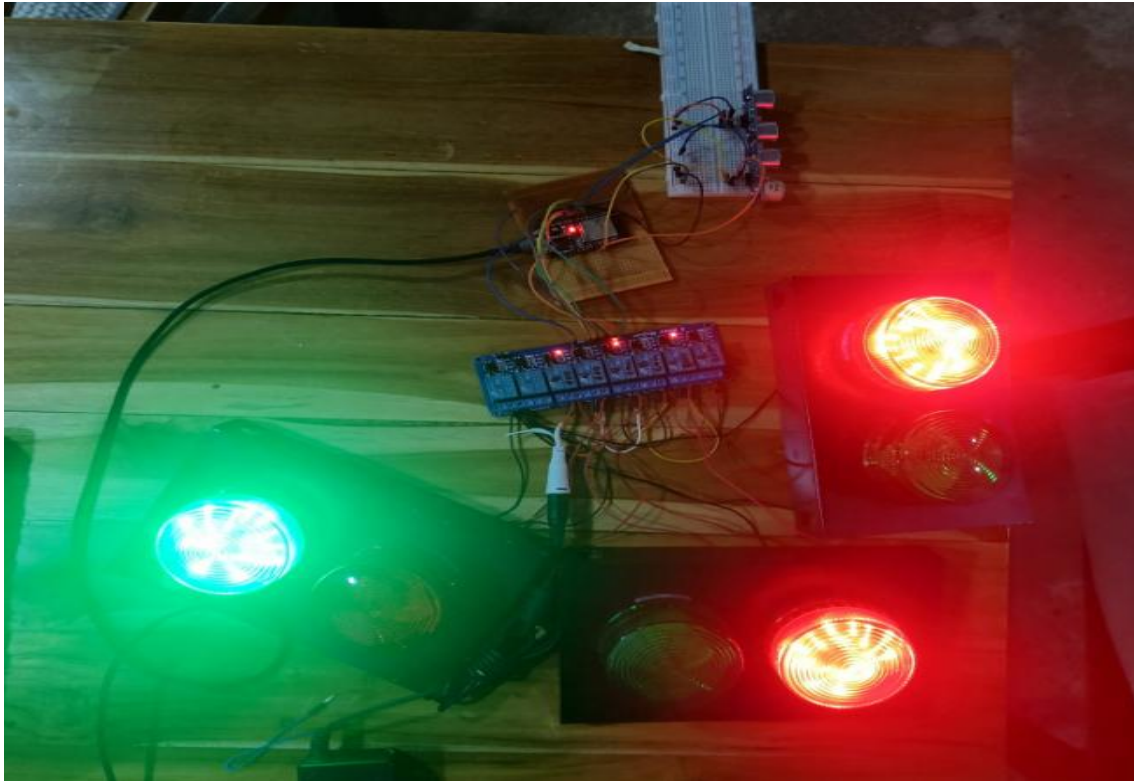
Semáforo Apagado



Nota. Prototipo de semáforo apagado.

Escenario 1 Vía Libre Para Ingreso

Escenario 1 el semáforo del 0+600m está en verde, el semáforo de la cámara de parqueo está en rojo y el semáforo del 0+840m está en rojo lo que quiere decir que no hay presencia de vehículos saliendo y que los equipos que van entrando tienen vía libre para el ingreso. Figura 7, escenario 1 vía libre para ingreso.

Figura 7*Escenario 1 Vía Libre para Ingreso*

Nota. Prototipo de semáforo funcionando escenario 1.

Escenario 2 Tiempo de Evacuación

Escenario 2 ya los sensores detectaron la presencia de vehículos saliendo se ponen los tres semáforos en rojos para darle tiempo que los vehículos que van ingresando por la mitad del recorrido tengan tiempo de evacuar o de llegar a la cámara de parqueo. Figura 8, escenario 2 tiempo de evacuación.

Figura 8*Escenario 2 Tiempo de Evacuación*

Nota. Prototipo de semáforo funcionando escenario 2.

Escenario 3 Vía Libre Para Vehículos de Salidas

Escenario 3 el semáforo 0+600m pasa a rojo, el semáforo cámara de parqueo pasa a verde y el semáforo de la 0+840m pasa a verde dándole paso a los vehículos que van saliendo. Figura 10, escenario 3 vía libre para vehículos de salidas

Figura 9

Escenario 3 Vía Libre para Vehículos de Salidas



Nota.

Prototipo de semáforo funcionando escenario 3.

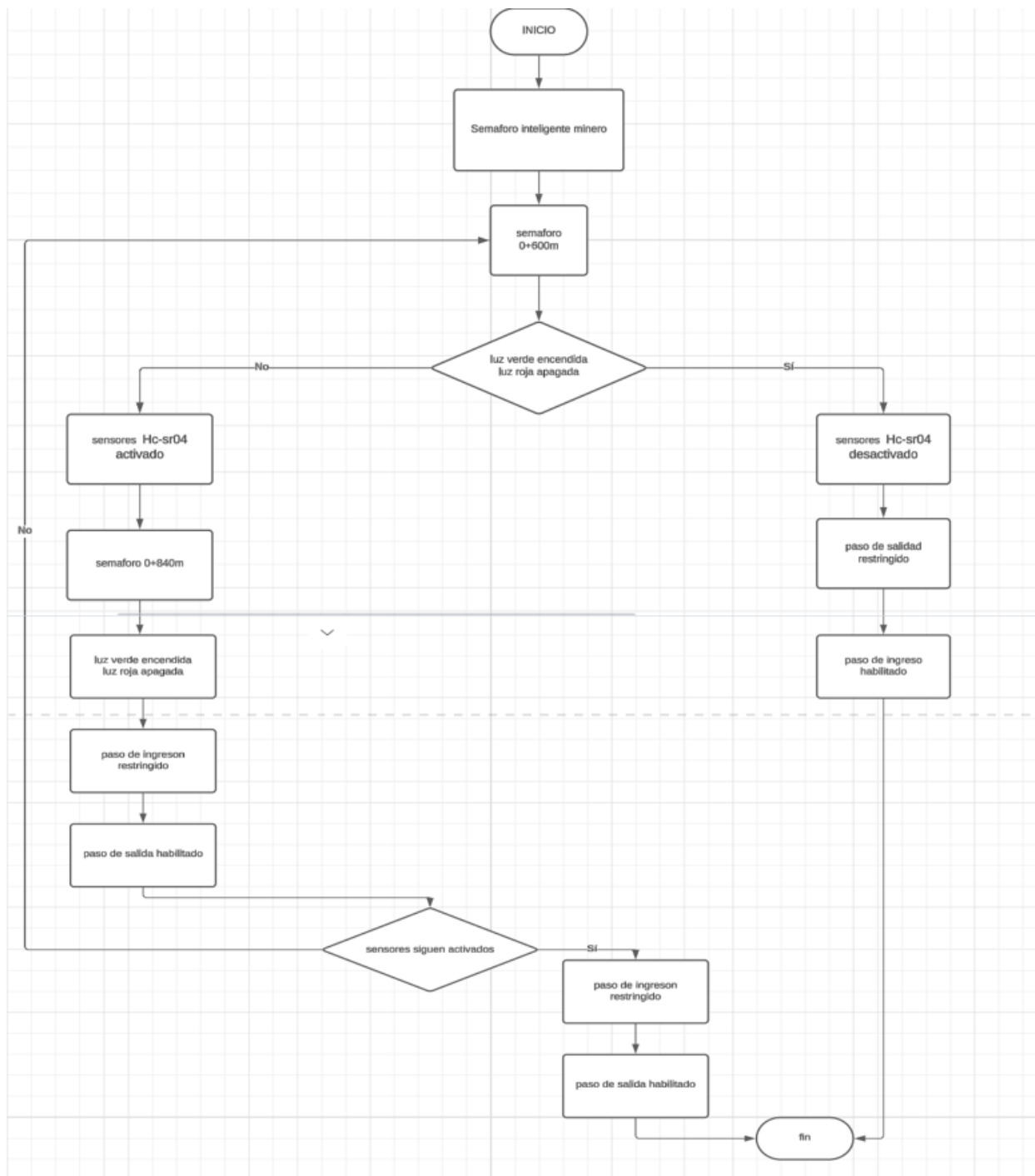
Lógica de Funcionamiento del Sistema de Semaforización Inteligente

Se logro llegar a una lógica de funcionamiento del semáforo inteligente minero, sencilla y simplificada donde el orden de funcionamiento es sistematizado por los sensores de proximidad Ultrasonico hc-sr04 en el seguimiento de unas sentencias de funcionamiento claras y precisas como esta descrito en la figura 10, Flujograma del Funcionamiento del Sistema de Semáforo Minero Inteligente; donde se explica con precisión la lógica de funcionamiento.

Link del flujograma https://lucid.app/lucidchart/ef5dcd1f-81c7-4238-afc8-354a34c2fc78/edit?viewport_loc=-493%2C-22306%2C2387%2C1061%2C0_0&invitationId=inv_aa8fdf7c-23f4-4eda-8803-8de0e8b0814a

Figura 10

Flujograma del Funcionamiento del Sistema de Semáforo Minero Inteligente



Nota. Flujograma del funcionamiento del semáforo inteligente minero.

Funcionamiento Lógico del Semáforo Inteligente Minero

Se tienen tres semáforos en tres tramos diferentes en la 0+600m que viene siendo el semáforo de ingreso, en la cámara de parqueo que es un alivio por si un vehículo esta entre los dos tramos y el semáforo de la 0+840m que es el semáforo de salida el cual tiene prelación sobre los otros dos.

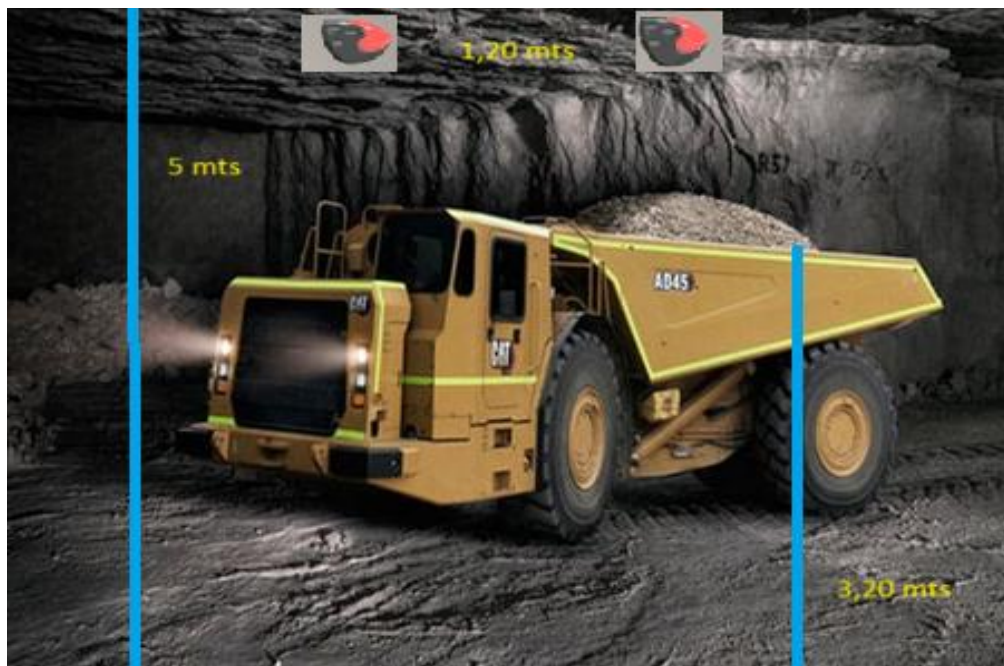
Al iniciar el semáforo de la 0+600m está en verde, el semáforo de la cámara de parqueo está en rojo y el semáforo de la 0+840m está en rojo queriendo decir que no vienen equipos saliendo y que los vehículos pueden entrar ; al momento de que un equipo venga saliendo y sea detectado por los sensores automáticamente el escenario cambia el semáforo de la 0+600m se pone en rojo, el semáforo de la cámara de parqueo en verde y el semáforo de la 0+840m en rojo dándole tiempo a los equipo que van entrando de llegar a la cámara de parqueo, luego de pasar 90 segundos; el semáforo de la 0+600m se mantiene en rojo, el semáforo de la cámara de parqueo se mantiene en verde y el semáforo de la 0+840m cambia de rojo a verde así se mantiene hasta que no haya presencia de vehículos una vez los sensores no detecten más vehículo el microprocesador cuenta 90 segundo y pasa de nuevo a su estado inicial.

Posicionamiento de los Sensores Ultrasónico Hc-sr04 en la Mina

La altura de los túneles en la mina higabra son de 5 mts, los equipos de acarreo que se utilizan son de 3,2 mts de altura. Para evitar conflictos en el tránsito peatonal el cual es grande; el proyecto se realizará con dos sensores ultrasónico los cuales van a estar separados 1,2 mts que es la medida de una cabina de camioneta, las camionetas que el equipo con menos alturas mide 1.85 mts por lo tanto se pone la condición en el programa de ≤ 3.20 mts para activar el semáforo ya que las camionetas son el equipo de menor altura que transita en el proyecto de esta forma se cubren todos los vehículos. Figura 11. Posicionamiento de sensores

Figura 11

Posicionamiento de Sensores Ultrasonico HC-SR04



Nota. Forma correcta de instalar los Sensores Ultrasonico hc-sr04.

Prototipo de Semáforo Inteligente en Condiciones Reales de Operación en Mina

Se aterriza la idea recogida en el análisis y se empieza hacer tangible el prototipo, pasando por los recursos necesarios, comprendiendo el funcionamiento de los componentes, empleando la lógica de las conexiones y necesidades técnicas de las partes.

Recursos Necesarios Para el Desarrollo del Proyecto Semáforo Inteligente Minero

En las siguientes tablas se encuentra relacionado los recursos necesarios para llevar a cabo el desarrollo del prototipo, incluyendo el valor de cada componente.

Tabla 1*Recursos Necesarios para el Desarrollo del Proyecto Semáforo Inteligente Minero*

Recurso	Descripción	Presupuesto
Equipo Humano	Se le dedicaron 7 horas por semana a la realización del proyecto. una hora de 27.000 pesos	3.780.000
Equipos y Software	Proteus y Arduino	0
Viajes y Salidas de Campo	Tiquetes en bus para toma de medidas	160.000
		40.000
	1 tarjeta Desarrollo Arduino esp32	20000
		200.000
	2 Ultrasónico Sensor	
Materiales y suministros	500m de cable en cauchutado multifilar	150.000
	3 roja Baliza Rotativa 110v	
	3 verde Baliza Rotativa 110v	150.000
	1 gabinete En Fibra De vidrio 40x60x30	
		160.000
Bibliografía	Base de datos como cielo, la referencia	0
TOTAL		4.660.000

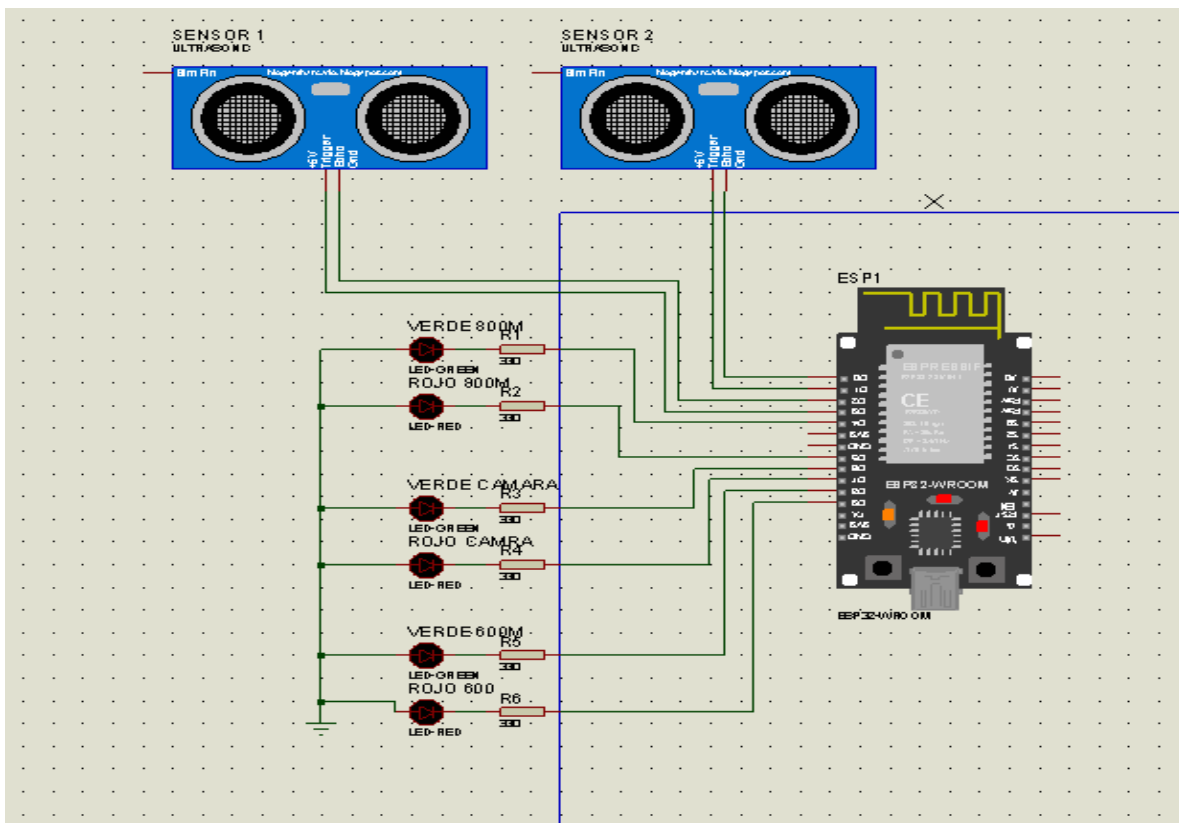
Nota. Recursos necesarios para el desarrollo del Proyecto Semáforo Inteligente Minero

El Prototipo Inicial del Semáforo Inteligente Minero

En el prototipo inicial se cuenta con un microprocesador ESP 32, dos sensores ultrasónicos, se balizas las cuales son 3 de color rojo y tres de color verde. Figura 12, boceto prototipo inicial.

Figura 12

Boceto Prototipo Inicial del Semáforo Inteligente Minero



Nota. Esquema de funcionamiento integrando todos los componentes del semáforo minero.

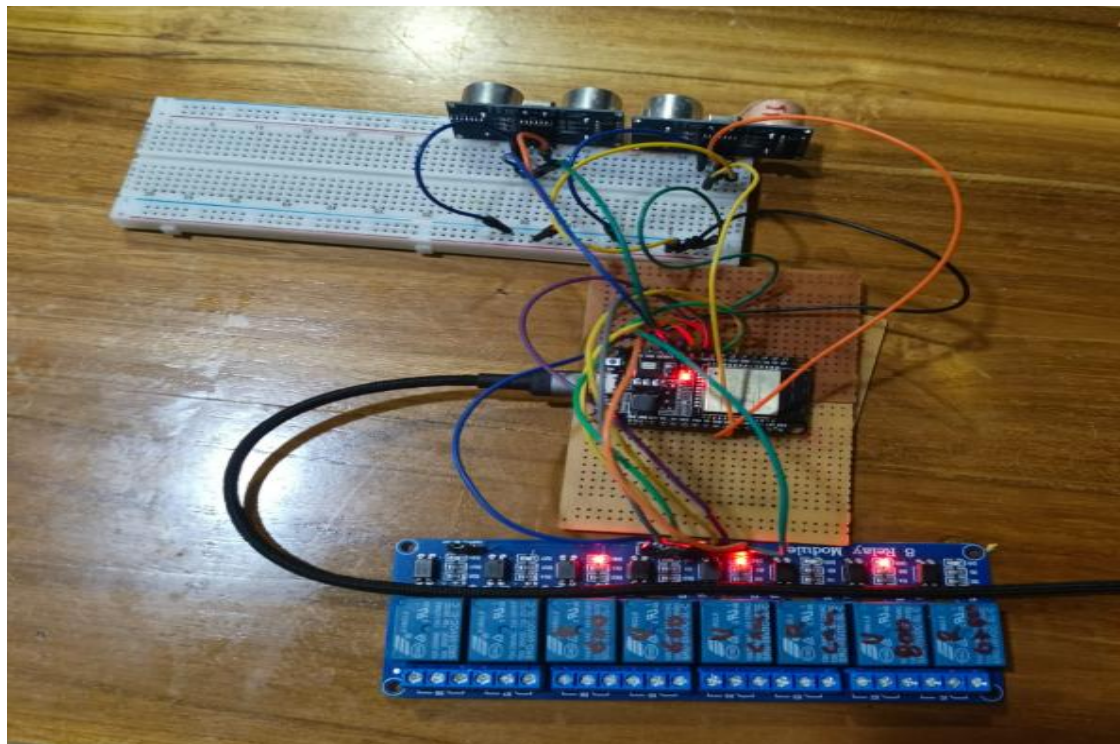
El Prototipo Físico del Semáforo Inteligente Minero

Se cuenta con un procesador ESP 32 conectado con dos sensores ultrasónicos y un circuito de 8 relés, los cuales se interconectan a su vez con 6 balizas luminosas las cuales se

encienden o se apagan a voluntad de la señal que este leyendo el microprocesador proveniente de los sensores ultrasónicos, figura 13 prototipo físico.

Figura 13

Prototipo Físico del Semáforo Inteligente Minero



Nota.

Integración física de los componentes del semáforo minero.

Para las balizas solo se tomaron dos colores fundamentales, rojo que indica parar o detenerse y verde que indica seguir o continuar; no se toma el color amarillo debido a que todos los vehiculos minero cuentan con una licuadora luminosa la cual es de color amarillo en una fila de espera esta licuadora confundiría a los conductores por esta razón solo se eligieron estos dos colores. Estas balizas se instalaron sobre una base metálica; una lámina de 20cm x 25 cm, la cual cuenta con un dobles o pestaña perforado para su instalación en sitio, las balizas se fijan a esta

lamina por medio de tornillería. Las lamina se pintó de color negro para resaltar las balizas al momento de iluminar. Figura 14 soporte de balizas.

Figura 14

Soporte de Balizas



Nota. Instalación de las balizas en la soportaría.

Algoritmos de Funcionamiento del Semáforo Inteligente Minero

El siguiente algoritmo cumple eficazmente con el principio del prototipo el cual traduce señales físicas en señales eléctricas, por medio de sensores ayudando en la movilidad según cada escenario presentado.

```
#include <NewPing.h>

#define VERDE800M 14 //se declara pin 14 como verde del 0+800m

#define ROJO800M 25 //se declara pin 25 como rojo del 0+800m

#define VERDE600M 26 //se declara pin 26 como verde del 0+600m

#define ROJO600M 27 //se declara pin 27 como rojo del 0+600m

#define VERDECAMP 33 //se declara pin 33 como verde de la cámara parqueo
```

```
#define ROJOCAMP 32 //se declara pin 32 como rojo de la cámara parqueo

int TRIG_1 = 13; // se asigna pin 13 como trig del sensor 1

int ECO_1 = 12; // se asigna pin 12 como eco del sensor 1

int TRIG_2 = 18; //se asigna pin 18 como trig del sensor 2

int ECO_2 = 19; //se asigna pin 19 como trig del sensor 2

int MAX_DISTANCIA = 550; // se declara la variable max-distancia en 550cm

int iCANTIDADV = 0; // se declara la variable contador en cero

NewPing sensor_1(TRIG_1, ECO_1, MAX_DISTANCIA);// sensor 1

NewPing sensor_2(TRIG_2, ECO_2, MAX_DISTANCIA);// sensor 2

void setup() {

  Serial.begin(115200);

  pinMode(VERDE800M, OUTPUT);

  pinMode(ROJO600M, OUTPUT);

  pinMode(VERDE600M, OUTPUT);

  pinMode(ROJO800M, OUTPUT);

  pinMode(VERDECAMP, OUTPUT);

  pinMode(ROJOCAMP, OUTPUT);

  //estado inicial: semáforo 800m rojo, semáforo 600m verde, semáforo cámara verde

  digitalWrite(VERDE600M, HIGH);

  digitalWrite(ROJO800M, HIGH);

  digitalWrite(ROJOCAMP, LOW);

  digitalWrite(ROJO600M, LOW);

  digitalWrite(VERDE800M, LOW);
```

```

digitalWrite(VERDECAMP, LOW);
}

void loop () {

    delay (15000); // se cuenta

    // se muestra por comunicación serial los valores de los sensores 1, sensores 2 y
contador

    Serial.print(" sensor1: ");

    Serial.print(sensor_1.ping_cm());

    Serial.print(" \n");

    Serial.print(" sensor2: " );

    Serial.print(sensor_2.ping_cm());

    Serial.print(" \n" );

    Serial.print(iCANTIDADV);

    Serial.print(" \n" );

    if ( ( sensor_2.ping_cm() <= 0 ) && ( sensor_1.ping_cm() <= 0 ) ) { // condición cuando
ambos sensores den valores en cero o menores de cero hacer

        delay (1000); // cuenta milisegundos

        digitalWrite(VERDE600M, HIGH); // luz verde 0+600 m encendida

        digitalWrite(ROJO800M, HIGH); // luz roja 0+800 m encendida

        digitalWrite(ROJOCAMP, HIGH); // luz roja cámara de parqueo encendida

        digitalWrite(ROJO600M, LOW); // luz roja 0+600 m apagada

        digitalWrite(VERDE800M, LOW); // luz verde 0+800m apagada

        digitalWrite(VERDECAMP, LOW); // luz verde cámara de parqueo apagada

```

```

}

if ( (sensor_2.ping_cm() <= 320) && (sensor_1.ping_cm() <= 320) ) { // cuando los
sensores 1 y 2 den valores menor o igual 320 cm hacer

    iCANTIDADV++; // contador comienza sumar

    delay (18000); // cuenta en milisegundos

    if (iCANTIDADV <= 1) { // si contador es menor o igual a 1 hacer

        for (int i = 0; i <= 6; i++) { // bucle repete hasta 6 veces

            digitalWrite(VERDE600M, HIGH); // verde 0+600m encendido

            delay (1000);

            digitalWrite(VERDE600M, LOW); // verde 0+600m apagado

            delay (1000);

        }

    }

    digitalWrite(VERDE600M, LOW); // verde 0+600m apagado

    digitalWrite(ROJO600M, HIGH); // rojo 0+600m encendido

    delay (60000);

    digitalWrite(VERDE600M, LOW); // verde 0+600m apagado

    digitalWrite(ROJO800M, LOW); // rojo 0+600m apagado

    digitalWrite(ROJOCAMP, LOW); // rojo cámara parqueo apagado

    digitalWrite(ROJO600M, HIGH); // rojo 0+600m encendido

    digitalWrite(VERDE800M, HIGH); // verde 0+800m encendido

    digitalWrite(VERDECAMP, HIGH ); // verde cámara de parqueo encendido

}

```

```
else { // de lo contrario

    iCANTIDADV = 0;// contador en cero

    delay (18000);

    digitalWrite(VERDE600M, LOW);// verde 0+600 m apagado

    digitalWrite(VERDECAMP, LOW);// verde cámara parqueo apagado

    digitalWrite(VERDE800M, LOW);// verde 0+800 m apagado

    digitalWrite(ROJOCAMP, HIGH);// rojo cámara de parqueo encendido

    digitalWrite(ROJO800M, HIGH);// rojo 0+800m encendido

    digitalWrite(ROJO600M, HIGH); // rojo 0+600 m encendido

    delay (60000);

    digitalWrite(VERDE800M, LOW);// verde 0+800m apagado

    digitalWrite(VERDECAMP, LOW);// verde cámara de parqueo apagado

    digitalWrite(ROJO600M, LOW);// rojo 0+600 m apagado

    digitalWrite(VERDE600M, HIGH);// verde 0+600 m encendido

    digitalWrite(ROJO800M, HIGH); // rojo 0+800 m encendido

    digitalWrite(ROJOCAMP, HIGH); // rojo cámara de parqueo encendido

}

}
```

Campo, Eficacia en la Reducción de Tiempos Muertos y Mejora del Tránsito

Prueba de Sistema del Semáforo Inteligente Minero en Sitio

Para la prueba en sitio se debió realizar una serie de pasos como fueron, la verificación en sitio de la parte más alta del túnel, donde se instalaron las balizas y sensores fuera del alcance de los vehículos evitando golpes y roce. Se pernaron las balizas y los sensores con chazo expansivo ½” el cual va incrustado a la roca y con pernos ½”, se fijó la lámina. La caja de control donde va el microprocesador se instaló a la mitad del trayecto de los tres semáforos ahorrando trayecto en el cableado de comunicación entre los sensores y el microprocesador ESP 32 y entre las balizas y el microprocesador ESP 32.

Se utilizó un transformador de 2kva monofásico baja a baja de 440v a 110v para poder energizar el sistema ya que la red de suministro estaba a 440v; de este punto a 110 voltio se conectaron las fuentes de suministro del semáforo la del microprocesador ESP 32 que se alimenta a 5 voltio DC y la de las balizas que se alimentan a 12 voltios DC. Una vez el semáforo estaba instalado y energizado se comenzó con la prueba de funcionamiento y calibración de los sensores, se verificó la distancia de instalación de los sensores que si estuviera en el rango de operación de los mismo, 5 m o lo que es lo mismo 500 cm.

Se tomó el tiempo en que los vehículos demoraban en pasar entre el tramo 0+840 m y entre el tramo 0+600m al principio y por la falta de sensibilización hacia los conductores se presentaron trancones, pero una vez se informó la presencia de los semáforos y realización de la prueba los vehículos fluyeron más rápidos y no se volvió a presentar más trancones en este tramo de la vía se realizaron 10 ciclos por cada escenario identificado y el sistema respondió perfectamente a lo requerido por cada semáforo, sin complicación alguna; los tiempos mejoraron

en 120 segundos por ciclo en comparación a cuando el semáforo no estaba en funcionamiento. En la tabla 3 ciclos de simulación, se relacionan los tiempos con mayor exactitud.

La prueba realizada en sitio se puede apreciar uno de los instantes en que el semáforo cambia en las **Figura 15, el semáforo** de la 0+600 m esta en verde, lo cual indica que los sensores no han detectado vehículo saliendo, por lo que se entiende que hay vía libre de ingreso.

Figura 15

Prueba de Sistema en Sitio Semáforo en Verde



Nota. Semáforo minero funcionando.

Pero al momento que los sensores detectan la presencia de un vehículo, envían la señal al microprocesador ESP 32, el cual da cambia la condición del semáforo, según lo establecido en el algoritmo y el semáforo queda en color rojo figura 16, se puede observar la interacción entre los vehículos y los sensores cumpliendo perfectamente lo planteado en el algoritmo basado en los escenarios anteriormente explicado.

Figura 16

Prueba de Sistema en Sitio Semáforo en Rojo



Nota. Segunda prueba de semáforo minero.

Validación de Resultados Obtenidos del Funcionamiento del Semáforo Inteligente Minero

Durante las pruebas en campo se observó una reducción promedio de 120 segundos en tiempos de espera por turno. El sistema respondió correctamente en 10 de 10 ciclos de simulación en cada escenario. Con se puede ver reflejado en la tabla 3.

Tabla 2

Ciclos de Simulación

	Cantidad de vehículos	Tiempo espera sin semáforo	Tiempo espera sin semáforos
Escenario 1	10	540 s	420 s
Escenario 2	10	600 s	470 s
Escenario 3	10	660 s	530 s

Nota. Se simulan los ciclos.

Conclusiones

Como resultado de la identificación de la problemática en la movilidad en los tramos 0+600 m y 0+840 m del túnel Higabra, se encontraron condiciones críticas de congestión causadas por la falta de control del ingreso y salida de los vehículos y la falta de visibilidad por la topografía de la mina. Esta caracterización permitió definir claramente los momentos y zonas de mayor riesgo de atasco, importantes para desarrollo del diseño de la solución de la propuesta.

Se elaboro la lógica de desempeño del sistema de semaforización inteligente, empleando dos sensores ultrasónicos, estableciendo las reglas básicas de funcionamiento tales como la distancia, prioridad vehicular, tiempos de espera y posicionamiento. Se realiza validación en campo de esta lógica de programación la cual fue codificada en el microcontrolador ESP32 teniendo una respuesta correcta en cada uno de los escenarios establecidos por las condiciones de la topografía de la mina.

Los componentes del prototipo fueron seleccionados y configurados de acuerdo con las condiciones físicas del túnel y las necesidades del sistema. La instalación de balizas de alta visibilidad, sensores a altura funcional y una fuente de alimentación adecuada garantizó la estabilidad del sistema durante la operación y las pruebas en sitio.

El prototipo fue implementado exitosamente en condiciones reales dentro de la mina Higabra. Las pruebas de campo demostraron que el sistema responde a los estímulos vehiculares y cambia de estado de forma lógica y ordenada. contribuyendo a disminuir los cuellos de botella, impulsando la productividad, mejora la fluidez vehicular y prolonga la vida útil de la flota vehicular.

Para fortalecer la solución propuesta, se recomienda implementar un sistema de registro de datos para cuantificar el impacto del semáforo en la reducción de tiempos improductivos. Además, se sugiere desarrollar una interfaz de monitoreo remoto para el control del sistema desde el centro de operaciones incluyendo una alarma de no operación cuando el equipo entre en falla. Adicionalmente implementar un sistema de energía alternativa basado en baterías para que funcione como sistema de emergencia en caso dado que falle el fluido eléctrico de la red A futuro, este sistema podría ser escalado a otras secciones entro de la mina y complementado con tecnologías de comunicación inalámbrica para mejorar su autonomía y flexibilidad operativa.

Referencias Bibliográficas

(S/f-b). Vrogue.co. Recuperado el 21 de agosto de 2025, de

<https://www.vrogue.co/post/semaforo-vehicular-y-peatonal-usando-tinkercad-youtube-otosection>

Alicia Jacqueline Cisneros Caicedo, Axel Fabián Guevara García, Johnny Jesús Urdánigo

Cedeño, Julio Enmanuel Garcés Bravo (2022). Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos que apoyan a la Investigación Científica en tiempo de Pandemia.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8383508>

Altronics.cl. Recuperado el 22 de agosto de 2025, de <https://altronics.cl/placa-esp32-38p>

Balderrama, C. I. E. (2006). *Reprogramación dinámica de redes inalámbricas de sensores*.

<http://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/2229>

Cadavid Agudelo, S. (2016). *Criterios para justificar semáforos de tiempo fijo*.

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/57739>

Castán, José A., Ibarra, Salvador, Laria, Julio, Guzmán, Javier, & Castán, Emilio. (2014).

Control de tráfico basado en agentes inteligentes. *Polibits*.

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S187090442014000200010&lng=s&tlng=es

Celis-Peñaranda, J. M., Escobar-Amado, C. D., Sepúlveda-Mora, S. B., Castro-Casadiago, S. A.,

Medina-Delgado, B., & Ramírez-Mateus, J. J. (2016). Control adaptativo para optimizar una intersección semaforica basado en un sistema embebido. *Ingeniería y*

Ciencia, 12(24), 169–193. [http://scielo.org.co/pdf/ince/v12n24/1794-9165-ince-12-24-](http://scielo.org.co/pdf/ince/v12n24/1794-9165-ince-12-24-00169.pdf)

[00169.pdf](http://scielo.org.co/pdf/ince/v12n24/1794-9165-ince-12-24-00169.pdf)

- Cortés Ocaña, L. G. (2014). *Coordinación de semáforos unimodales y multimodales en una red de tráfico urbano* <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/53937>
- Díaz Sanjuan, L. (2010). *Textos de apoyo didáctico: Método Clínico Clave 1303*. Facultad de Psicología, UNAM.
https://www.psicologia.unam.mx/documentos/pdf/publicaciones/La_observacion_Lidia_Diaz_Sanjuan_Texto_Apoyo_Didactico_Metodo_Clinico_3_Sem.pdf
- Elecfreaks. (2024). *Ultrasonic Ranging Module HC-SR04 Product Features*. Elecfreaks.
Retrieved from www.Elecfreaks.com
- Espressif Systems. (2025). *ESP32 Series Datasheet* (Version 5.0).
https://www.espressif.com/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
- Fernández Ibarra, L. M. (2015). *Diseño de un modelo de enrutamiento de tráfico vehicular basado en buenas prácticas de otras ciudades con problemática similar*.
<http://hdl.handle.net/11349/2781>
- G Electrónica SA PI de CV. (2023). *ULTRASONIC-HC-SR04 SENSOR DE DISTANCIA ULTRASONICO HC-SR04*. AG Electrónica SA PI de CV. Retrieved from
<http://www.agelectronica.com>
- García, J. (2023). *Introducción a los Microcontroladores*.
http://controlesdigitales.com/Libro_Felipe_Santiago/03_Cap_1_2_3.pdf
- Gutiérrez Daza, L. A., Angulo, D. A. (2022). Diseño de sistema de semáforos inteligentes para reducción de tráfico vehicular. <https://es.scribd.com/document/746225492/Diseno-metodologico-de-un-sistema-de-semaforos-int>
- Hassinger Rodríguez, M. M. (2015). *Aplicación de técnicas de minería de datos En accidentes de tráfico*. <http://hdl.handle.net/10251/65082>

- Hernández Mendoza, S., & Duana Avila, D. (2020). Técnicas e instrumentos de recolección de datos. *Boletín Científico De Las Ciencias Económico Administrativas Del ICEA*, 9(17), 51-53. <https://doi.org/10.29057/icea.v9i17.6019>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta ed.). McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. https://www.paginaspersonales.unam.mx/app/webroot/files/981/Investigacion_sampieri_6a_ED.pdf
- Herrera Herbert, Juan (2019). *Introducción a la Minería Subterránea. Vol. I: Características generales.* Introducción a la Minería Subterránea., I . Universidad Politécnica de Madrid, Madrid. <https://doi.org/10.20868/UPM.book.62723>.
<https://ddd.uab.cat/record/163567>
<https://hdl.handle.net/11059/14666>
<https://tutorica.com/blog/ia/gestion-del-trafico-con-semaforos-inteligentes/>
- Instituto Nacional de Educación Tecnológica (INET). (2004). *Microprocesadores y microcontroladores serie/desarrollo de contenidos colección/flúidica y controladores lógicos programables Fichas 1 y 2*. Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología. <http://bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL007282.pdf>
- Luís Fernando, P.-M., César Augusto, H.-S., & Danilo Alfonso, L.-S. (2013). Sistema de comunicación TCP/IP para el control de una intersección de tráfico vehicular. https://www.researchgate.net/publication/287333321_Sistema_de_comunicacion_TCPIP_para_el_control_de_una_interseccion_de_trafico_vehicular

Malavé Lindao, M. D. J., Nevárez Toledo, M. R., Vallejo Mero, P. F., & Valdivieso, C.

(2009). *Uso de matlab y simulink para el control de robots y la observación de sensores de luz y ultrasónico*. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/8123>

Minera, R. T. (2023, mayo 14). ¿Cuáles son los peligros y riesgos de una ruta vial dentro de una mina? Revista Tecnología Minera. <https://tecnologiaminer.com/noticia/cuales-son-los-peligros-y-riesgos-de-una-ruta-vial-dentro-de-una-mina-1684118227>

Minera, R. T. (2023a, mayo 3). Cómo funciona la seguridad vial en la industria minera. Revista Tecnología Minera. <https://tecnologiaminer.com/noticia/como-funciona-la-seguridad-vial-en-la-industria-minera-1683152950>

Minera, S. (2017, marzo 20). Cómo se relaciona el carguío y transporte con el resto de actividades para la extracción del mineral.

<https://revistaseguradminera.com/operaciones-mineras/el-carguio-y-transporte-y-su-relacion-con-otras-etapas-de-la-explotacion/>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Minas y Energía, & Ministerio de Transporte. (2019). Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica. Unidad de Planeación Minero Energética. <https://bibliovirtual.minambiente.gov.co/>

Ministerio de Minas y Energía. (2022, April). *Política Seguridad Minera*. República de Colombia. Bogotá D.C.

https://www.minenergia.gov.co/documents/6027/Pol%C3%ADtica_Nal.Seguridad_Minera_ajustada_vrs_MAL_29032022_2_01042022_comentario_9egb6kZ.pdf

Parra Ospina , D. (2021). *Metodología para la determinación de protocolos de comunicación a nivel industrial a partir del ancho de banda y tipo de señal eléctrica*.

Ramos, L., Oblitas, R., & Zuñiga, A. (2018). *Diseños experimentales para el estudio de la corrupción: Conceptos e investigaciones claves*.

<https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/132965>

Salvador, I. M. (2020, abril 24). *Sensor Ultrasónico HC-SR04*. Blog Arduino, LabVIEW y Electrónica. <https://electronicamade.com/sensor-ultrasonico/>

Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, M. P. B. (2000). *Metodología de la investigación* (6a. ed.). (6.a ed.). McGraw-Hill Education.

https://www.paginaspersonales.unam.mx/app/webroot/files/981/Investigacion_sampieri_6a_ED.pdf

Sánchez Alvarracín, C. M. (2010). *Diseño experimental y elaboración de bloques de conglomerado madera-cemento*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/2629>

Simón Carmona, Y. (2015). *Diseño de encuestas y muestreo en la encuesta de población activa*. <http://hdl.handle.net/10835/3648>