

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA



**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN PROTOTIPO SCADA
PARA GESTION DEL TRAFICO VEHICULAR**

PRESENTADO POR:

SALVADOR AMARU FLORES FLORES

RENE BALTAZAR LUCERO MARTINEZ

GUILLERMO ANTONIO MOLINA ESCOBAR

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

CIUDAD UNIVERSITARIA, JULIO 2019

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

MSc. CRISTOBAL HERNAN RIOS BENITEZ

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCON SANDOVAL

SECRETARIO:

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA

DIRECTOR:

ING. ARMANDO MARTÍNEZ CALDERÓN

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO ELECTRICISTA

Título:

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN PROTOTIPO SCADA
PARA GESTION DEL TRAFICO VEHICULAR**

Presentado por:

SALVADOR AMARU FLORES FLORES

RENE BALTAZAR LUCERO MARTINEZ

GUILLERMO ANTONIO MOLINA ESCOBAR

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

ING. WERNER DAVID MELENDEZ VALLE

SAN SALVADOR, JULIO 2019

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

ING.WERNER DAVID MELÉNDEZ VALLE

ACTA DE CONSTANCIA DE NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, viernes 12 de julio de 2019, en la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 4:30 p.m. horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

1. Ing. Armando Martínez Calderón
Director
2. MSc. José Wilber Calderón Urrutia
Secretario


Firma


Firma



Y, con el Honorable Jurado de Evaluación integrado por las personas siguientes:

- ING. WERNER DAVID MELENDEZ VALLE
(Docente Asesor)
- ING. MARVIN GERARDO JORGE HERNANDEZ
- ING. ARMANDO MARTÍNEZ CALDERÓN


Firma


Firma


Firma

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO SCADA PARA GESTIÓN DEL TRÁFICO VEHICULAR

A cargo de los Bachilleres:

- FLORES FLORES SALVADOR AMARU
- LUCERO MARTÍNEZ RENÉ BALTAZAR
- MOLINA ESCOBAR GUILLERMO ANTONIO

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final: 8.7

(OCHO PUNTO SIETE)

Abstract

Currently, there is a growing problem at the national level with respect to the number of vehicles that circulate through the road infrastructure (streets, avenues, traffic lights, road information, etc.) and the capacity of said infrastructure to meet the need of transit of vehicles. This condition is known as vehicular congestion.

The objective of this research is the vehicle system as a possible solution to the problem of vehicular traffic, a technological approach, low cost alternatives, open source and modern technologies, with control, monitoring and data acquisition schemes.

One way to better understand the magnitude of your problem and its true impact is to define a topic of attention, behavior problems, schedules, critical factors that affect vehicle traffic and effects on the economy and health.

En la actualidad, existe una creciente problemática a nivel nacional con respecto a la cantidad de vehículos que circulan por la infraestructura vial terrestre (calles, avenidas, semáforos, indicaciones viales, etc) y la capacidad que tiene dicha infraestructura de satisfacer la necesidad de transito vehicular. Esta condición es conocida como congestión vehicular.

El objetivo de la presente investigación es diseñar sistema como una posible solución a la problemática del tráfico vehicular, desde un enfoque tecnológico, con alternativas de bajo costo, código abierto y tecnologías modernas, con esquemas confiables de control, monitoreo y adquisición de datos.

A manera de comprender más la magnitud del problema y su impacto verdadero, se define a grandes rasgos aspectos importantes de dicha problemática, como características, comportamiento, horarios críticos, factores ambientales que inciden en el tráfico vehicular y efectos secundarios sobre economía y la salud.

Resumen

En la presente tesis se plantea el diseño y desarrollo de un prototipo de sistema de control de unidad de semáforos y adquisición de datos ambientales, con el objetivo de aportar una solución de bajo costo y Open Source para la creciente problemática de congestión de las zonas metropolitanas de El Salvador.

El capítulo primero es la fundamentación teórica de los conceptos relacionados en las distintas etapas del sistema de control, adquisición de datos y del comportamiento del sistema vehicular, así como las características de las tecnologías utilizadas en la actualidad a lo que sistemas de recopilación y procesamientos de datos se refiere, también se exponen normativas propuestas por organismos internacionales para los sistemas de control basados en sistemas SCADA y monitoreos de tráfico vehicular.

El capítulo segundo consta de una descripción técnica del sistema y del ‘¿porqué?’ las tecnologías elegidas para conformar el sistema (sistema de sensores, microcontroladores, SBC, electrónica, etc), una descripción de las conexiones entre cada etapa, (protocolos de comunicaciones, medios de transmisión de datos) y las especificaciones técnicas de la carcasa del sistema.

La descripción del sistema comienza por la etapa de adquisición de datos, mediante sensores de temperatura, contaminación acústica, medidor de polución, proporcionan los datos de las variables ambientales y las variables de tránsito vehicular son proporcionadas mediante una cámara y el reconocimiento filmográfico a través del procesamiento digital de la señal de video.

La segunda etapa trata sobre el envío de datos mediante el uso de transceptores y/o enlace radio al sistema central, medio de transmisión, programas requeridos y el orden de la información.

La tercera etapa describe las características del centro de control, el software utilizado para desarrollar la de la Interfaz Humano Máquina y los criterios utilizados para el desarrollo. En el capítulo tercero plantea el uso de los resultados obtenidos del uso del sistema para

realizar predicción del comportamiento del sistema de mediciones, gráficos y datos del sistema, se plantean conclusiones sobre la factibilidad de la implementación en los semáforos de la ciudad de San Salvador, sugerencias, mejoras y presupuestos.

La primera parte es sobre los resultados obtenidos de la prueba de campo, describimos la prueba, analizamos los datos y realizamos conclusiones de los datos obtenidos.

La segunda parte trata sobre proyecciones sobre el uso del sistemas, posibles implementaciones en otros tipos de mecanismos de control vehicular y posible impacto de la implementación del sistema.

Yo Guillermo Antonio Molina Escobar, agradezco de todo corazón:

A MIS PADRES: Christian Guillermo Molina Hernández y Silvia María Escobar Molina por ser mi apoyo fundamental en el cumplimiento de esta meta, quienes demostraron amor incondicional en cada paso desde mi nacimiento.

A MI HERMANO: Christian Fernando Molina Escobar, que estuvo en todo momento pendiente del desarrollo de mi trabajo de graduación, acompañándome en las alegrías y tristezas que todo reto representaba, haciendo más amenos los momentos de mayor complicación.

A MIS COMPAÑEROS DE TESIS: Salvador Amaru Flores Flores y René Baltazar Lucero Martínez, por ser compañeros de trabajo excepcionales, con cualidades y talentos únicos sin los cuales no hubiera sido posible culminar el trabajo de graduación, gracias por el esfuerzo y la perseverancia invertida, estoy seguro que serán excelentes profesionales.

A MI ASESOR: Ing. Werner David Meléndez por tener siempre la capacidad de vislumbrar los métodos correctos a seguir, además de brindarnos en todo momento las herramientas e ideas esenciales para lograr este gran triunfo.

Yo, René Baltazar Lucero Martínez, luego de culminado mi proceso de educación profesional no me queda más que agradecer a mi pequeña familia, en especial a mi padre René Antonio Lucero, a mi madre Élide Noemí Martínez de Lucero y a mi abuelo Rodolfo Mancía, quienes me formaron desde el inicio de mi vida, con amor y razón, siempre recalcando la importancia del estudio, me acompañaron emocional y económicamente durante toda mi carrera y se los agradezco infinitamente, también quiero hacer una mención especial a mi abuela Nora Martínez Rubio con quien todo era amor y risas y que sé que está muy feliz por mí desde el cielo, y mis dos hermanas Yessenia Beatríz Lucero Martínez y Marisela Noemí Lucero Martínez quienes me inspiran a salir adelante.

Quiero agradecer a mis compañeros de tesis Salvador Amaru Flores Flores quien me ayudó en los momentos más difíciles de mi carrera, de quien he aprendido mucho y que a pesar de mis fallos no dejó de creer en mí y una mención especial a su familia, a Guillermo Antonio Molina Escobar que en los momentos en los que el proceso educativo era complicado me daba los ánimos para no rendirme y encontrábamos la solución a los problemas cuando me contagia de su buena actitud.

Agradecer también a los profesores que me acompañaron en el proceso educativo, todos y cada uno de ellos en la facultad de ingeniería y en la facultad multidisciplinaria de occidente, una mención a los catedráticos de la escuela de ingeniería eléctrica que aportaron a mis conocimientos en las distintas ramas, una mención especial al ingeniero Werner David Meléndez asesor de tesis y catedrático de ‘Sistemas de Comunicaciones’ que me enseñó a trabajar duro, las experiencias vividas gracias a él fueron la mejor forma de prepararse para la vida laboral que estoy viviendo y que viviré como ingeniero, al Doctor Carlos Eugenio Martínez catedrático de ‘Análisis de Señales’ quien resaltó de entre todos los catedráticos por su preocupación y empeño por el aprendizaje de sus alumnos, su cátedra fue la guía para consolidar la relación entre la ingeniería y el mundo de los números que desde pequeño me ha interesado tanto, al MCs Wilber Armando Calderón catedrático de Diseño y Desarrollo de Aplicaciones Electrónicas, cuya materia terminó de definir mi pasión por la electrónica, nunca olvidaré esas jornadas larguísimas en el laboratorio en las cuales aprendí que si algo va a funcionar debemos esforzarnos al máximo para que las cosas salgan bien.

Yo Salvador Amaru Flores Flores.

Quiero empezar agradeciendo a mis padres José y Adela que me apoyaron incondicionalmente a lo largo de mi carrera y me enseñaron a no rendirme frente la adversidad, siempre dar lo mejor de mí para construir con mis manos y mi corazón un mejor país. A mis hermanos María, José y Karen que me brindaron todo su amor y apoyo sin dudarlos.

A mi Asesor el ing. Werner Valle, le agradezco profundamente haber tenido la paciencia con nosotros a lo largo de todo el proceso y darnos las herramientas fundamentales para poder desarrollar el tema de la investigación.

A mis compañeros de tesis Guillermo Antonio y Baltasar Lucero por haber aportado todo su esfuerzo, dedicación al desarrollo de este proyecto, por haber sido muy buenos compañeros y sobre todo mis grandes amigos a lo largo de toda nuestra carrera.

A los catedráticos de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, por seguir compartiendo sus conocimientos y por procurar la excelencia académica aun con los escasos recursos que la escuela posee.

A mis compañeros de la Asociación de Estudiantes de Ingeniería Eléctrica, con los que luchamos hombro con hombro por construir espacios para el desarrollo académico, gracias a ellos comprendí que no existe mejor profesional que el que aporta para ver crecer a los demás.

Gracias, Totales!

NzEwMzIwNDMwMTUwMjIwRDEwMTIwMzcwMDcyMDE1MDAyNjA0MTA0Mg0K

ÍNDICE

Introducción	11
Planteamiento del problema	13
Formulación del problema	14
Justificación	15
Hipótesis	16
Objetivos	17
Objetivo General.	17
Objetivos Específicos.	17
Trabajos previos	18
Sistema de mapa Sinóptico de monitoreo de semáforos.	18
Cronología	18
Sitramss	18
Dirección de planificación vial de la obra pública	18
Trabajos de ingeniería.	19
BASE TEÓRICA Y GENERALIDADES DEL PROYECTO	21
1.1 Conceptualización del tránsito vehicular.	22
1.1.1 Definiciones del tráfico vehicular.	22
1.1.2 Factores de congestiónamiento.	22
1.1.3 Relación de tiempo y eficiencia FCV	23
1.1.4 Problema económico aportado por el tráfico vehicular.	27
1.1.5 Efecto del congestiónamiento vehicular en la salud pública y el medio ambiente.	27
1.2 Conceptos básicos de sistemas de control automático	29
1.2.1 ¿Qué es un sistema de control?	29
1.1.2. Sistemas de control en la actualidad.	31
1.3 Electrónica y transductores	32
1.3.1 Microcontroladores	32
1.3.2 Sensores	33
1.3.3 Plataformas de desarrollo	36
1.3.4 Actuadores	37
1.4 Interfaz humano máquina	38
1.4.1 Usos comunes de HMI	39
1.4.2 Node.js	40

1.4.3 OpenCV	40
1.4.4 Normas relacionadas al desarrollo de un sistema SCADA	41
1.4.5 Análisis de Normativas	43
1.5 Protocolos de comunicación.	44
1.5.1 RS-232	44
1.5.2 RS-485	45
1.5.3 I2C	46
1.5.4 Modbus	48
1.5.5 AX.25	48
1.5.6 TCP/IP	49
1.5.7 MQTT	50
1.6 Sistemas y medios de telecomunicación de datos	50
1.6.1 Packet Radio	50
1.6.2 Linux/GNU	51
1.6.3 Raspbian	52
1.6.4 Xastir	52
1.6.5 TNC PI	53
SOLUCIÓN PROPUESTA DEL PROBLEMA	54
2.1 Resumen y descripción general del sistema	55
2.2 Sensores ambientales	56
2.2.1 De contaminación acústica	56
2.2.2 Sensores de Polución	58
2.2.3 Sensor de temperatura	59
2.2.4 Reconocimiento de vehículos por cámara	61
2.4 Microcontrolador	63
2.4.1 Características de Atmega328PU	63
2.4.2 Alimentación	64
2.4.3 Programación	65
2.5 Unidad de procesamiento del Driver.	66
2.5.1 Raspberry Pi 3 Model B+	66
2.5.2 Sistema operativo	66
2.6 Protocolos de comunicación y Medios de transmisión de datos	67
2.6.1 Protocolos de comunicación y medios de transmisión locales.	67
2.6.2 Transmisión de datos por medio de Radioenlace	68
2.6.3 Transmisión de datos por medio de internet.	70
2.6.4 Transmisión de datos utilizando Fibra óptica.	71
2.6.5 Transmisión de datos por medio de par trenzado.	72
2.7 Estación Maestra.	72

2.7.1 Interfaz gráfica	72
2.7.2 Interfaz de control.	73
2.7.3 Plataforma de control.	74
2.8 Base de datos	78
ANÁLISIS DE RESULTADOS, PROYECCIONES Y CONCLUSIONES.	80
3.1 Prueba de prototipo.	81
3.1.1 Descripción de la prueba.	81
3.2 Análisis de resultados.	83
3.2.1 Análisis de características asociadas.	88
3.3 Proyecciones del sistema.	90
3.3.1 Implementación en materia de seguridad.	91
3.3.2 Implementación en mediciones ambientales para salud pública.	92
3.3.3 Implementación de medición del impacto ambiental.	92
3.3.4 Implementación de nuevas tecnologías de control vehicular.	93
3.3.5 Implementación para conceptos Smart City.	93
3.4 Conclusiones	95
ESQUEMÁTICOS, DATOS Y CÓDIGO.	97
A.1 Glosario técnico	98
A.2 Circuitos	102
A.3 Códigos	106
Código de openCV para detección de vehículos	106
Código para crear la clase Vehículos	111
BIBLIOGRAFÍA	115

Introducción

En la actualidad el incremento del número de vehículos que circulan a nivel nacional se encuentra en el punto más alto de la historia de El Salvador (2019), esto implica en otros aspectos el incremento de problemáticas ya existentes como el congestionamiento vehicular y nuevas problemáticas indirectas en materia de salud como afecciones respiratorias por el aumento de la polución en el aire y las afecciones auditivas producidas por la contaminación acústica producto del incremento del tráfico vehicular, además de las diferentes problemáticas económicas que establece la poca eficiencia en el tránsito vehicular. La propuesta del presente trabajo de investigación y desarrollo consiste en dos partes, la primera, en desarrollar una herramienta digital (SCADA Supervisión, Control y adquisición de Datos) que permita establecer un monitoreo de las diferentes vías terrestres a nivel nacional y así lograr la adquisición de las variables del medio ambiente como los niveles de polución, contaminación acústica, temperatura, además el conteo de vehículos, que permita modificar las condiciones lógicas de operación de los semáforos en tiempo real. La segunda parte consiste en el desarrollo de una terminal física (RTU Unidad Terminal Remota) de medición y control de las unidades de semáforos instaladas en las intersecciones, que tenga capacidad de comunicación por radio enlace, comunicación por par trenzado con protocolo RS-485 y comunicación por internet con protocolos TCP/IP.

De esta manera es importante tomar en cuenta los sistemas y mecanismos implementados en otros países por parte de las autoridades, investigaciones desarrolladas por organismos académicos en materias de Smart City y tráfico vehicular, con el objetivo de hacer viable económica y tecnológicamente la implementación de la propuesta.

El avance de las tecnologías y normativas internacionales permite desarrollar propuestas de soluciones de bajo costo y de código abierto, dando la oportunidad a que estas no sea únicamente solución a parte del problema o el problema completo y si no aporten información del comportamiento del tráfico vehicular, cantidad de contaminación y demanda de flujo entre otros.

Planteamiento del problema

La alta densidad del tráfico vehicular que se experimenta en algunas ciudades de El Salvador y los mecanismos desactualizados e inadecuados de control/gestión del mismo, inciden en el colapso que se experimenta frecuentemente en el tráfico vehicular en las zonas metropolitanas de El Salvador. Como se podría inferir, el problema, así como su posible solución(es), son complejos; no obstante, cualquier propuesta que se haga, deberá tomar en cuenta la integración de tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC), especialmente en el contexto del concepto “Smart City”. Además el mundo está pasando por la Cuarta Revolución Industrial, la cual se caracteriza por fusionar mundos físico, digital y biológico, por lo que es necesario que el desarrollo de dicha tecnología en nuestro país se vea aplicado en las áreas más fundamentales del acontecer económico como es la infraestructura vial.

Formulación del problema

En El salvador el sistema de tráfico vehicular colapsó en gran medida por la desactualizada e inadecuada infraestructura de control, adquisición de datos y la falta de un sistema de control centralizado que permita realizar modificaciones autónomas y en tiempo real del comportamiento de dicha infraestructura permitiendo así un óptimo desempeño del flujo vehicular

Justificación

Los problemas derivados de la gestión inadecuada del tráfico vehicular, requiere de aportes de muchas disciplinas al interior de la UES que contribuyan a su solución, el presente trabajo busca contribuir en dicha línea, proponiendo la adaptación de tecnologías de bajo costo que puedan coadyuvar en el fortalecimiento de la gestión del tráfico vehicular utilizando modelos SCADA, sensores de proximidad de bajo costo, software de uso libre y las interfaces de usuario que sean necesarias, todo dentro del marco normativo correspondiente.

Las tecnologías implementadas actualmente en el país en lo que respecta a la gestión de tránsito vehicular, si bien en alguna medida es confiable, carecen de controles centralizados y capacidad de dar respuesta autónoma, para lo cual es fundamental plantear la incorporación de nuevas tecnologías a la infraestructura existente, que ayuden a resolver la problemática del tráfico vehicular y aporten datos de interés para otros rubros como la salud y el cuidado al medio ambiente.

Hipótesis

La actual infraestructura que sustenta el tránsito vehicular en el área metropolitana de San Salvador no cuenta con un sistema de control centralizado, ni con la capacidad de modificar sus parámetros en función del incremento variable del tráfico vehicular a distintas horas del día, despachando las luces de semáforo con un sistema de tiempo de encendido y apagado simple sin ningún tipo de realimentación, descoordinado con los semáforos adyacentes del mismo **“Sistema Vehicular”** culminando en un colapso del tráfico vehicular.

Objetivos

- **Objetivo General.**

- Construir un prototipo de monitoreo y control de bajo costo, para la gestión del flujo vehicular, tomando en cuenta las variables de velocidad y cantidad de vehículos, así como la normativa aplicable.

- **Objetivos Específicos.**

- Identificar metodologías de medición de las variables y constantes fundamentales, que interactúan en el sistema de tráfico vehicular.
- Desarrollar bajo el modelo SCADA, el sistema de monitoreo y control de las variables a utilizar, así como los sistemas y/o componentes que correspondan.
- Implementar un sistema de comunicación inalámbrico u óptico para establecer de manera remota un intercambio de información entre las unidades de control e Interfaz humano máquina.
- Construir un sistema de almacenamiento de datos para la gestión estadística del comportamiento histórico del flujo vehicular y variables ambientales.

Trabajos previos

En la investigación previa al desarrollo de este documento se logró identificar algunos intentos por parte de los organismos nacionales de resolver el problema del sistema de tránsito vehicular a través de sistemas de control, de monitoreo y otros proyectos similares, los cuales se mencionan a continuación.

Sistema de mapa Sinóptico de monitoreo de semáforos.

Cronología

1. Pertenecía a la policía hasta poco después de los acuerdos de paz (1992)
2. Pasó a formar parte del MOP para tener el control de los semáforos.
3. Con el Establecimiento del VMT Se conformó la unidad de Semáforos y fue trasladado a dicha unidad, donde se mantiene hasta la actualidad.
 - a. Dicho sistema de Mapa Sinóptico, se encuentra desfasado y con al menos 10 años de inoperatividad.
 - b. Cuenta con un sistema de 8 cámaras de seguridad en intersecciones claves, el cual se encuentra en al menos 10 años de inoperatividad.

Sitramss

1. Posee un sistema de control sobre los semáforos a través de los que pasa la línea de autobuses.
2. Control de posicionamiento de unidades de transporte.
3. Sistemas de cámaras de vigilancia.
4. Señalización de tiempo de espera.

Dirección de planificación vial de la obra pública

- 1) Estaciones permanentes monitoreo de densidad vehicular.
 - a) Velocidad
 - b) Tamaño de Vehículo
 - c) Cantidad de carros

- 2) Conteo nacional de tránsito, cada 3 años (estaciones semi permanentes de 7 días y temporales de 24 horas).

Trabajos de ingeniería.

A Continuación se describen los proyectos de ingeniería que fueron pieza fundamental del desarrollo de esta tesis

Ciclo-II 2017

“Estudio de factibilidad de implementación de tecnologías SCADA/TIC’s a la gestión de tránsito vehicular al área metropolitana de San Salvador.

Investigación realizada con el objetivo de analizar las normativas, estándares, proyectos y convenciones académicas existentes en materia de Smart City y la posible implementación de dichos conocimientos en el área metropolitana de San Salvador.

Ciclo-I 2018

“Propuesta de mejora a la unidad de control de los semáforos del viceministerio de transporte utilizando hardware de bajo costo”.

Investigación y diseño teórico de un sistema de control como propuesta solución parcial a la problemática del congestionamiento vehicular en las distintas áreas metropolitanas de San Salvador.

“Diseño de un sistema de sensores que permita ampliar las capacidades de la red de semáforos de El Salvador”.

Un análisis de los sensores que se deben de utilizar en un proyecto de control y adquisición de datos, con criterios de relación precio/precisión.

Ciclo-II 2018**“Diseño y construcción de prototipo de control para unidades de semáforo Tipo Driver, con aplicación SCADA”.**

Implementación de un sistema SCADA para control de semáforos que permita controlar datos y leer condiciones de operación de los sistemas de control del semáforo.

CAPÍTULO 1

BASE TEÓRICA Y GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 Conceptualización del tránsito vehicular.

1.1.1 Definiciones del tráfico vehicular.

Congestionamiento Vehicular:

Según la Comisión Económica de América Latina y el Caribe (CEPAL)¹ el congestionamiento vehicular consiste en la obstrucción parcial o completa de una vía de tránsito vehicular entorpeciendo o deteniendo por completo el flujo de vehículos, dicho lo anterior se puede identificar los factores de congestionamiento.

Las siguientes definiciones son extraídas del Reglamento General de Tránsito y Seguridad Vial de El Salvador vigente 2019²

Boca-Calle: es la línea imaginaria que separa el crucero de la vía .

Calle: se denominará la vía urbana limitada en la posición topográfica de Oriente a Poniente para efectos reglamentarios.

Avenida: se denomina la vía urbana cuya posición topográfica esté determinada en los rumbos de Norte a Sur.

Calle o Avenida de doble vía: es aquella por donde el tránsito puede realizarse en ambas direcciones.

Centro del Crucero: es el punto de intersección de los ejes de dos o más vías que se cruzan.

Crucero o Intersección: es el espacio que forman dos vías o más que se entrecruzan.

Decibelio o Decibel: unidad de medida para expresar la intensidad de un sonido, correspondiente a la décima parte del bel, que es la unidad de potencia sonora.

1.1.2 Factores de congestionamiento.

Los factores de congestionamiento vehicular son aquellos elementos que interactúan con el sistema de tránsito y que pueden pertenecer o no a dicho sistema, pero que interrumpen el

¹ La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales

² Reglamento general de tránsito y seguridad vial de El Salvador.

flujo en la vía vehicular, estos pueden ser de origen animal, origen medio ambiental, de origen de acción humana o de funcionamiento del sistema de tránsito vehicular.

Los factores de origen animal, están relacionadas con la acción de cruce de animales por la vía vehicular por ejemplo el cruce de una manada de ganado vacuno, la circulación de perros por la vía vehicular.

Los factores medio ambientales, están relacionados a los fenómenos naturales como por ejemplo, la lluvia que al disminuir la visibilidad, reduce la velocidad del tránsito vehicular o las fuertes rafagas de viento que pueden provoca la caída de un árbol sobre la vía obstruyendo parcial o completamente el paso.

Los factores producidos por la acción humana, están relacionados al desarrollo económico o de interacción social del diario vivir de los seres humanos, como por ejemplo un choque entre vehículos que puede obstruir parcial o completamente el paso vehicular, la instalación de luminarias en el alumbrado público que requiere al menos interrumpir el paso en un carril vehicular.

Los factores producidos por el funcionamiento del sistema de tránsito vehicular se relacionan al desempeño de la infraestructura, tecnología y la respuesta que ésta presenta frente a la demanda de tránsito vehicular a la que es sometida, como por ejemplo la obstrucción de la vía vehicular producto del mal funcionamiento de los semáforos o la coordinación no variable de los semáforos de una cruz calle.

1.1.3 Relación de tiempo y eficiencia FCV

Para poder analizar en esencia la problemática de congestionamiento vehicular, se debe de comprender la componente más fundamental y a partir de dicha componente avanzar a describir relaciones más complejas dentro de la problemática.

El congestionamiento vehicular desde un punto de vista matemático, es la relación del tiempo mínimo que nos tomaría transitar por un determinado recorrido vehicular a una velocidad constante (límite de velocidad), sin obstrucciones ajenas a la infraestructura vehicular, con condiciones climáticas óptimas (Tiempo Ideal) y el tiempo que nos toma con las condiciones reales de tránsito (Tiempo Real), a esta relación la llamaremos Factor de Congestionamiento Vehicular (FCV).

$$FCV = \frac{Tr}{Ti}$$

donde:

Tr = Tiempo real de transito vehicular.

Ti = Tiempo ideal de tránsito vehicular.

El tiempo ideal de tránsito vehicular puede ser calculado con las características de construcción de la calle o medido de la misma, se debe de tomar en cuenta la distancia, la velocidad inicial debe de ser igual a la velocidad final y durante todo el recorrido, la velocidad debe ser constante exceptuando casos en los que los límites de velocidad lo exijan (autopistas, calles, zonas escolares, túmulos, redondeles, etc.) en dicho caso se deberá de tomar en cuenta la desaceleración y aceleración de los vehículos, si existe uno o varios semáforos en el recorrido deberá o deberán de ser idealizados en verde para el cálculo.

El tiempo real de transito vehicular no puede ser calculado, debe de ser medido en repetidas ocasiones y posteriormente debe de ser analizado de manera estadística, relacionando la hora del día, el día de la semana y las condiciones climáticas.

Al determinar la relación de tiempo el FCV facilita la comprensión del comportamiento del tráfico vehicular, permitiendo hacer comparaciones estadísticas con distintas condiciones de operación del sistema.

La eficiencia en el sistema de tránsito vehicular se puede ver reflejada en el tiempo que a un vehículo le toma recorrer la vía de un punto A a un punto B, un sistema eficiente tendrá valores FCV cercanos a 1, entre mayor que 1 sea el FCV el sistema será menos eficiente.

Ejemplo

En la imagen de referencia se puede observar el recorrido a lo largo de la 49 Av. Sur, que inicia en la intersección de la Av. los Andes y la 49 Av. Sur ubicada en las proximidades de metrocentro y metrosur, terminando en la convergencia de la 25 Av. Norte, Calle San Antonio Abad y la 49 Av. Sur

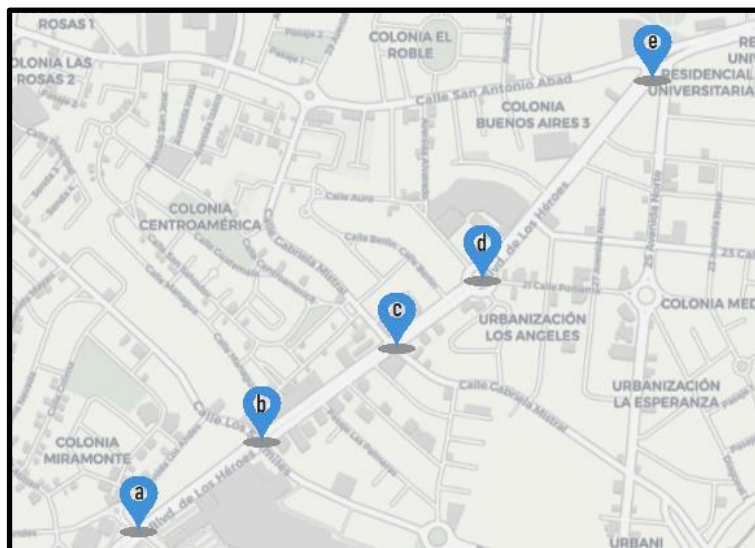


Imagen de referencia [Figura 1].

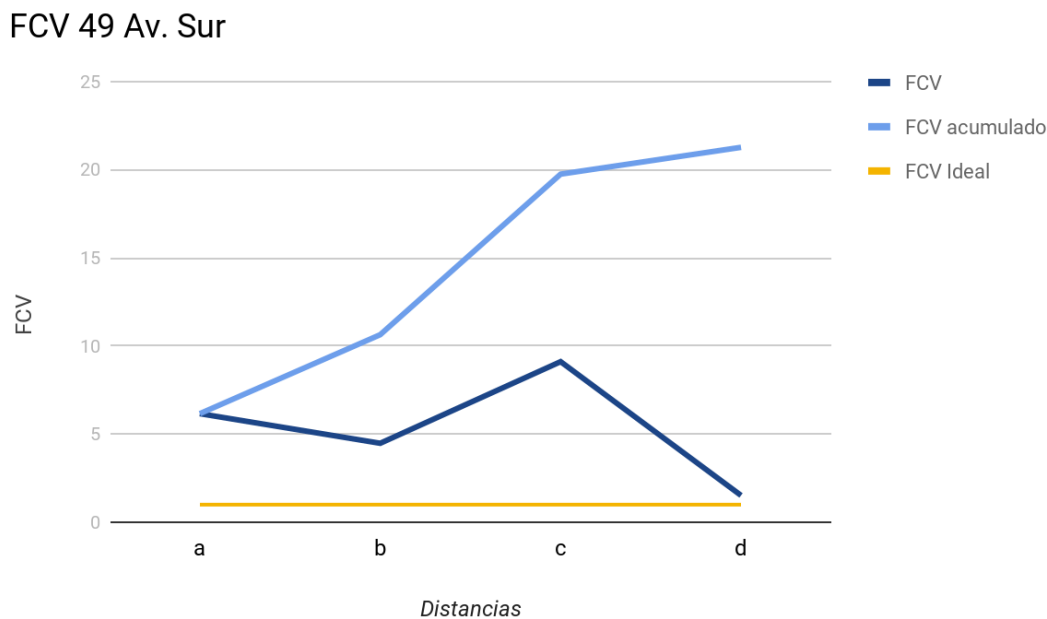
En la tabla siguiente se pueden observar los datos calculados para el tiempo ideal suponiendo una velocidad de 50km/h (límite legal en esos tramos) y los datos ficticios del tiempo real a una determinada hora, con condiciones climáticas ideales.

Distancia	Distancia	Ti	Tr	FCV	FCV Acumulado
a - b	343m	25s	154s	6.16	6.16
b - c	375m	27s	121s	4.48	10.64
c - d	236m	17s	155	9.11	19.75

d - e	651m	46s	70s	1.52	21.27
-------	------	-----	-----	------	-------

Datos de FCV de la 49 Av. Sur. [Tabla 1]

El siguiente gráfico permite apreciar algunas características importantes del recorrido en el sistema elegido para la prueba, como por ejemplo del FCV acumulado se puede identificar fácilmente que el tramo **b - c** es el menos eficiente en lo que se refiere al recorrido, de igual forma podemos ver que el tramo **d - e** es el que menos tiempo adicional aporta al recorrido siendo este el más eficiente.



Datos de FCV de la 49 Av. Sur. [Gráfico 1]

Como se pudo observar en el ejemplo anterior del gráfico del FCV, es posible obtener información del comportamiento de un sistema de tránsito vehicular, lo que permite estimar tiempos adicionales de recorrido, los puntos más ineficientes del sistema y los tramos más óptimos.

En otros capítulos de la presente tesis se retomara el uso de estos datos para implementar una solución al problema de congestión vehicular.

1.1.4 Problema económico aportado por el tráfico vehicular.

De Acuerdo con el informe FAL No. 170³ publicado en el 2000 por parte de la CEPAL, se reconoce el congestionamiento vehicular con un problema que afecta la economía en diferentes niveles, debido que el congestionamiento vehicular se puede considerar como un estado ineficiente del comportamiento del tránsito vehicular lo que infiere un mayor consumo de combustible, tiempo adicional para poder llegar de un punto a otro, impacto ambiental y el efecto en la salud pública que implica mayor gasto por parte del estado.

Es un hecho conocido que consumo de combustible es mayor en ciclos de arranque y en procesos de aceleración, en el congestionamiento vehicular

Según los datos de la La dirección de Hidrocarburos y Minas del Ministerio de Economía (MINEC) en el 2018 El Salvador consumió 574,361,396 galones combustible con una factura total de \$1,588.9 millones, lo representa un gasto del %5.49 del PIB (según el FMI 28,929 millones PIB 2018), lo que infiere que cierta parte del gasto nacional es aportado por el consumo poco eficiente en el congestionamiento vehicular.

1.1.5 Efecto del congestionamiento vehicular en la salud pública y el medio ambiente.

Es un hecho conocido que el Dióxido de carbono producto de la combustión de gasolina de los vehículos es uno de los principales factores contaminantes del medio ambiente,

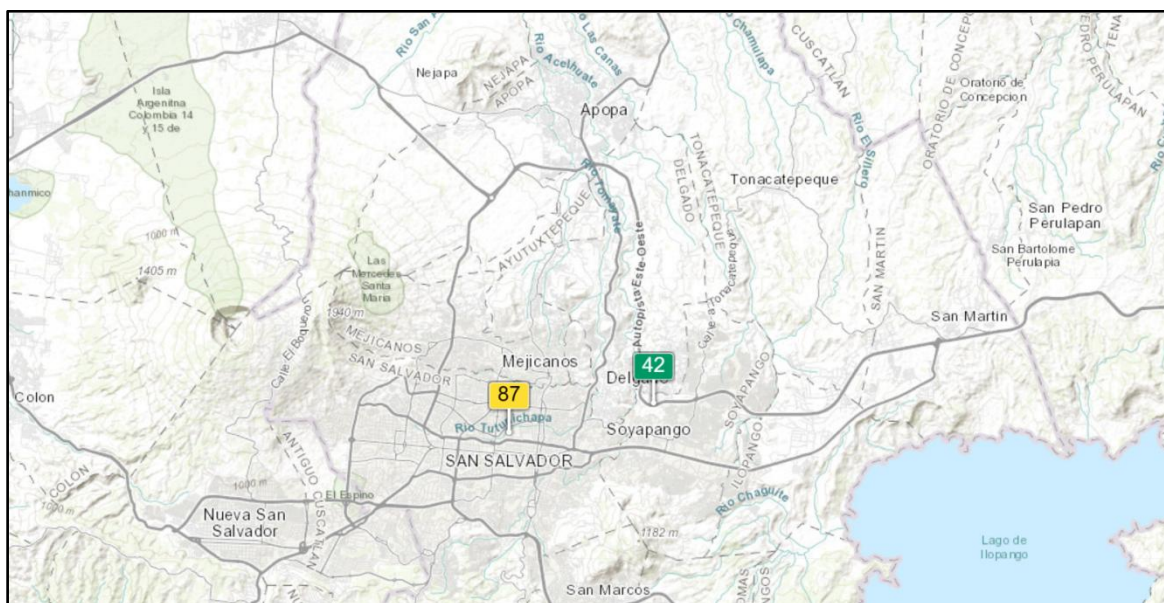
Según el informe de la Organización Mundial de la Salud (OMS) Reseña de la evidencia sobre la salud de los aspectos de la polución en el aire⁴, en dicho informe se ha hecho del conocimiento público un conjunto de efectos de la polución poco conocidos por la sociedad

³Boletín FAL No. 170 - Octubre 2000

⁴Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP World Health organization (WHO)

civil como por ejemplo las enfermedades respiratorias en los niños, la arteriosclerosis, diabetes, problemas en las funciones cognitivas y desarrollo neuronal.

Lo que ha llevado a la OMS replantearse los niveles de contaminación y polución permitidos en regiones metropolitanas, en El Salvador el Ministerio Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) tiene un sistema llamado Red de Monitoreo de Calidad de aire (REDCA) El cual tiene como objetivo realizar mediciones sobre la calidad del aire, dicho sistema cuenta únicamente con 3 puntos de medición ubicadas en el área metropolitana de San Salvador.



Mapa del MARN sobre polución [Figura 2]

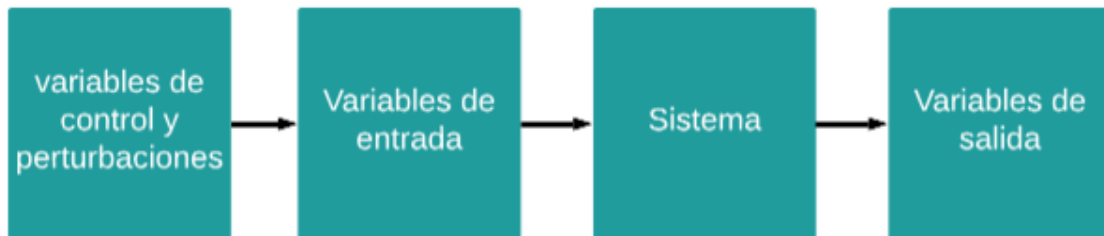
Los datos aportados por el MARN basados en el REDCA no son suficientes para poder realizar un mapa del comportamiento de la polución en el área metropolitana de San Salvador, lo impide realizar una evaluación del impacto ambiental y el efecto del tráfico vehicular en la población en general.

1.2 Conceptos básicos de sistemas de control automático

1.2.1 ¿Qué es un sistema de control?

Un sistema dinámico se define como un conjunto de tecnologías que recibe variables de entrada (normalmente eléctricas) y un determinado grupo de acciones externas (normalmente mecánicas), cuya respuesta a estas son las denominadas variables de salida, estando estas últimas en función de las variables de entrada y la lógica programada del sistema.

Las acciones externas al sistema se dividen en dos grupos, variables de control, las cuales se pueden manipular, y perturbaciones, sobre las que no es posible ningún tipo de control.



Esquema básico de un sistema de control [Figura 2].

Un sistema de control se caracteriza por contar con una serie de elementos (como actuadores y sensores) que permiten influir en el funcionamiento del sistema. El fin de un sistema de control es conseguir, mediante la manipulación de las variables de control, un dominio sobre las variables de salida. Un sistema de control debe ser capaz de conseguir su objetivo cumpliendo los siguientes requisitos:

1. Ser estable y ser robusto frente a perturbaciones frente a variables del ambiente que pueden afectar su funcionamiento como la temperatura, las vibraciones y contaminación por partículas.

2. Ser eficiente en la medida de lo posible, según un criterio coherente y preestablecido. Estos criterios versan sobre el control de las variables de salida sin afectar el funcionamiento del sistema sin generar, por ejemplo, oscilaciones.
3. Implementabilidad segura y que conste de monitoreo por computadora.

Los elementos básicos que forman parte de un sistema de control y permiten su manipulación son los siguientes:

Sensores. Permiten conocer los valores de las variables medidas externas e incluso internas del sistema por medio de la conversión de una variable física (variable medida) a una variable que el sistema pueda procesar con facilidad (normalmente eléctrica).

Controlador. Utilizando los valores determinados por los sensores y la consigna impuesta, calcula la acción que debe aplicarse para modificar las variables de control en base a cierta estrategia, físicamente los controladores se ven materializados con los microcontroladores y/o computadoras.

Actuador. Es el mecanismo que ejecuta la acción calculada por el controlador y que modifica las variables de control.

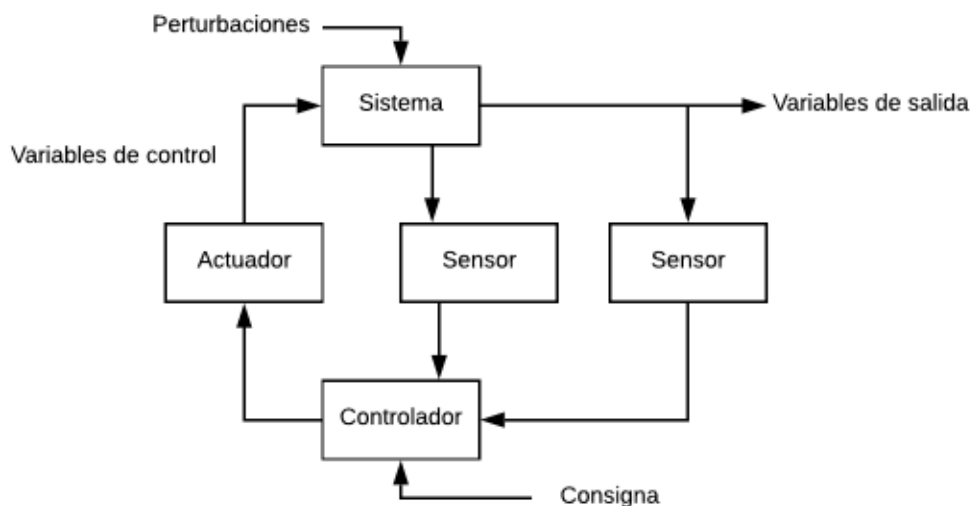


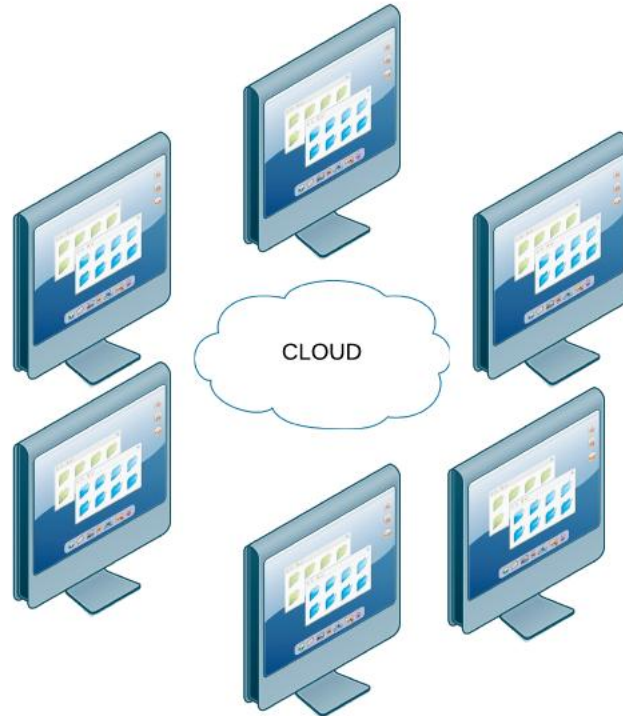
Imagen Esquema general de un sistema de control [Figura 3]

1.1.2. Sistemas de control en la actualidad.

En esta nueva era tecnológica la electrónica es la manera emergente y poderosa de implementar sistemas de control, existiendo la comunidad de Open Source, los desarrolladores de tecnologías en las universidades se pueden apoyar en proyectos de bajo costo para la implementación integrada de un sistema de control y así incluido dentro del mismo, distintos sistemas y protocolos de comunicación, guiando este tipo de investigaciones al concepto del Internet de las Cosas (IoT).

Sin embargo, lo anterior mencionado sule las necesidades de censados de variables, es necesario integrar el concepto de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICS) entrando en un nivel informático para la creación de sistemas de redes de computadoras por medio de las cuales se pueda establecer el flujo de datos.

La interconexión de computadoras para el tráfico de datos consta de un considerable soporte en la actualidad gracias al despliegue de nuevos protocolos como TCP/IP y las tecnologías integradas que permiten hacer uso de dichos protocolos como lo es la famosa RaspBerry Pi.



Centralización de redes de computadoras con la Red global [Figura 4]

1.3 Electrónica y transductores

1.3.1 Microcontroladores

En sus orígenes, los sistemas de control eran meramente analógicos y su diseño se lograba mediante modelados matemáticos que relacionan variables de entrada, de estado y de salida, estos sistemas se siguen utilizando en aplicaciones las cuales las variables de salida y las variables de entrada pueden relacionarse directamente mediante un proceso físico intermedio y controlado; sin embargo el desarrollo y proliferación de los microcontroladores han permitido el uso y desarrollo de sensores y actuadores que utilizan variables digitales, estos en conjunto permiten el diseño y creación de sistemas de control que utilizan sensores y actuadores como periféricos y un microcontrolador como procesador de datos.

Un estándar de las tecnologías digitales en la actualidad es la lógica transistor transistor o TTL, la cual, consta de componentes electrónicos que utilizan transistores bipolares en sus

entradas y salidas; la mayoría de los microcontroladores que se comercializan en la actualidad utilizan esta tecnología por lo cual no hay mayor dificultad a la hora de interconectar sensores y demás componentes electrónicos que también cuenten con el estándar TTL.

1.3.2 Sensores

Un sensor o captador, es un dispositivo diseñado para recibir información de una magnitud del exterior y transformarla en otra magnitud, normalmente eléctrica, que seamos capaces de cuantificar y manipular.

Dichas magnitudes pueden ser físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación. Las variables de instrumentación pueden ser, por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, movimiento, pH, etc.

Es importante el monitoreo de variables ambientales dentro de las ciudades para la prevención de variaciones dañinas para la sociedad, estas variables junto con las variables de tránsito vehicular pueden ser recolectadas por sensores, procesadas por microcontroladores y adicionalmente almacenadas y tabuladas en bases de datos.

Dentro de las características de los sensores se encuentran las siguientes:

- Precisión: es el error de medida máximo esperado.
- Rango de medida: la magnitud medida en la que puede aplicarse el sensor.
- Sensibilidad de un sensor: la variación de la magnitud de entrada.
- Resolución: mínima variación de la magnitud de entrada que puede apreciarse a la salida.
- Rapidez de respuesta: puede ser un tiempo fijo o depender de cuánto varíe la magnitud a medir.

- Repetitividad: error esperado al repetir varias veces la misma medida.

Lo importante al momento de diseñar un sistema de control de tránsito vehicular y cualquier sistema de control es pensar en las variables que es útil conocer del medio y asignar un tipo de sensor especializado para cada variable en particular, a continuación, se citan algunos sensores que pueden ser útiles para la realización de un sistema de control de tránsito vehicular.

Sensores piezoeléctricos: Se aprovecha de un material el cual cambia su resistencia con respecto a la presión mecánica que se ejerce en él, esto permite percibir una señal eléctrica proporcional, la perturbación mecánica que se le ejerce, al comparar esa señal eléctrica generalmente con otro sensor colocado a mayor distancia, se puede calcular la velocidad del objeto que lo presionó, los sensores piezoeléctricos más especializados son capaces de determinar incluso el peso del objeto.

Sensores ultrasónicos: Los sensores ultrasónicos son interruptores electrónicos que trabajan sin contacto. La parte emisora genera pulsos de sonidos muy fuertes dentro del rango del ultrasonido, El ultrasonido son ondas acústicas cuya frecuencia está por encima de la capacidad de audición del oído humano (aproximadamente 20,000 Hz). Cuando un objeto se desplaza e interrumpe los pulsos sónicos genera una perturbación que puede ser captada por el sensor y convertida en señal eléctrica.

Sensores ambientales (de polución): Son sensores químicos que cuentan con 2 etapas, la primera es un receptor que se encarga de reconocer o filtrar el componente que se desea medir y la segunda parte que consta de un transductor que se encarga de convertir la señal química en señal eléctrica.

Sensores acústicos: Conformados principalmente por un micrófono el cual permite la conversión de una señal acústica en eléctrica. Se pueden aplicar diversos principios a su realización siendo la más común la combinación de fenómenos mecánico-acústicos y su conversión electromecánica. Para poder ser comparado en una escala es necesario leer el nivel de ruido en decibelios los cuales representan la potencia del sonido. Con el objeto de

prevenir y controlar la contaminación ambiental originada por la emisión de ruidos en el municipio de San Salvador y según calificación del lugar otorgada por la Oficina de Planificación del área metropolitana de San Salvador- OPAMSS- los Niveles Máximos Permisibles (NMP) de ruidos provenientes de fuentes fijas y fuentes móviles en situación estacionaria medidos en el lugar donde se encuentre el receptor, serán los siguientes:

Zona	Horario	NMP dB (A)
Habitacional, hospitalaria Educación e instituciones	06.01-22:00 hrs	55
	22.01-06:00 hrs	45
Industria y comercio	06.01-22:00 hrs	75
	22.01-06:00 hrs	70

Niveles máximos permisibles de contaminación acústica según la OPAMSS [Tabla 2].

Todo ruido que sobrepase los niveles máximos señalados, para los efectos de esta ordenanza se considera ruido contaminante, sujeto a sanción.

Sensores de temperatura: la temperatura es una de las variables más importantes en todo sistema pues nada escapa de las leyes de la termodinámica y esta afecta en gran medida por el gasto energético del sistema, también debe tomarse en cuenta la temperatura del ambiente en el que el sistema implementado trabajará, para esto hay sensores de temperatura de muchos tipos, existe desde algo muy sofisticado como lo es un termómetro infrarrojo hasta una resistencia variable con la temperatura (mucho más baratas) llamadas termistancias.

Sensores de luz: de igual manera existen sensores de luz especializados con la capacidad de medir la luz en distintas frecuencias, como luz infrarroja y transformarla al dominio eléctrico, pero también existen fotorresistencias que cambian su resistividad debido a la presencia y ausencia de fotones de distintas gamas para tener a disposición la correcta según las características propias del sistema.

1.3.3 Plataformas de desarrollo

RaspBerry PI

La Raspberry pi es un cpu de placa reducida o placa simple de bajo costo, su sistema operativo es Raspbian una versión adaptada de Debian, el cual es un software de código abierto, aunque también es posible instalarle Windows. La Raspberry pi cuenta con varios modelos con diferentes capacidades, pero en general cada modelo posee puertos usb para periféricos, puerto Ethernet y en los modelos más recientes tenemos capacidad Wifi y bluetooth. Posee una ranura para microSD la cual será la memoria ROM del sistema además de memoria RAM especificada según el modelo.

Existe una gran comunidad que desarrolla tecnología de software y hardware libre que es compatible con la raspberry pi como aplicaciones para el reconocimiento facial, escaneo 3D, control meteorológico, etc.



Raspberry Pi [Figura 5]⁵.

Arduino

Arduino es una plataforma de desarrollo basada en una placa electrónica de hardware libre que incorpora un microcontrolador re-programable y una serie de pines hembra, los que

⁵Recuperado de <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>

permiten establecer conexiones entre el microcontrolador y los diferentes sensores y actuadores de una manera muy sencilla (principalmente con cables dupont).

Una placa electrónica es una PCB (“PrintedCircuitBoard”, “Placa de Circuito Impreso” en español). Las PCBs superficies planas fabricadas en un material no conductor, la cual consta de distintas capas de material conductor. Una PCB es la forma más compacta y estable de construir un circuito electrónico. Así que la placa Arduino no es más que una PCB que implementa un determinado diseño de circuitería interna, de esta forma el usuario final no se debe preocupar por las conexiones eléctricas que necesita el microcontrolador para funcionar, y puede empezar directamente a desarrollar las diferentes aplicaciones electrónicas que necesite.



Plataforma de desarrollo Arduino [Figura 6]⁶

1.3.4 Actuadores

Un actuador es una parte física que ejecuta la acción determinada por el sistema de control, puede ser un relé en un sistema de baja potencia o un PLC cuando se necesita manejar considerables cantidades de corriente, criterios como la corriente a controlar, velocidad de

⁶Recuperado de <https://ditecnomakers.com/la-familia-arduino/>

respuesta, vida útil, temperatura de operación, etc son las variables que determinan los criterios para hacer funcionar un actuador.

1.4 Interfaz humano máquina

Una interfaz hombre-máquina (HMI, human machine interface por sus siglas en inglés) es una interfaz de usuario o panel de control que permite la interacción de una persona con una máquina, sistema o dispositivo. Si bien el término puede aplicarse técnicamente a cualquier pantalla que permita a un usuario interactuar con un dispositivo, el HMI se usa más comúnmente en el contexto de un proceso industrial.

Aunque HMI es el término más común para esta tecnología, a veces se le conoce como Interfaz hombre-máquina (MMI), Terminal de interfaz de operador (OIT), interface de operador local (LOI) o Terminal de operador (OT). La HMI y la interfaz gráfica de usuario (GUI) son similares pero no son sinónimos: las GUI a menudo se aprovechan dentro de las HMI para capacidades de visualización.

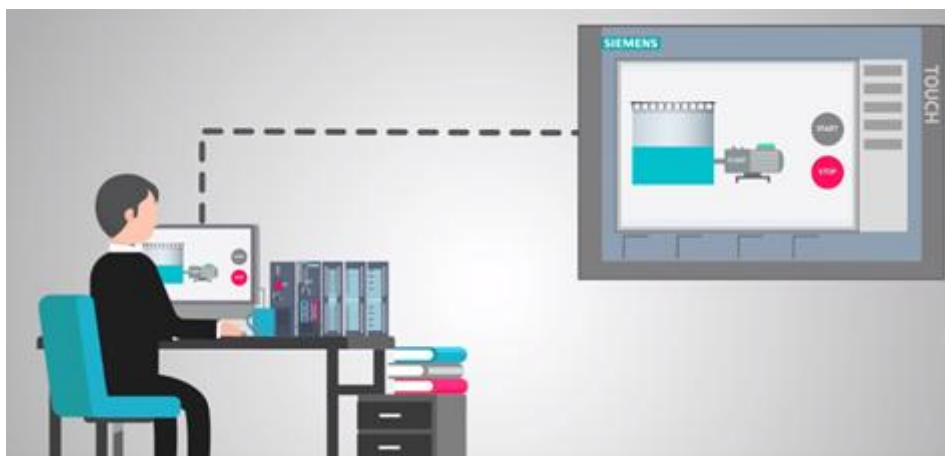
En entornos industriales, las HMI pueden utilizarse para:

- Mostrar visualmente los datos.
- Seguimiento del tiempo de producción, tendencias y etiquetas.
- Monitorear las entradas y salidas de la máquina.

Las HMI vienen en una variedad de formas, desde pantallas integradas en máquinas hasta monitores de computadora, pero independientemente de su aplicación, su propósito es proporcionar información sobre el desempeño y el progreso de un proceso generalmente industrial.

Las personas que más común interactúan con los HMI son los operadores, los integradores de sistemas y los ingenieros, especialmente los ingenieros de sistemas de control. Los HMI

son recursos esenciales para estos profesionales, que los utilizan para revisar y monitorear procesos, diagnosticar problemas y visualizar datos.



RealParts (2019). Interfaz Humano Máquina [Imagen 7]⁷

1.4.1 Usos comunes de HMI

Los HMI se comunican con los controladores lógicos programables (PLC) y los sensores de entrada / salida para obtener y mostrar información para que los usuarios la vean. Las pantallas HMI se pueden usar para una sola función, como monitoreo y seguimiento, o para realizar operaciones más sofisticadas, como apagar máquinas o aumentar la velocidad de producción, dependiendo de cómo se implementen.

Las HMI se utilizan para optimizar un proceso industrial mediante la digitalización y centralización de los datos para un espectador. Al aprovechar el HMI, los operadores pueden ver la información importante que se muestra en gráficos, cuadros o paneles digitales, ver y administrar alarmas y conectarse con los sistemas SCADA y MES, todo a través de una consola.

Anteriormente, los operadores tendrían que caminar por el suelo constantemente para revisar el progreso mecánico y registrarlo en un papel o una pizarra. Al permitir que los PLC comuniquen información en tiempo real directamente a una pantalla HMI, la tecnología HMI

⁷Recuperada de <https://www.realparts.nl/content/home>

elimina la necesidad de esta práctica obsoleta y, por lo tanto, reduce muchos problemas costosos causados por la falta de información o error humano.

1.4.2 Node.js

Es un entorno de programación que desemboca en Node-RED, que es una herramienta de programación para conectar dispositivos de hardware, API y servicios en línea de formas nuevas e interesantes.

Proporciona un editor basado en navegador que facilita la conexión de flujos mediante la amplia gama de nodos de la paleta que se pueden implementar en su tiempo de ejecución.

Node-RED proporciona un editor de flujo basado en navegador que facilita la conexión de flujos mediante la amplia gama de nodos de la paleta. Los flujos se pueden implementar en el tiempo de ejecución con un solo clic.

Las funciones de JavaScript se pueden crear dentro del editor usando un editor de texto enriquecido.

Una biblioteca incorporada le permite guardar funciones, plantillas o flujos útiles para reutilizarlos.

1.4.3 OpenCV

Open Source Computer Vision Library) es una biblioteca de software de visión de computadora y de aprendizaje automático de código abierto. OpenCV fue construido para proporcionar una infraestructura común para las aplicaciones de visión artificial y para acelerar el uso de la percepción de la máquina en los productos comerciales. Al ser un producto con licencia BSD, OpenCV facilita que las empresas utilicen y modifiquen el código.

La biblioteca cuenta con más de 2500 algoritmos optimizados, que incluyen un conjunto completo de algoritmos de aprendizaje por ordenador y de aprendizaje por ordenador tanto clásicos como de vanguardia. Estos algoritmos se pueden usar para detectar y reconocer

rostros, identificar objetos, clasificar acciones humanas en videos, rastrear movimientos de cámara, rastrear objetos en movimiento, extraer modelos 3D de objetos, producir nubes de puntos 3D desde cámaras estéreo, unir imágenes para producir una alta resolución imagen de una escena completa, encuentra imágenes similares de una base de datos de imágenes, eliminar los ojos rojos de las imágenes tomadas con flash, seguir los movimientos de los ojos, reconozca paisajes y establecer marcadores para superponerlos con realidad aumentada, etc. OpenCV tiene más de 47 mil personas de usuarios Comunidad y número estimado de descargas superiores a 18 millones. La biblioteca se utiliza ampliamente en empresas, grupos de investigación y por organismos gubernamentales.

1.4.4 Normas relacionadas al desarrollo de un sistema SCADA

Para normativas SCADA se tienen muchas fuentes de documentación, las siguientes son normativas que están dentro del campo de sistemas de control SCADA:

Norma ISA 101 HMI:

ISA (Instrumentation, Systems and Automation Society), una sociedad de ingenieros, técnicos, educadores y estudiantes creada el 28 de abril de 1945, específicamente la norma ISA 101 HMI (interfaz humano máquina), la cual pretende marcar una serie de convenciones y normas en el diseño y jerarquía de interfaces HMI utilizados en la automatización industrial de máquinas y procesos.

El alcance de la norma pretende incluir jerarquías de menú, convenciones de navegación de pantalla, convenciones de colores y gráficos, elementos dinámicos, convenciones de alarmas, métodos de seguridad y atributos de firma electrónica, interfaces con la programación de antecedentes y bases de datos de históricos, convenciones emergentes, pantallas de ayuda, y métodos utilizados para trabajar con alarmas, interfaces de objetos programa, y las interfaces de configuración en las bases de datos, servidores y redes.

Norma ISO 9241:

La norma UNE-EN ISO 9241, en su parte 10, *Principios de diálogo*, trata el diseño ergonómico de programas para equipos con Pantallas de Visualización de Datos. Enumera una serie de ideas que se pretende sirvan de guía al momento de realizar el planteamiento y desarrollo de las interfaces gráficas:

1. La aplicación debe estar adaptada a la tarea para la cual se ha diseñado; el diálogo con el usuario debe ser limpio, presentando y exigiendo solamente la información estrictamente necesaria.
2. La aplicación debe informar del progreso al interlocutor de forma comprensible para éste (auto descriptividad).
3. La aplicación debe poder adaptarse al nivel de capacitación del usuario.
4. La aplicación debe ser controlable por el usuario, no al revés.
5. Las respuestas de la interfaz deben ser coherentes y adaptadas al nivel de capacitación del usuario
6. La aplicación debería ser tolerante a fallos y con herramientas de corrección automáticas.
7. Debería ser clara y sencilla de utilizar.

ISA99:

El comité de ISA99 establece estándares, prácticas recomendadas, informes técnicos e información relacionada que definirá los procedimientos para implementar sistemas de control y manufactura, prácticas de seguridad electrónica y evaluación del desempeño de seguridad electrónica. La orientación está dirigida a los responsables de diseñar,

implementar o administrar sistemas de control y fabricación, y también se aplicará a los usuarios, integradores de sistemas, profesionales de la seguridad y fabricantes y proveedores de sistemas de control.

El objetivo del Comité es mejorar la confidencialidad, la integridad y la disponibilidad de los componentes o sistemas utilizados para la fabricación o el control y proporcionar criterios para la obtención e implementación de sistemas de control seguros. El cumplimiento de las directrices del Comité mejorará la seguridad electrónica de los sistemas de control y fabricación, ayudará a identificar las vulnerabilidades y las resolverá, reduciendo así el riesgo de comprometer la información confidencial o la degradación o el fallo de los sistemas de control de la fabricación.

1.4.5 Análisis de Normativas

Las normas expuestas claramente son las necesarias para la implementación de un sistema de control real que se base en electrónica certificada, protocolos de comunicación, y medios de telemetría, es importante pensar en el usuario al momento del diseño y desarrollo del sistema y su ergonomía y su interacción completa con el usuario; implementar mecanismos para la confiabilidad es importante pues los sistemas electrónicos son generalmente sensibles a variables como temperatura, vibraciones y ruido electromagnético, esto quiere decir que si hay fallos durante la experimentación se deben tomar las medidas pertinentes para sortear las irregularidades; finalmente el sistema debe ser confiable, la confiabilidad se desglosa en: confidencialidad de los datos, confiabilidad de los medios de comunicación y persistencia del sistema en el tiempo.

1.5 Protocolos de comunicación.

Un protocolo es un método estándar que permite la comunicación entre procesos (que se ejecutan en diferentes equipos), es decir, es un conjunto de reglas y procedimientos que deben respetarse para el envío y la recepción de datos a través de una red. Existen diversos protocolos de acuerdo a cómo se espera que sea la comunicación.

Los protocolos orientados a conexión son protocolos que controlan la transmisión de datos durante una comunicación establecida entre dos máquinas. El equipo receptor envía una notificación de recepción durante la comunicación, por lo cual el equipo remitente es responsable de la validez de los datos que está enviando. Los datos se envían entonces como flujo de datos. TCP es un protocolo orientado a conexión, por ejemplo.

Los protocolos no orientados a conexión son un método de comunicación en el cual el equipo remitente envía datos sin avisarle al equipo receptor, y este recibe los datos sin enviar una notificación de recepción al remitente. Los datos se envían entonces como bloques (datagramas) como por ejemplo el protocolo UDP.

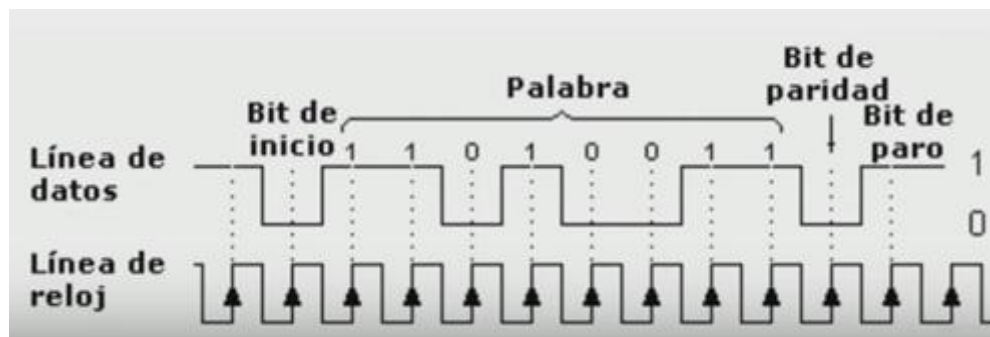
Entre microcontroladores, computadoras y bloques del sistema son los protocolos de comunicación los que establecen cómo se dará el flujo de información del sistema, la gran diversidad de protocolos de comunicación hace necesario el análisis de sus características, ventajas y desventajas durante los criterios de implementación.

1.5.1 RS-232

El protocolo RS-232 es una norma o estándar mundial que rige los parámetros de uno de los modos de comunicación serial. Por medio de este protocolo se estandarizan las velocidades de transferencia de datos, la forma de control que utiliza dicha transferencia, los niveles de voltajes utilizados, el tipo de cable permitido, las distancias entre equipos, los conectores, etc.

RS-232 es básicamente la selección de la velocidad en baudios (1200, 2400, 4800, etc.), la verificación de datos o paridad (paridad par o paridad impar o sin paridad), los bits de parada luego de cada dato (1 ó 2), y la cantidad de bits por dato (7 ó 8), que se utiliza para cada símbolo o carácter enviado.

El RS232 es la implementación física del protocolo UART el cual es usado también por plataformas de desarrollo como Arduino y Raspberry Pi, a continuación, se muestra una imagen de una trama UART.



Trama UART representada como sucesión de bits [Figura 8].⁸

El tiempo de bit y la tasa de transferencia de datos BAUDIOS están relacionadas y dependen de la velocidad de datos que necesite el sistema, así como las limitantes de las tecnologías utilizadas.

1.5.2 RS-485

RS485 es un estándar de comunicaciones que es ampliamente usado en aplicaciones de control y adquisición de datos. Una de sus principales ventajas es que permite poner varios dispositivos RS485 en el mismo bus, lo que permite que múltiples nodos se conecten unos con otros.

⁸ Recuperado de <https://www.setisa.com.sv>

El RS-485 permite enviar datos a largas distancias y a velocidades relativamente altas, que puede llegar a 100 Kbits/s con aproximadamente 1200 metros, esta es la longitud máxima del cable de comunicaciones RS-485. La pauta general, sin embargo, es que el producto de la longitud de la línea (en metros) y la velocidad de transferencia de datos (en bits por segundo) no debería ser mayor que 108. Por ejemplo, un cable de 20 metros permite una velocidad de transmisión de datos máxima de 5 Mbits/s así, a una distancia de 10 metros permite una velocidad de transmisión de datos máxima de 10 Mbits/s.

Este tipo de comunicación refuerza la comunicación serial de protocolo UART para lograr mejores distancias, inmunidad a ruido, además de convertirla en comunicación asíncrona que permite direccionamiento para múltiples dispositivos interconectados y se logra mediante el módulo MAX485

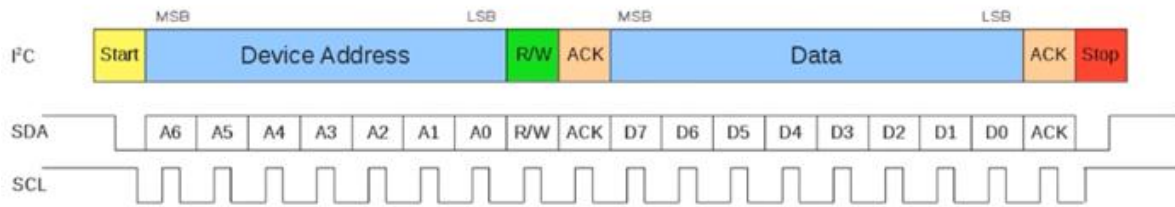


Transceiver MAX485 [Figura 9]⁹

1.5.3 I2C

I2C es un puerto y protocolo de comunicación serial, define la trama de datos y las conexiones físicas para transferir bits entre 2 dispositivos digitales. Utiliza solamente 2 cables, uno para el reloj (SCL) y otro para el dato (SDA). Esto significa que el maestro y el esclavo envían datos por el mismo cable, el cual es controlado por el maestro, que crea la señal de reloj. I2C no utiliza selección de esclavo, sino direccionamiento.

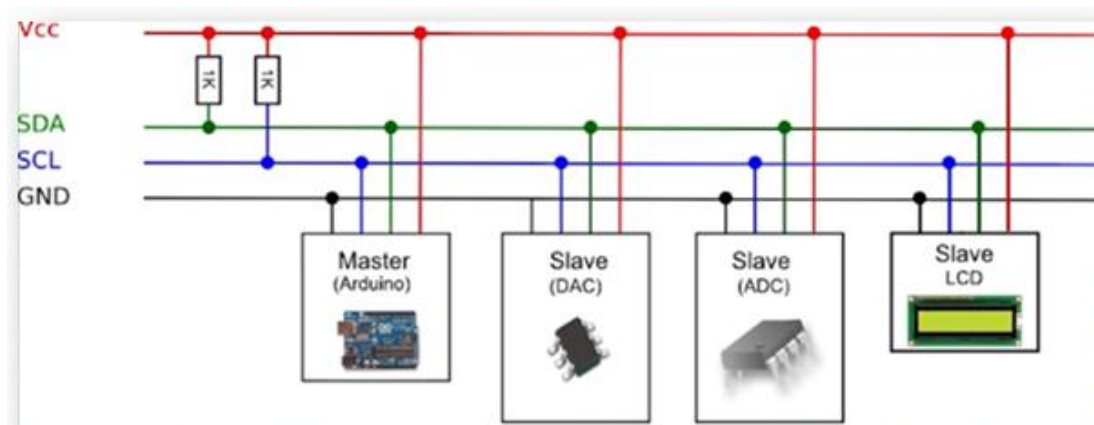
⁹Recuperada de <https://hobbycomponents.com>.



(2019). Representación de dispositivos esclavos conectados a dispositivo maestro mediante puerto/protocolo I2C [Figura 10]

Fue desarrollado por Phillips en los años 80's cuando se estaba desarrollando un prototipo de televisor y los microcontroladores periféricos al microcontrolador principal del sistema utilizaban demasiados pines en el microcontrolador principal del sistema, los ingenieros de Philips se las arreglaron para crear un protocolo de dos hilos para la transferencia completa de los datos.

El protocolo I2C permite tener varios dispositivos conectados en paralelo lo que resulta de gran importancia al momento de utilizar sensores. En la siguiente imagen se muestra un diagrama que comunica a 4 dispositivos conectados por medio de los hilos del bus I2C.



SETISA

(2019). Representación de dispositivos esclavos conectados a dispositivo maestro mediante puerto/protocolo I2C [Figura 11]¹¹

¹⁰Recuperada de <https://www.setisa.com.sv>.

¹¹Recuperada de de <https://www.setisa.com.sv>.

1.5.4 Modbus

Modbus es un protocolo industrial que fue desarrollado en 1979 para hacer posible la comunicación entre dispositivos de automatización. Originalmente implementado como un protocolo al nivel de la aplicación con la finalidad de transferir datos por una capa serial, Modbus se ha expandido para incluir implementaciones a través de protocolo serial, TCP/IP y el UserDatagramProtocol (UDP).

Se define como una estructura de mensajería, ampliamente utilizada para establecer la comunicación maestro-esclavo entre dispositivos inteligentes. Un mensaje MODBUS enviado de un maestro a un esclavo contiene la dirección del esclavo, el "comando" (por ejemplo, "registro de lectura" o "registro de escritura"), los datos y una suma de verificación (LRC o CRC).

Dado que el protocolo Modbus es solo una estructura de mensajería, es independiente de la capa física subyacente. Se implementa tradicionalmente utilizando RS232, RS422 o RS485.

1.5.5 AX.25

El protocolo de capa de enlace AX.25 está diseñado para el transporte confiable de datos entre dos terminales de señalización, acepta y entrega datos a través de una variedad de tipos de enlaces de comunicaciones. independientemente de cualquier otro nivel que pueda o no existir.

Este protocolo cumple con las Recomendaciones ISO 3309, 4335 (incluyendo DAD 1 y 2) y el control de enlace de datos de alto nivel 6256 (HDLC). También cumple con ANSI X3.66, que describe el modo equilibrado ADCCP.

Este protocolo sigue, en principio, la Recomendación X.25 del CCITT, con la excepción de un campo de dirección extendida y la adición de la trama de información no numerada (UI).

También sigue los principios de la Recomendación Q.921 del CCITT (LAPD) en el uso de múltiples enlaces, distinguidos por el campo de dirección, en un solo canal compartido.

Este protocolo funcionará igualmente bien en entornos de radioaficionados de dúplex medio o dúplex completo, además, ha sido diseñado para funcionar igualmente bien para conexiones directas entre dos estaciones de paquetes de radio amateur individuales o una estación individual y un controlador multi-puerto.

El protocolo permite el establecimiento de más de una conexión de capa de enlace por dispositivo, si el dispositivo es capaz.

1.5.6 TCP/IP

El TCP/IP define cuidadosamente cómo se mueve la información desde el remitente hasta el destinatario. En primer lugar, los programas de aplicación envían mensajes o corrientes de datos a uno de los protocolos de la capa de transporte de Internet, UDP (UserDatagramProtocol) o TCP (Transmission Control Protocolo). Estos protocolos reciben los datos de la aplicación, los dividen en partes más pequeñas llamadas paquetes, añaden una dirección de destino y, a continuación, pasan los paquetes a la siguiente capa de protocolo, la capa de red de Internet.

La capa de red de Internet pone el paquete en un datagrama de IP (Internet Protocol), pone la cabecera y la cola de datagrama, decide dónde enviar el datagrama (directamente a un destino o a una pasarela) y pasa el datagrama a la capa de interfaz de red.

La capa de interfaz de red acepta los datagramas IP y los transmite como tramas a través de un hardware de red específico, por ejemplo, redes Ethernet o de Red en anillo.

1.5.7 MQTT

Es un protocolo de comunicación mensajería publicación y suscripción extremadamente simple y liviano diseñado para dispositivos restringidos y redes de bajo ancho de banda, alta latencia o poco confiables. Las principales funciones son la disminución del ancho de banda que se necesita para realizar la comunicación, disminuir los recursos en la red, asegurar la confiabilidad y cierto grado de seguridad en la entrega. Estos principios también hacen que el protocolo sea ideal para el emergente "máquina a máquina" (M2M) o "Internet de las cosas" del mundo de los dispositivos conectados, y para las aplicaciones móviles donde el ancho de banda y la energía de la batería son importantes.

Uno de los grandes atractivos de MQTT es la capacidad de interacción con bases de datos, esto permite el almacenamiento histórico de variables gestionadas por el sistema a implementar, así como su fácil transporte.

1.6 Sistemas y medios de telecomunicación de datos

1.6.1 Packet Radio

Una de las tecnologías de las que se ha hablado desde los años 80's es la de mensajería de paquetes por medio de enlaces radio, mejor conocida como Packet Radio, técnica que consta en modular los datos digitales como texto e imagen a frecuencia de rango de voz que puedan ser interpretadas por un radio y transmitidas, de esta manera se aprovecha un sistema robusto como lo es un enlace radio para enviar información multimedia, esta técnica es conveniente para sistemas confiables en casos de emergencias o catástrofes ya que son enlaces que trabajan en distintas bandas que el wifi y la telefonía celular. En la actualidad hay sistemas fabricados y dedicados a esto mediante módulos TNC (Terminal NodeController), de precios elevados, sin embargo, con la nueva ola tecnológica que ha generado el Open Source son cada vez más los diseñadores electrónicos que se dedican a la fabricación de dispositivos de bajo coste que permiten implementar el concepto de Packet Radio. Por ende, es necesario

realizar estudio a los software y hardware relacionados con el mundo de Open Source y los desarrollos de sistemas de telemetría Packet Radio.

El uso de un sistema de comunicación de este tipo se ve justificado en situaciones por medio de las cuales se requiere enviar información en donde la banda ancha deja de ser efectiva en caso de emergencias y/o catástrofes, para envío constante de datos en el monitoreo de variables en estaciones climatológicas, construcciones en regiones montañosas, etc. Debido al alto alcance de los enlaces que se pueden establecer con este modelo de radio y los formatos diversos que puede adoptar la información.

1.6.2 Linux/GNU

Linux es un sistema operativo que consiste en varios programas fundamentales que necesitan de una consola para poder comunicar y recibir instrucciones de los usuarios; tales como leer y escribir datos en el disco duro, cintas, e impresoras; controlar el uso de la memoria; y ejecutar otros programas. La parte más importante de un sistema operativo es el núcleo. En un sistema GNU/Linux, Linux es el núcleo. El resto del sistema consiste en otros programas. Dado que el núcleo de Linux en sí mismo no forma un sistema operativo funcional, preferimos utilizar el término “GNU/Linux” para referirnos a los sistemas que la mayor parte de las personas llaman de manera informal “Linux”.

Linux está modelado como un sistema operativo tipo Unix. Desde sus comienzos, Linux se diseñó para que fuera un sistema multitarea y multiusuario. Estos hechos son suficientes para diferenciar a Linux de otros sistemas operativos más conocidos. Sin embargo, nadie es dueño de Linux, a diferencia de otros sistemas operativos, gran parte de su desarrollo lo realizan voluntarios de forma altruista.

1.6.3 Raspbian

Raspbian es una distribución del sistema operativo GNU/Linux y por lo tanto libre basado en Debian Stretch para la placa computadora Raspberry Pi, orientado a la enseñanza de informática.

Es el firmware más conocido para la Placa de Desarrollo Raspberry Pi y cuenta con una gran cantidad de programas para aplicación desarrollados por la comunidad de Open Source, desde la implementación de sensores hasta software para reconocimiento de objetos mediante cámara.

1.6.4 Xastir

Xastir es un programa que proporciona funciones de mapeo, seguimiento, mensajería, clima, alertas meteorológicas, funciones de búsqueda y rescate a través de radio o internet y se ejecuta en una variedad de plataformas. Xastir es un proyecto de software de código abierto mantenido por desarrolladores y colaboradores de todo el mundo, proporcionado de forma gratuita bajo la licencia pública general de GNU. Desde sus comienzos, Xastir se ha convertido en un cliente muy robusto con un vasto conjunto de características que compite con otros clientes APRS.

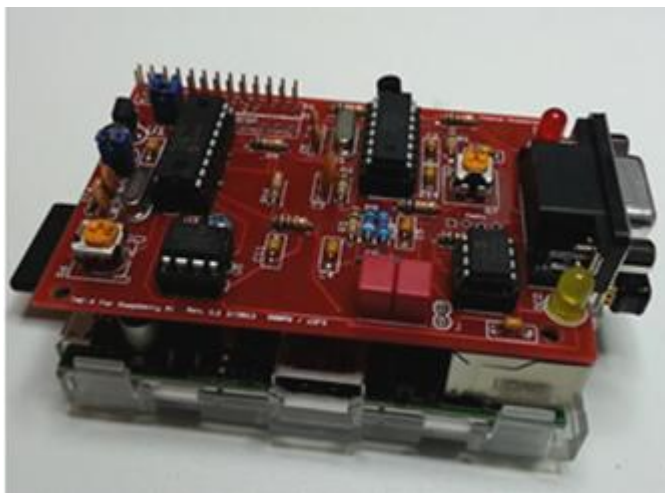
El sistema de notificación automática de paquetes (APRS, por sus siglas en inglés) es un sistema de comunicación digital basado en radio aficionado para el intercambio en tiempo real de información digital a usuarios en la red. APRS fue desarrollado originalmente por Bob Bruninga, WB4APR hace más de 20 años. Desde entonces se ha convertido en un sistema robusto de redes interconectadas. Xastir es una aplicación informática que proporciona acceso de clientes a esta red mediante el protocolo APRS.

1.6.5 TNC PI

TNC-Pi es una versión especial de TNC-X diseñada para interactuar directamente con la computadora Raspberry Pi. Se puede conectar a la Pi ya sea a través del puerto serie de Pi o a través del protocolo I2C. En el último caso, una sola Pi puede soportar múltiples TNC-Pi al mismo tiempo, ya que a cada TNC-Pi se le puede dar una dirección I2C única.

El firmware para TNC-Pi se basó en el código de fuente abierta original TNC-X de John Hansen, W2FS modificado por John Wiseman, G8BPQ para admitir el protocolo I2C, así como la conexión del puerto serie original.

El TNC-Pi 2 está diseñado para coincidir perfectamente con el factor de forma de la Raspberry Pi B +, Pi 2 y todos los modelos Pi 3. Las 40 clavijas de cabecera se comunican a la parte superior de la placa TNC-Pi 2 y ofrece una solución de bajo costo para suplir a un transceptor en un modelo de Packet Radio siendo utilizada la Raspberry Pi la computadora de la terminal, esto proporciona no sólo una solución de bajo costo (comparada a las demás opciones del mercado) sino también una solución de bajo consumo energético y con el respaldo de la comunidad de desarrollo de Open Source.



TNC PI, desarrollada por John Hansen. [Imagen 12].¹²

¹²Recuperada de <https://tnc-x.com/TNCPi.htm>

CAPÍTULO 2

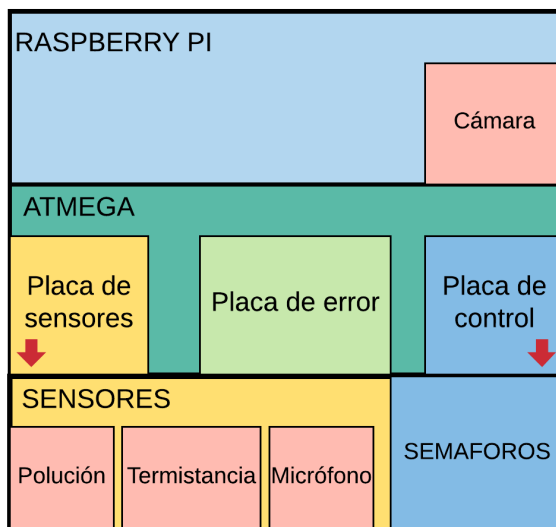
SOLUCIÓN PROPUESTA DEL PROBLEMA

2.1 Resumen y descripción general del sistema

A continuación, se describen las tecnologías seleccionadas en el desarrollo de la investigación para dar lugar al diseño del Driver y sistema centralizado de control, se describe etapa por etapa y la interconexión entre estas mediante los protocolos, interfaces y medios de transmisión de datos.

La primera capa (capa externa) del sistema está conformada por sensores ambientales y cámara de reconocimiento filmográfico, los sensores se encargan de la adquisición de datos de contaminación acústica (ruido en las calles), polución (concentración de dióxido de carbono y otros gases en el ambiente) y temperatura, los datos concernientes al tránsito vehicular son captados mediante reconocimiento digital (por software) de una cámara incluida en el Driver, conectada directamente a la Raspberry Pi 3 B+, el proceso de reconocimiento de objetos (en este caso automóviles) es realizado mediante el procesamiento de la señal de video con software OpenCv.

La segunda capa consta de microcontroladores Atmega328p con funciones específicas como son recibir los datos de los sensores ambientales para procesar la información, unidad de control de semáforos para programar las operaciones de las unidades de semáforo, unidad de error que permite identificar problemas dentro del sistema, el Atmega328p transmite la información procesadas por medio del bus I2C a la Raspberry Pi 3 B+, la cual ordena la información y la almacena en una base de datos local.



Esquema en bloques de la unidad de control Diver. [Imagen 13]

La tercera capa, encargada de transmisión de los datos por diferentes medios y con distintos protocolos, como son el enlace de radio, Transmisión vía internet, Fibra óptica o par trenzado, las características de esta capa están determinadas por las necesidades y las accesibilidades de interconexión.

La cuarta capa es el punto de convergencia de toda la información del sistema, tiene como objetivo a través de aplicaciones presentar al usuario final información acerca del estado de los componentes, variables ambientales, variables del tráfico vehicular, utilizando una HMI que permita además cambiar condiciones de operación en el sistema.

2.2 Sensores ambientales

2.2.1 De contaminación acústica

El sensor MAX4466 incorpora un piezoeléctrico que transforma los choques de presión acústica en tensión eléctrica, con lo cual podemos capturar con una gran resolución la intensidad de sonido justo en la periferia de la instalación del sensor, este dato es importante a la hora de realizar un mapeo del nivel de contaminación acústica en el país, más que todo la de zonas urbanas en las que se ubica la realización de productos industriales así como el ajetreo excesivo de los medios de transporte.

Mediante el sensor se pueden hacer estimaciones en el tiempo del nivel de contaminación acústica, para el conocimiento de los máximos y mínimos dentro de lo que puede captar el sistema.

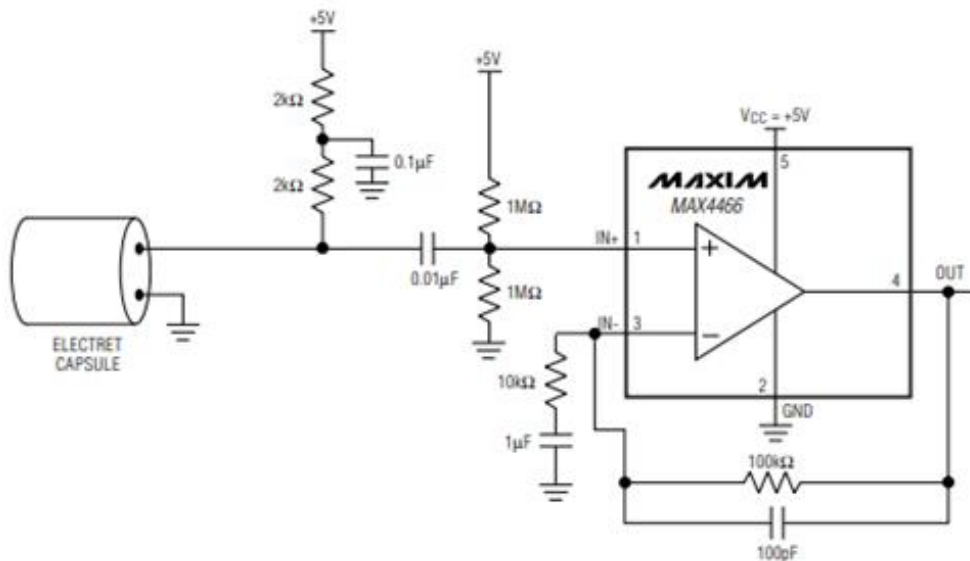
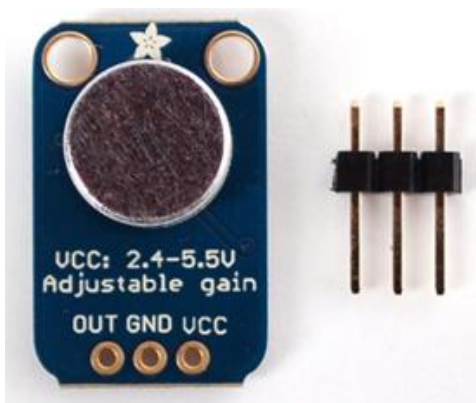


Diagrama esquemático de MAX4466. [Imagen 14].¹³

Los datos de Contaminación Acústica pueden ser visualizados en la Interfaz Humano máquina, el sensor consta de Lógica Transistor-Transistor en sus puertos de información lo cual lo hace compatible con Atmega328p.



MAX4466. [Imagen 15].¹⁴

¹³Recuperada de <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/MAX4465-MAX4469.pdf>

2.2.2 Sensores de Polución

Los sensores de gas de la serie MQ son una familia de sensores de gas que nos permiten medir la concentración de gases (cada modelo es especializado en la detección de cierto tipo de gas) que se encuentran en la periferia del sensor..












Sensor de gas MQ-5. [Imagen 16]¹⁵

Se utilizó el MQ-135 que es capaz de detectar niveles de Amoníaco, Benceno, Vapor de alcohol y Humo, el encapsulado metálico circular tiene una malla que permite el ingreso del gas al interior del sensor, dependiendo del tipo de gas que se quiera censar existe un modelo de sensor MQ que tiene mayor sensibilidad a un determinado gas y menor sensibilidad a otros.

¹⁴Recuperada de <https://www.melopero.com/en/shop/sensori/suono/electret-microphone-amplifier-max4466-with-adjustable-gain/>

¹⁵Recuperada de <http://www.geekbotelectronics.com/producto/mq-5-modulo-sensor-de-gas-natural-y-glp/>

	MQ-2 Gases combustibles Humo		MQ-7 Monóxido de carbono
	MQ-3 Vapor de alcohol		MQ-8 Hidrógeno
	MQ-4 Gas natural Metano		MQ-9 Monóxido de carbono Gases combustibles
	MQ-5 Gas natural		MQ-135 Amoníaco Benceno Vapor de alcohol Humo
	MQ-6 Propano		

Familia de sensores de gas MQ. [Imagen 17] Recuperada de |

En la parte trasera del sensor encontramos un preset (potenciómetro) que permite manejar la sensibilidad con la que el integrado comparador dispara la señal digital (DOUT) para la detección de cierto límite de concentración de gas, nosotros utilizaremos la salida analógica pues la capacidad del microcontrolador nos permite tomar datos para el almacenamiento histórico de niveles de polución.

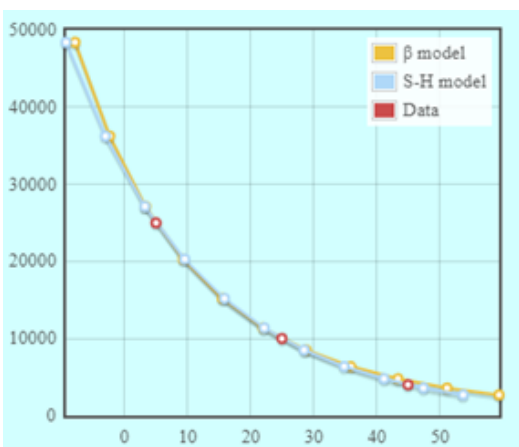
El sensor tiene en su encapsulado una bobina calefaccionada y una superficie de un compuesto químico sensible a el gas que deseamos censar, esto es debido a que el sensor necesita trabajar a una temperatura más o menos constante, cuando se utiliza por primera vez el fabricante recomienda que el sensor esté encendido por 24 horas para que la bobina literalmente quemé los restos de material indeseable que queda en la superficie por la manufactura, solamente hay que conectarlo a 5V durante el tiempo de ‘quemado’.

2.2.3 Sensor de temperatura

Para adquirir los datos de temperatura se utilizó la termistancia NTC. Los termistores NTC son resistencias con un coeficiente de temperatura negativo, lo que significa que la resistencia disminuye al aumentar la temperatura. Se utilizan principalmente como

sensores de temperatura resistivos y dispositivos limitadores de corriente. El coeficiente de sensibilidad a la temperatura es aproximadamente cinco veces mayor que el de los sensores de temperatura de silicio (silistores) y aproximadamente diez veces mayor que el de los detectores de temperatura de resistencia (RTD). Los sensores NTC se utilizan normalmente en un rango de $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

La no linealidad de la relación entre la resistencia y la temperatura mostrada por los resistores NTC representó un gran desafío al usar circuitos analógicos para medir la temperatura con precisión, pero el rápido desarrollo de los circuitos digitales resolvió ese problema que permite el cálculo de valores precisos mediante la interpolación de tablas de búsqueda o la resolución de ecuaciones que se aproximan a una curva NTC típica.



Curva de temperatura contra resistencia eléctrica [Imagen 18].¹⁶

A diferencia de los RTD (detectores de temperatura de resistencia), que están hechos de metales, los termistores NTC generalmente están hechos de cerámica o polímeros. Los diferentes materiales utilizados dan como resultado diferentes respuestas de temperatura, así como otras características.

¹⁶<https://www.thinksrs.com/downloads/programs/therm%20calc/ntccalibrator/>

Si bien la mayoría de los termistores NTC son adecuados para su uso dentro de un rango de temperatura entre -55°C y 200°C , donde ofrecen sus lecturas más precisas, existen familias especiales de termistores NTC que pueden usarse a temperaturas cercanas al cero absoluto (-273.15°C), así como aquellos diseñados específicamente para uso por encima de 150°C .

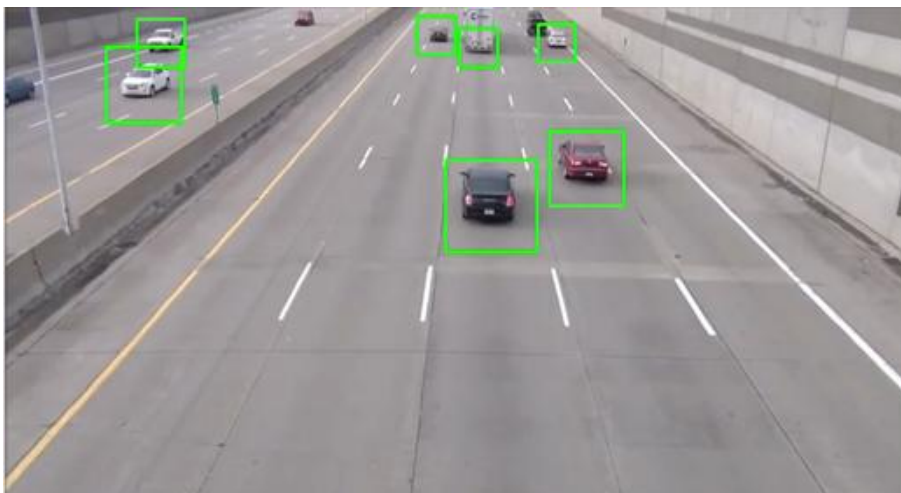
Los valores de temperatura son obtenidos por medio del Atmega328p y enviados a la Raspberry Pi 3 B+.

2.2.4 Reconocimiento de vehículos por cámara

Los vehículos son contabilizados por medio de una cámara conectada a las Raspberry Pi, esta última contiene el software de procesamiento de imágenes OpenCV.

OpenCV (Open SourceComputerVision Library) es una biblioteca de software de visión de computadora y de aprendizaje automático de código abierto. OpenCV fue construido para proporcionar una infraestructura común para las aplicaciones de visión artificial y para acelerar el uso de la percepción de la máquina en los productos comerciales.

La biblioteca cuenta con más de 2500 algoritmos optimizados, que incluyen un conjunto completo de algoritmos de aprendizaje por ordenador y de aprendizaje por ordenador tanto clásicos como de vanguardia. Estos algoritmos se pueden usar para detectar y reconocer rostros, identificar objetos, clasificar acciones humanas en videos, rastrear movimientos de cámara, rastrear objetos en movimiento, extraer modelos 3D de objetos, etc. OpenCV tiene más de 47 mil Usuarios/Comunidad y número estimado de descargas que superan los 18 millones. La biblioteca se utiliza ampliamente en empresas, grupos de investigación y por organismos gubernamentales lo cual representa un enorme respaldo para la investigación y el desarrollo de sistemas que utilizan reconocimiento de objetos.



Video de prueba para código en OpenCV [Imagen 19].¹⁷

OpenCV es un software fácilmente implementable en sistemas Linux, como Raspbian, perfecto para la Raspberry Pi B+, la identificación y conteo de vehículos supone un bajo consumo de recursos en la computadora Raspberry. Para el reconocimiento por cámara se utilizó la cámara Logitech C930e la cual tiene un campo de área visual de 90°. Para nuestro sistema se desarrolló un código que detecta vehículos, con la cámara colocada en plano horizontal con respecto a la calle, se definió un eje vertical que al ser traspasado por los carros son cuantificados en ambos sentidos.

¹⁷ Recuperada de <http://raspberrypi4u.blogspot.com/2018/06/raspberry-pi-car-detection-with-opencv.html>

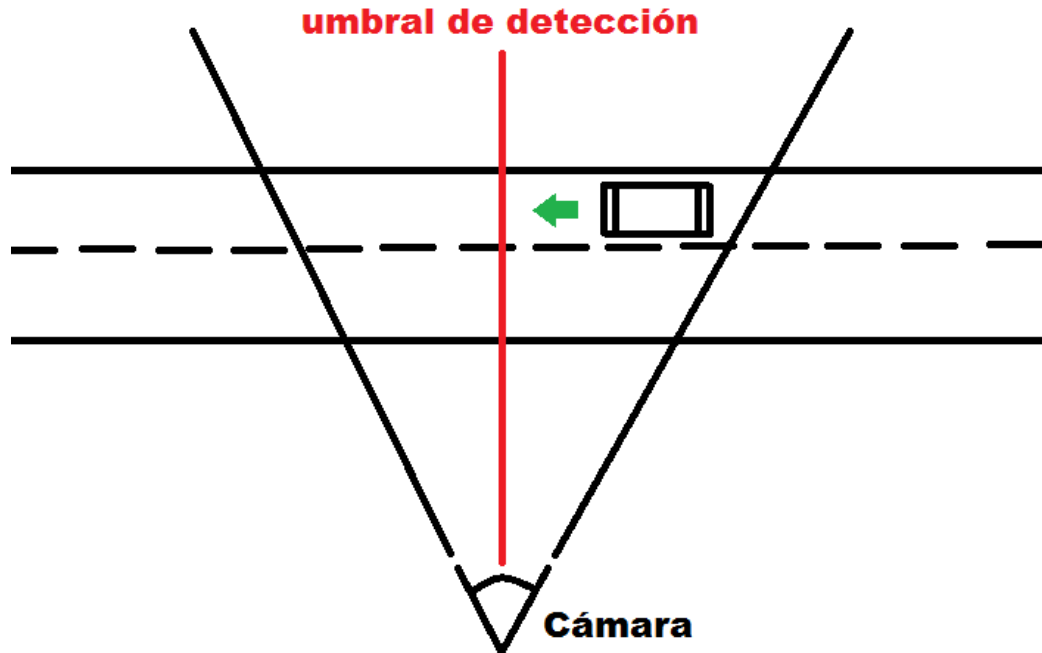


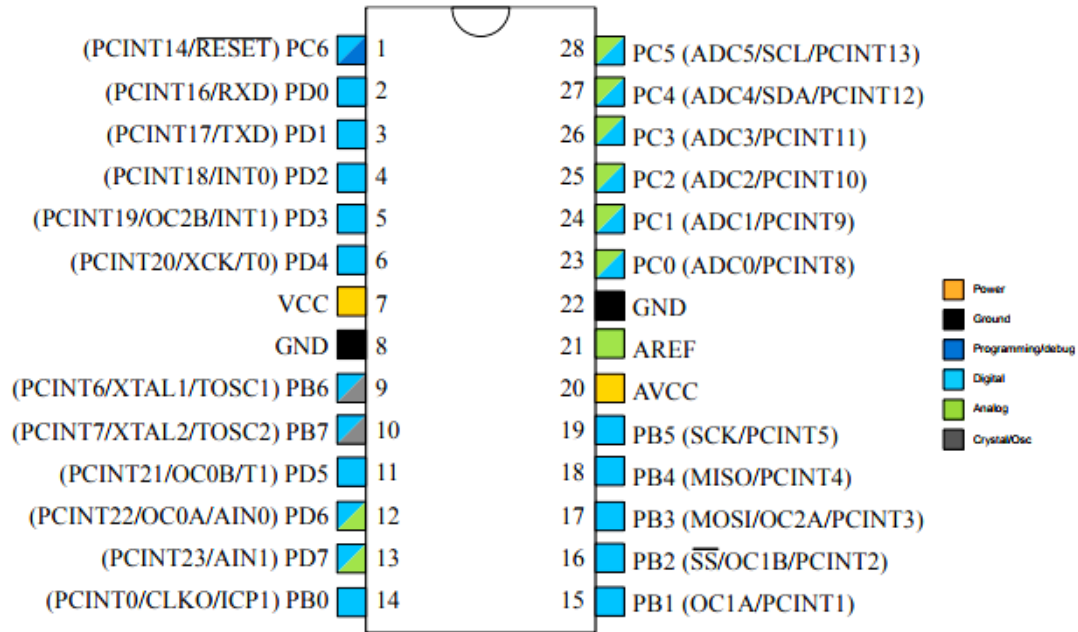
Diagrama de posición de la cámara respecto a la calle [Imagen 20]

2.4 Microcontrolador

Como se ha mencionado anteriormente el microcontrolador seleccionado para el desarrollo de las primeras capas del sistema, es el Atmega328 debido a su versatilidad, velocidad de operación, precio en el mercado y la tecnología incorporada para comunicación con periféricos

2.4.1 Características de Atmega328PU

El Atmega328PU es un microcontrolador de 8 bits basados en arquitectura RISC, con capacidad de operación de 1 MIPS (Millones de Instrucciones por Segundo), con un bajo consumo energético; actualmente este microcontrolador es utilizado dentro de las plataformas de desarrollo en un amplio uso en aplicaciones electrónicas lo que implica amplias comunidades de desarrollo, múltiples librerías y documentación en el internet respecto a su uso.

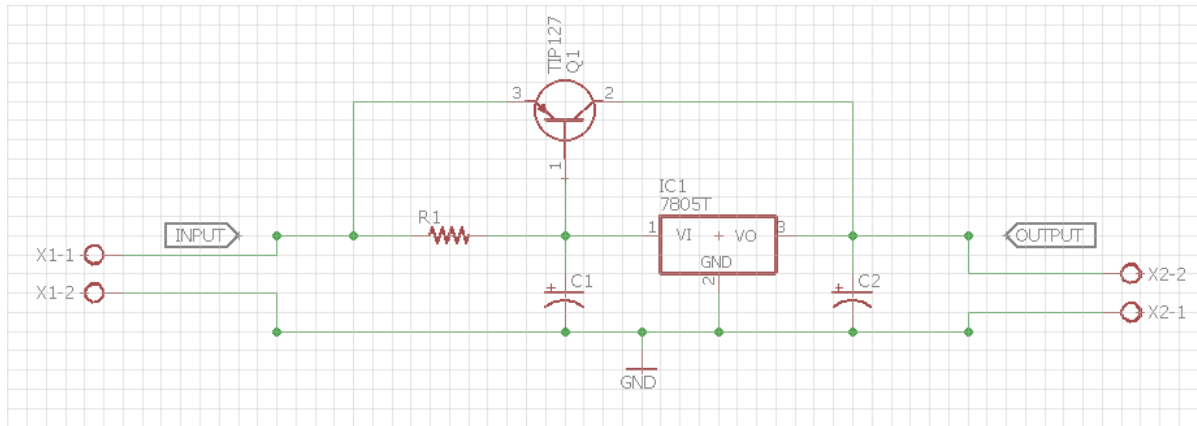


Esquema de microcontrolador Atmega328PU [Imagen 21].

El Atmega328PU Posee 28 pines, entre los cuales los pines 28 y 27 son los asignados para la comunicación I2C mientras que el pin 3 y 4 son los de comunicación RS232, cuenta con una unidad de conversión analógica digital (ADC) que permite hacer mediciones analógicas de voltaje en el rango de los 0V a 5V con una sensibilidad de 0.0049V, utiliza un oscilador de cristal de cuarzo de 16Mhz.

2.4.2 Alimentación

El Atmega328PU en su datasheet indica que requiere una alimentación eléctrica de 5V con una tolerancia de $\pm 10\%$ para una velocidad de operación de 16mhz, la alimentación general del sistema es a 12V por lo que es necesario una etapa de regulación de voltaje, que permita una alimentación estable que se encuentre en el rango de operación.



Circuito regulador de voltaje para Atmega328PU [Imagen 22].

2.4.3 Programación

El microcontrolador Atmega328PU puede ser programado utilizando el lenguaje de ensamblador y puede ser programada en ANSI C, cada lenguaje tiene ventajas propias dentro de la configuración de operación de el Atmega328PU.

El lenguaje de ensamblador permite modificar registros internos del Atmega328PU como tipo de reloj, protecciones de ciclo de operación, velocidad en el registro de ADC, los programas realizados en el lenguaje de ensamblador requiere menor espacio dentro de la memoria pero presenta un gran nivel de dificultad para la programación para rutinas de larga duración

El lenguaje ANSI C, permite utilizar una amplia cantidad de librerías y comandos para poder realizar rutinas o subrutinas de maneras más fáciles, con un nivel casi intuitivo de programación de los recursos y puertos, como desventaja vale la pena resaltar que el tamaño de los códigos es mucho más grande que en el caso del lenguaje de ensamblador

Para el desarrollo del Driver es necesario un microcontrolador que permita capturar datos de sensores analógicos con niveles de voltaje de 0V a 5V, con una capacidad de interconexión I2C y RS232 con otros microcontroladores, salidas digitales que permitan activar o desactivar actuadores del sistema y versatilidad en materia de programación.

2.5 Unidad de procesamiento del Driver.

La unidad de procesamiento recibe los datos de las unidades de sensores, la información de la unidad de error, transmite los tiempos de operación a la unidad de control de semáforos, contiene una base de datos que registra las actividades del sistema y comunica el sistema con la unidad central de control.

2.5.1 Raspberry Pi 3 Model B+

La Raspberry es una computadora de placa reducida (SBC), es una muy buena opción para poder desarrollar un prototipo de control o para ser implementada como unidad de control de semáforos con algunas limitantes con respecto a la capacidad de operación bajo condiciones rigurosas de temperatura, cuenta con capacidad de instalación de sistema operativo y unidad de almacenamiento expandible, cuenta además con puertos I2C y RS232 lo que permite comunicaciones con microcontroladores y periféricos de telecomunicaciones.

Cuenta además con las siguientes características adicionales CPU de 64-bits, 1Gb de memoria ram SDRAM, módulo WI-FI y Bluetooth incorporado, 40 pines GPIO, y un conector HDMI, esto permite obtener una visualización de datos por medio de pantallas como lo sería cualquier PC, dentro de las librerías de desarrollo para esta plataforma se encuentra OpenCV, además, lo cual nos permite el reconocimiento de objetos vía video.

2.5.2 Sistema operativo

El sistema operativo seleccionado es Raspbian por la sencilla razón que es el sistema que la comunidad de Open Source ha venido modificando y dando seguimiento a sus features por más tiempo, existe un soporte considerable para dicho sistema operativo, facilidad de modificación y creación de subrutinas, la cantidad de lenguajes de programación que soporta y la amplia comunidad de desarrolladores que da soporte al sistema operativo.

Raspbian es un sistema operativo basado en linux que aporta un alto nivel de estabilidad, seguridad y versatilidad al proyecto, se pueden añadir diferentes módulos y programas de bajo consumo de recurso facilitando así su implementación en el proyecto.

2.6 Protocolos de comunicación y Medios de transmisión de datos

Los protocolos de comunicación son un elemento clave de los sistemas interconectados actuales, necesarios para el traslado de información de un punto a otro, ya sea dentro de un mismo sistema o a largas distancias, en el desarrollo de este proyecto existen diferentes etapas en las que es necesario transmitir información entre microcontroladores o entre sistemas.

Para transmitir los datos entre los elementos de control en las unidades de semáforo y la unidad central de control, se plantean diferentes medios de transmisión de datos y protocolos de comunicación, la implementación dependerá de las capacidades de interconexión de la localidad, definiendo así si el medio es: internet, fibra óptica, enlace radio, par trenzado, etc.

2.6.1 Protocolos de comunicación y medios de transmisión locales.

Para poder transmitir los datos entre microcontroladores fue necesario utilizar dos tipos distintos de protocolos, la comunicación entre el Raspberry y los distintos microcontroladores Atmega328PU, el protocolo de comunicación I2C (protocolo síncrono) es idóneo para poder interconectar elementos a menos de 10 metros de distancia y una cantidad menor a 128 elementos, su medio de transmisión es el par trenzado donde uno de los cables es SDA (Línea de datos) y el otro es el SCL (Línea de Reloj), es un protocolo de comunicación con jerarquía dado que existe un maestro o varios y un esclavo o varios.

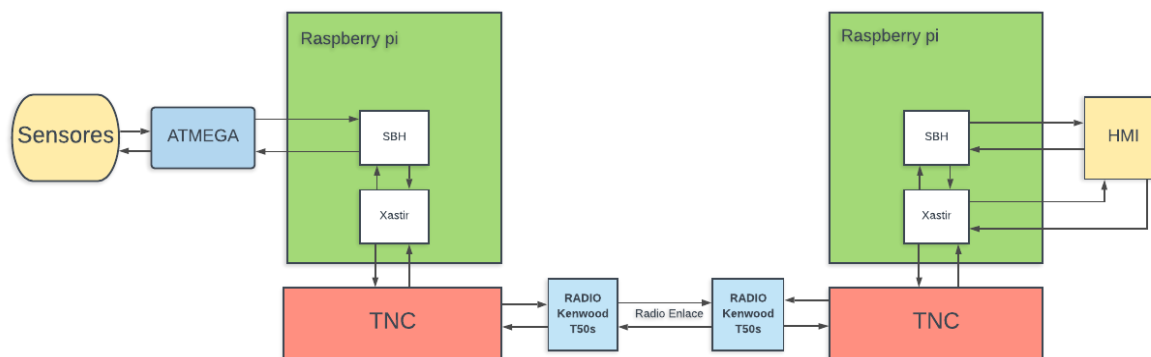
Para poder comunicar el Raspberry con el TNC-PI fue necesario utilizar el protocolo RS232 (Protocolo asíncrono) rápido y confiable para la transmisión de datos o comandos entre 2 elementos, no permite un número mayor que dos de elementos dentro de la interconexión, es muy utilizado en el campo industrial para comunicación entre elementos del mismo

sistema por su estabilidad, utiliza 2 cables de interconexión TX que transmite los datos y RX que recibe los datos.

2.6.2 Transmisión de datos por medio de Radioenlace

El Radioenlace es un concepto de transmisión de datos por medio de ondas electromagnéticas que se encuentran entre las frecuencias de 800 Mhz a 42 Ghz, por lo general suelen ser utilizados en locaciones en la que existe posibilidad de instalar las antenas de comunicación de línea vista.

La principal ventaja que existe en este tipo de sistemas es la de hacer una comunicación multipunto entre distintas localidades, la infraestructura requiere de una inversión grande para poder ser instalada, pero con un adecuado sistema de protecciones de alimentación eléctrica y una calendarización de mantenimiento riguroso el sistema puede funcionar por mucho tiempo sin presentar problemas.



Sistema transmitiendo datos por enlace de radio [Imagen 23].

En la imagen anterior se puede apreciar un diagrama en bloques, a grandes rasgos, del flujo de información en el sistema, para este tipo de telecomunicación será necesario instalar un software dedicado para transmisión de datos APRS, el propuesto es Xastir, aunque existen otras opciones, para poder utilizarlo de manera automática y con subrutinas personalizadas, es necesario emplear Script de Bash para coordinar las respuestas, las acciones con distintos comandos y transmisión de datos.

El protocolo utilizado para transmitir los datos por medio del enlace de radio es el AX 25, es un protocolo de comunicación de radio utilizando ampliamente para transmitir datos digitales para mayor información se puede consultar el punto 1.5.5 de esta tesis.

El protocolo RS232 consta de bit de inicio, palabra, bit de paridad (si se desea) además de bit de parada, esta trama de información está presente tanto en la línea TX como la RX. La TNC Pi y la Rasp Berry se comunican mediante dicho protocolo, a continuación, presentamos el diagrama esquemático de la TNC Pi:

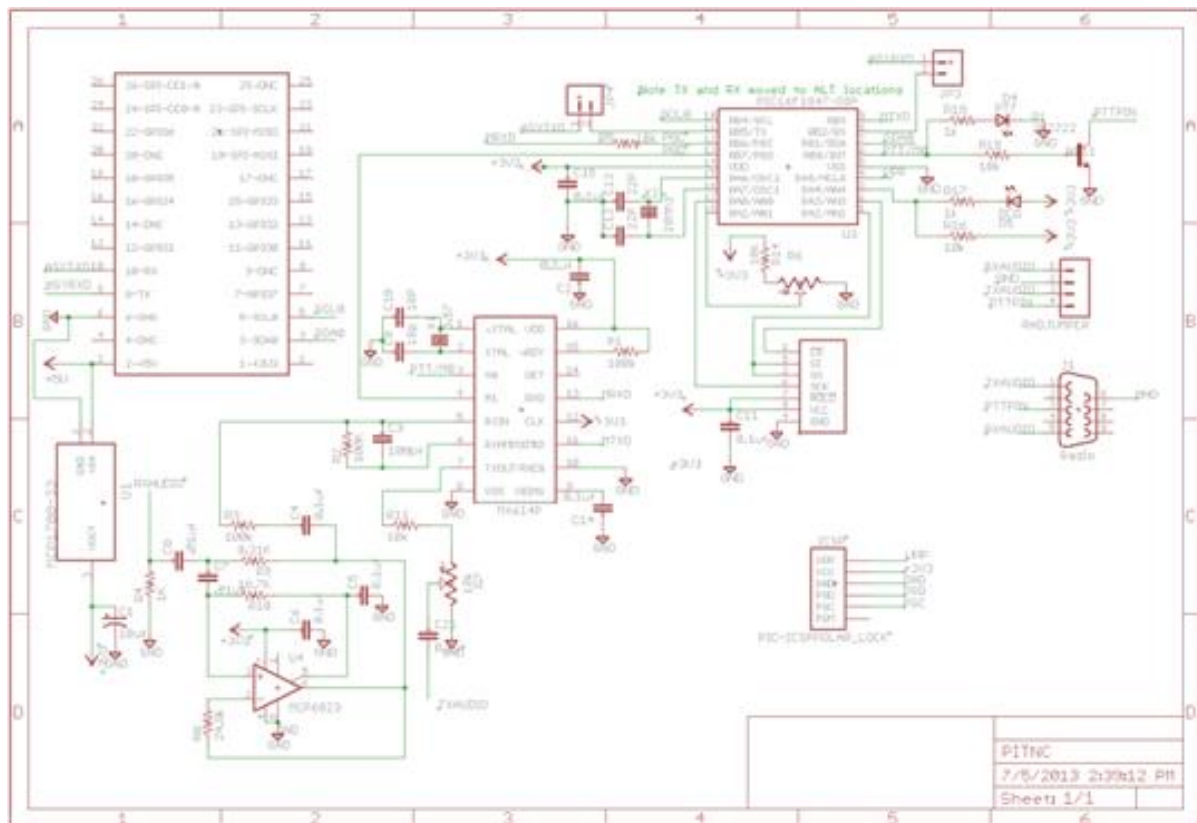


Diagrama esquemático de TNC PI [Imagen 24]¹⁸

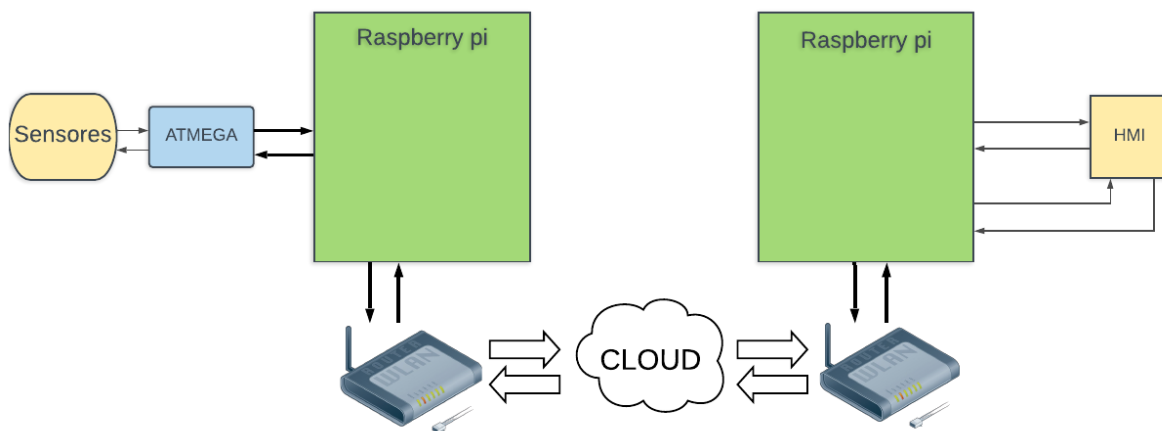
En el puerto DB9 podemos observar la línea TX AUDIO, RX AUDIO y PTT PIN, las dos primeras señales son las dos líneas del protocolo UART (transmisor y receptor), con la variante que el protocolo se ha implementado con la interface RS232, el PTT PIN es un pin de señalización PushToTalk.

¹⁸Recuperado de <https://tnc-x.com/TNCPi.pdf>

En el header de la esquina superior derecha es el que se conecta con la TNC Pi, los únicos pines que tienen conexión eléctrica son VCC, GND, TX y RX, correspondientes a la comunicación serial entre la Raspberry y la TNC PI.

2.6.3 Transmisión de datos por medio de internet.

La transmisión de datos por medio de internet es una de las formas más económicas y rápidas de establecer conexión debido a que actualmente los equipos de desarrolladores reciben una gran cantidad de inversión económica para aumentar la velocidad, eficiencia e interconexión, por lo que son una muy buena opción como sistema de tráfico de datos.



Sistema transmitiendo datos por Internet [Imagen 25].

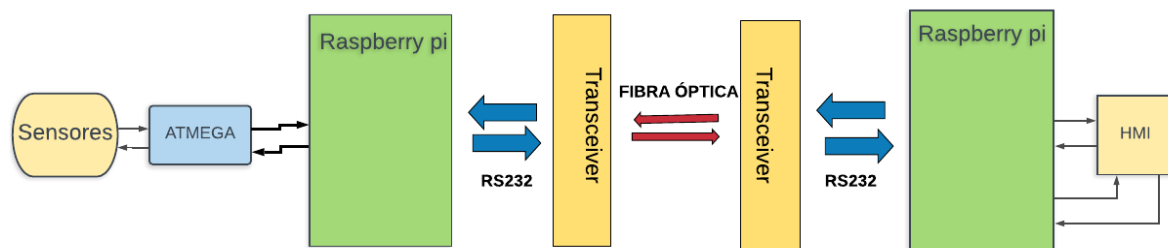
Como principales ventaja se encuentra el bajo precio de los equipos, la facilidad de intercambiarlos, la gran variedad de propuestas de equipo en el mercado, la única limitante con este tipo de equipos es la localidad, debe de haber al menos un punto de acceso o al menos acceso a una red inalámbrica, también se puede interconectar a la red telefónica de datos.

Aunque los equipos con un sistema de protección eléctrica adecuada no presentan mayor problemática, el servicio de interconexión a internet puede presentar algunas dificultades o desventajas, como por ejemplo la seguridad, al estar conectado a internet si no se cuenta con

un sistema adecuado de Firewall y con otros elementos de protección informático puede ser vulnerabilizado por especialistas en redes informáticas conocidos vulgarmente como “Hackers”, otro posible problema puede ser la conexión a internet, dependiendo del servicio la conexión se puede ver interrumpida por fallas en la infraestructura de interconexión.

2.6.4 Transmisión de datos utilizando Fibra óptica.

Una excelente alternativa para la transmisión de datos, confiable, de alta velocidad, sin pérdidas a grandes distancias, no requiere mucho mantenimiento después de ser instalado, es virtualmente inmune a interferencias electromagnéticas y las descargas eléctricas atmosféricas no afectan los datos debido a la forma de transmisión por medio de haces de luz..



Sistema transmitiendo datos por Fibra óptica [Imagen 26].

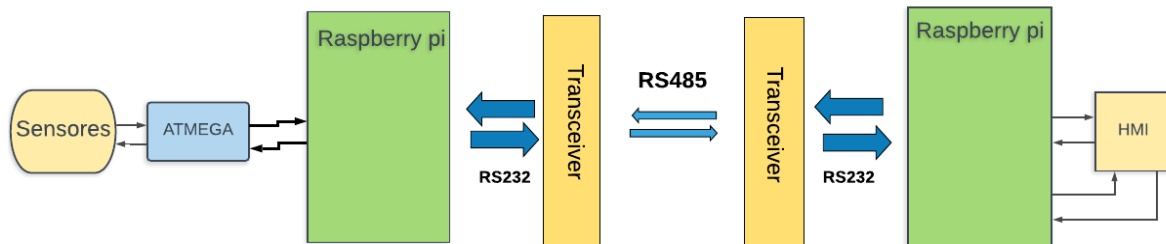
La principal dificultad de implementación es la infraestructura de transmisión, la fibra y grandes anillos de fibra óptica podrían volver inviable la instalación del sistema debido a que las distancias son grandes, una solución a limitante, se podría contratar un servicio ya instalado de alguna empresa de telecomunicaciones.

Como en la mayoría de los casos una problemática podría ser la localidad, debido a que no en todas partes hay acceso a la fibra óptica para poder realizar la interconexión, los equipos son económicos y confiables.

Al implementar este tipo de infraestructura existen muchas opciones con lo que se refiere a protocolos de comunicación, puede ser utilizado con Rs232, Rs422, Rs485, I2c, etc.

2.6.5 Transmisión de datos por medio de par trenzado.

Quizá una de las opciones más económicas pero menos confiables debido a la práctica de robo de cable de cobre en las zonas metropolitanas de El Salvador, lo que lo convierte en un gran impedimento para la implementación en algunas zonas, por otra parte es utilizado el protocolo RS-485 que es muy confiable con respecto a la transmisión de datos debido a que es un protocolo diferencial, lo que lo hace resistente a interferencias electromagnéticas.



Sistema transmitiendo datos por Par Trenzado [Imagen 27].

La transmisión de datos por medio del par trenzado tiene la limitante más grande de la distancia, debido a que la transmisión de datos con RS-485 sólo puede garantizar la integridad de los datos a 1200m con una velocidad de 300 a 19,200 bit/s, el protocolo RS-485 no es Full Duplex, pero permite organizar los componentes en una estructura muy parecida al I2C (Amo esclavo) lo cual es una gran ventaja para poder interconectar más elementos de control mediante una AddressDevice.

2.7 Estación Maestra.

2.7.1 Interfaz gráfica

La interfaz gráfica es una de las herramientas por excelencia de gestión, control y monitoreo de sistemas, han existido a lo largo de la historia distintos tipos de interfaces gráficas desde los sistemas clásicos mecánicos, electrónicos analógicos y en la actualidad los sistemas digitales.

Como tal la interfaz gráfica solo es la transformación de datos de sensores, bases de datos, entre otros a una forma gráfica en la que el ser humano puede entenderlas, por este principio

las interfaces gráficas en los sistemas de control son conocidas como HMI: Human Machine Interface (Interfaz Humano Máquina).

2.7.2 Interfaz de control.

La interfaz de control es un conjunto de elementos que permiten modificar características del comportamiento de diferentes tipos de sistemas, dicho de una forma pragmática, es el mecanismo por medio del cual los seres humanos podemos controlar maquinaria, sistemas, vehículos, plantas de procesamiento de alimentos, etc.

Como es de esperarse las interfaces de control al ser un instrumento utilizado desde hace mucho como un instrumento para el desarrollo económico y social de la humanidad tiene diferentes campos de estudio, normativas, estándares y se han desarrollado múltiples herramientas digitales para poder utilizarlo.

El concepto SCADA de supervisión, control y adquisición de datos tomó fuerza en el campo de la industria como la solución para la necesidad de monitorear y control de equipamiento de manera remota.

En la actualidad el concepto SCADA aún se mantiene con vigencia y existen diferentes softwares de Open Source que facilita la implementación de este concepto de diseño de sistemas, el centro de control donde convergen los datos del sistema, son procesados y se establecen los niveles de operación, es conocido como Estación Maestra, se caracteriza por tener diferentes interfaces gráficas del sistema y supervisores vigilando el pleno funcionamiento del sistema.

Existen diferentes propuestas para poder implementar un concepto SCADA de diseño de control centralizado, cada uno con sus características particulares como plugins, protocolos de comunicación, interfaces gráficas, etc.

Se debe recalcar que en los últimos 10 años ha surgido una nueva tendencia que ha relacionado al Smart City, conocido como IOT-Internet ofthings (Internet de las cosas), un

nuevo concepto de diseño y implementación de tecnología con base en las tecnologías de información con un criterio más amigable con los desarrolladores no experimentados, actualmente se posiciona a la vanguardia de implementación de tecnología desde la ganadería, agricultura hasta el campo de la industria de producción.

2.7.3 Plataforma de control.

La plataforma de control utilizada para coordinar los elementos de control de sistema (las unidades de sensores) es Node Red es una herramienta visual ligera, desarrollada en NODE.JS que puede ejecutarse desde casi cualquier computadora basada en arquitectura de 64Bits, con capacidad de interconexión con diferentes protocolos de comunicación.

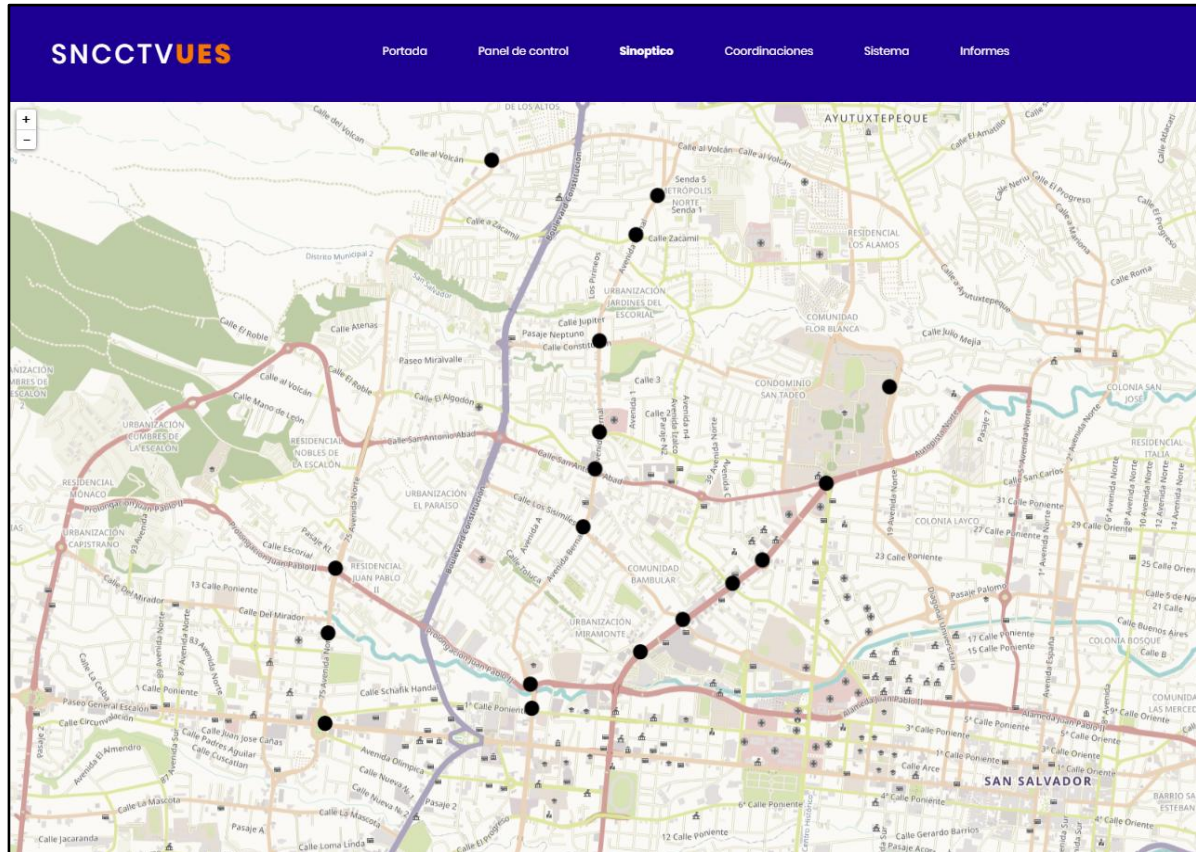
Cuenta además con una amplia comunidad de desarrolladores que actualiza Node-Red y brinda soporte para desarrollo de los proyectos, la programación visual ayuda para poder implementar grandes códigos de forma sencilla.

El sistema fue nombrado Sistema nacional de control centralizado de tránsito vehicular (SNCCTV) con un diseño básico, suficientemente funcional para el propósito de prototipo.



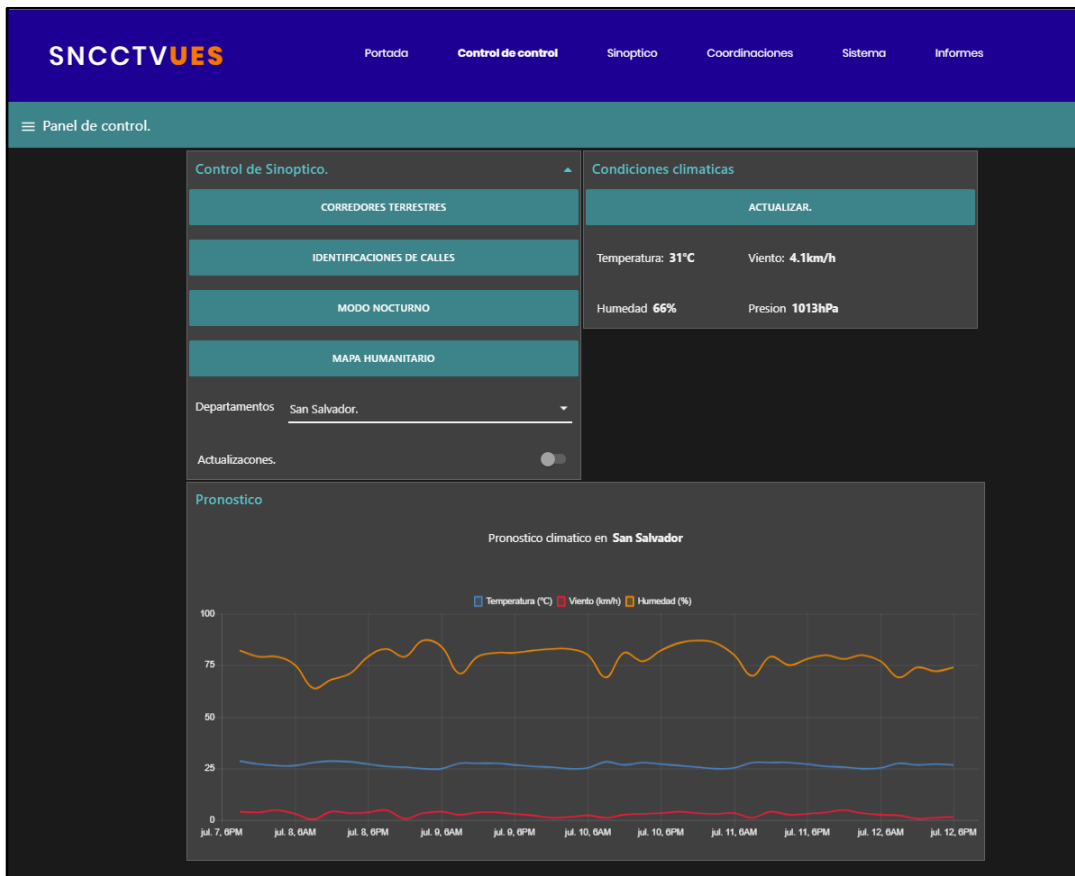
Portadas del sistema de control [Imagen 28].

Para el proyecto fue necesario desarrollar un sistema de control que conmutan en tiempo real toda la información recibida del sistema, posteriormente representar su ubicación dentro de un mapa para visualizar de mejor forma los sucesos.



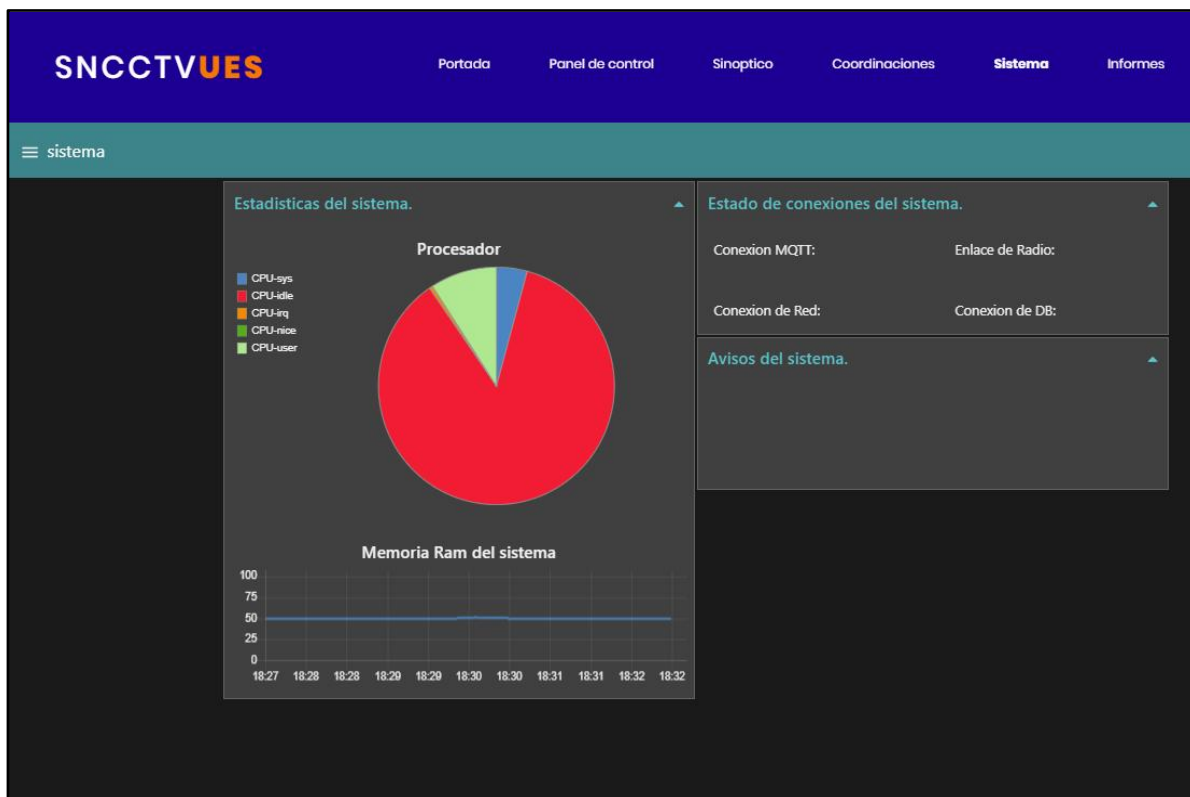
Mapa sinoptico [Imagen 29].

Para el diseño del sistema implementamos un mecanismo de telemetría satelital del clima para comparar los datos con los obtenidos de parte de los sensores, que midiera temperatura, velocidad de viento, presión atmosférica y humedad porcentual.



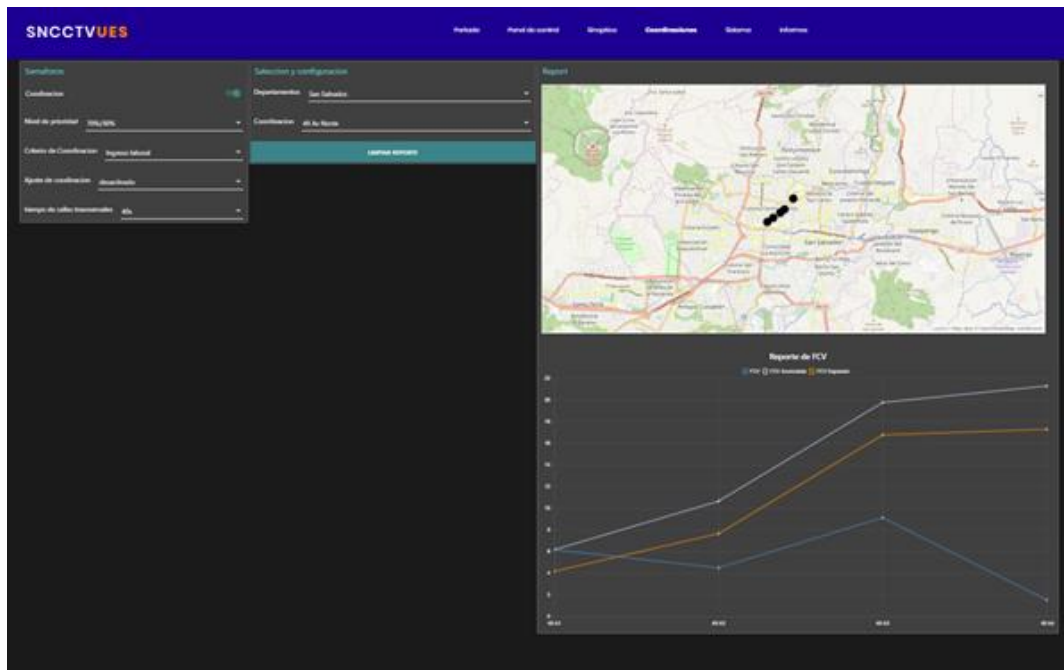
Panel de control y monitoreo climático [Imagen 30].

Para poder garantizar que el sistema funciona de manera adecuada es importante tener un monitoreo constante de las capacidades del sistema físico, como memoria ram y procesamiento de datos.



Monitoreo del sistema [Imagen 31].

Para controlar el comportamiento de los semáforos es importante tener un apartado que permita ver y modificar las condiciones de operación de un semáforo y coordinar un conjunto de semáforos en función de las estadísticas del comportamiento del FCV de una arteria vehicular del sistema



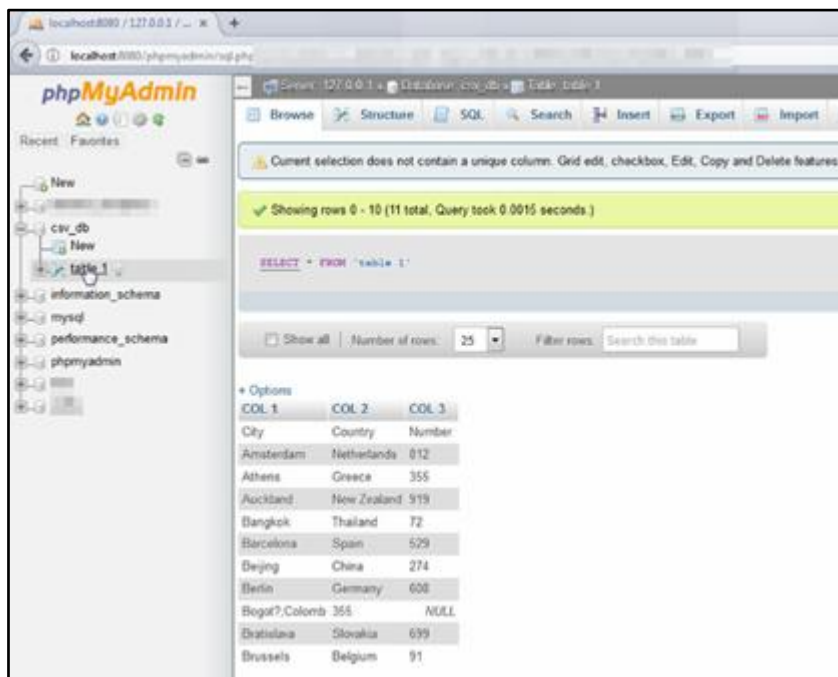
2.8 Base de datos

Para la gestión de datos se utilizará MySQL es una herramienta de administración de base de datos relacional en código abierto más popular por su facilidad de uso intuitivo, específicamente se hará uso de phpMyAdmin para manejar las bases de datos en MySQL a través de páginas web basado en código php.



Logo de MySQL [Imagen 33].

phpMyAdmin es prácticamente un entorno gráfico para la base de datos desde el cual se puede escribir/borrar datos en específico, en el mismo, se pueden crear nuevas bases de datos y especificar los parámetros de entrada para cada array de la base.



PhpMyAdmin [Imagen 34].

Para el desarrollo del proyecto se establece una base de datos por cada una de las coordinaciones de interés, después se procede establecer una tabla por cada uno de los semáforos donde se almacenarán los datos ambientales, se tiene una tabla con la latitud y longitud de los semáforos, serán nombrados con la intersección respectiva intersección (Ejemplo Av Los andes/49 Av. Sur), se le asignó un número de identificación.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DE RESULTADOS, PROYECCIONES Y
CONCLUSIONES.

3.1 Prueba de prototipo.

3.1.1 Descripción de la prueba.

La prueba del prototipo se limitó a la captura de datos ambientales y conteo de vehículos en las proximidades de la escuela de ingeniería eléctrica de La Universidad de El Salvador, instalado en la intemperie.

Durante 15 días el prototipo capturar los datos promedios y máximos de temperatura, polución, contaminación, además del registro de paso vehicular, en intervalos de 15 minutos para posteriormente analizar los resultados.

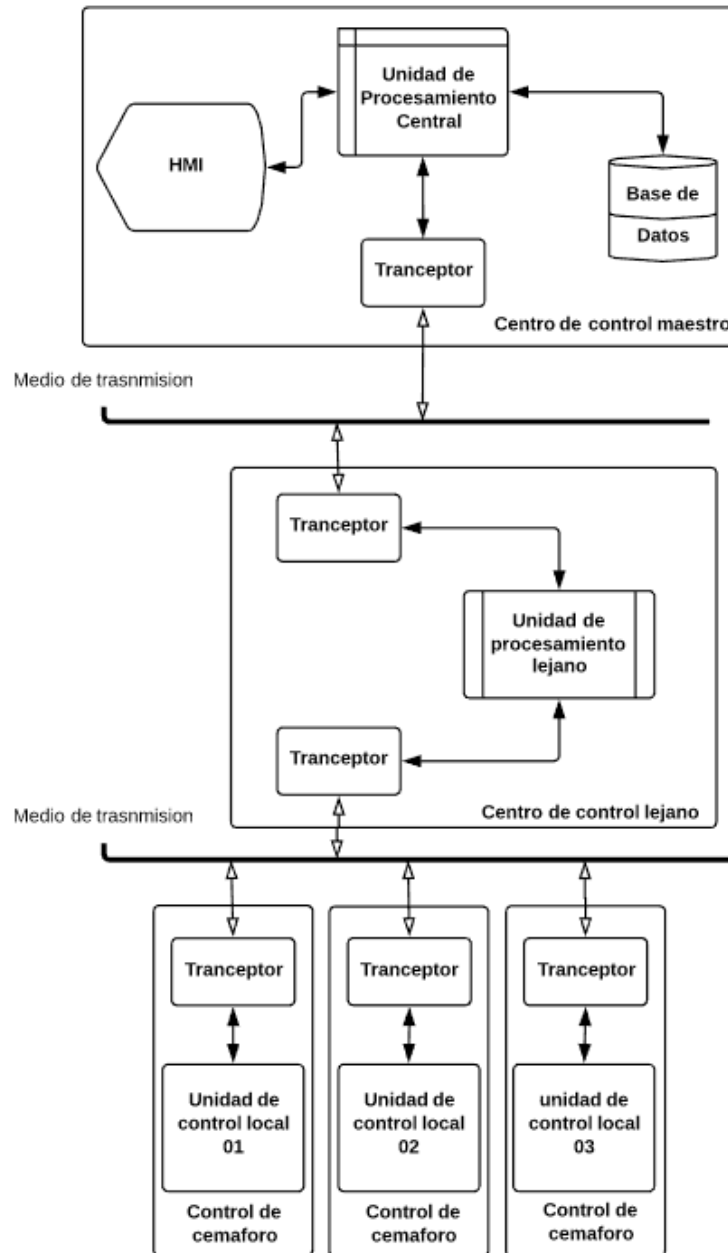
El prototipo consta de una raspberry 3 modelo B+ y de placas de desarrollo con Atmega328PU para lectura analógica, interconectadas por protocolo I2C, como consideración general es importante aclarar que los valores capturados por los sensores son una apreciación del comportamiento de las variables medioambientales, la precisión de las mediciones se puede ver afectada por la fatiga térmica a la que fueron expuestos los microcontroladores dentro de la carcasa.

3.1.2 Descripción de Esquema general.

En el siguiente diagrama se representa el esquema de control y conjunto de elementos que lo conforman, es importante resaltar que para el sistema de control y lectura de datos ambientales utilizado para la prueba de prototipo fue limitado a la unidad de Procesamiento Central, HMI, Base de Datos y unidad de control local.

Los medios de transmisión de datos son aquellos utilizados para poder transmitir la serie de datos del sistema, los medios de transmisión son determinados por los transeptores, por ejemplo si el transeptor es un RS-232 a RS-485 el medio podría ser Par trenzado o Fibra óptica dependiendo de la distancia, sin la transmisión de datos se realizará por medio de radioenlace el medio de transmisión de las ondas electromagnéticas es el vacío pero con la

limitante de que la transmisión entre los puntos del sistema sea a línea vista para evitar interferencia y preservar los datos de la manera más íntegra.

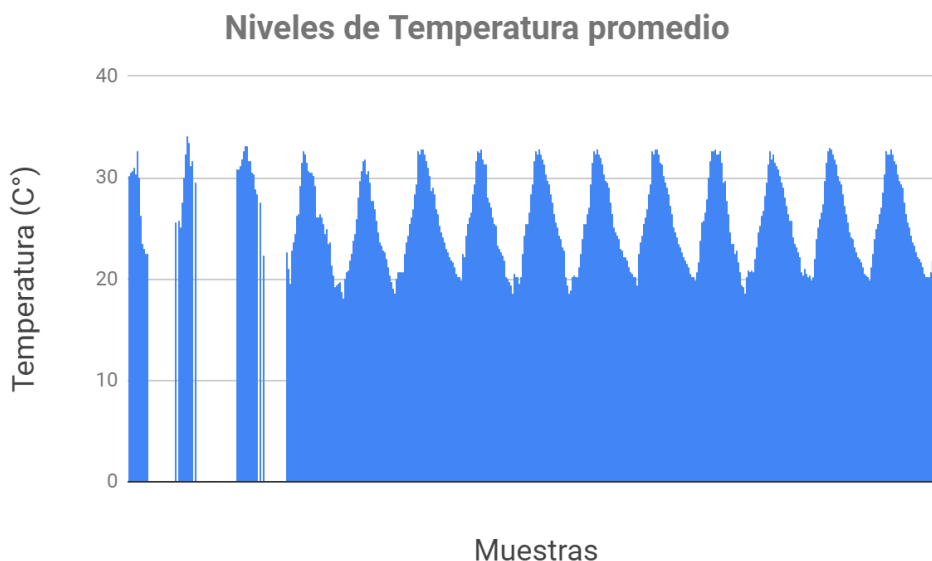


Esquema del sistema [Imagen 35].

3.2 Análisis de resultados.

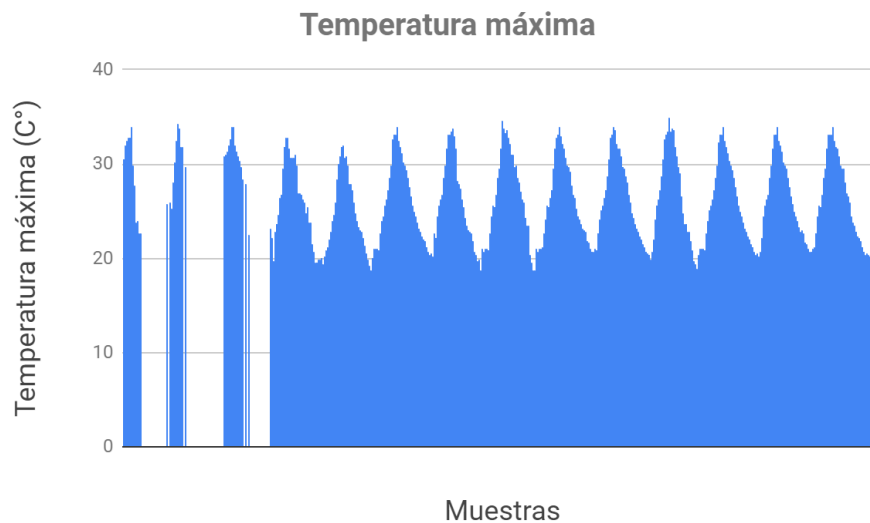
Los datos obtenidos del prototipo durante 15 días de prueba arrojan información de interés con respecto a lo que en materia de comportamiento climático y tráfico vehicular corresponde.

La siguiente gráfica corresponde al los datos obtenidos por el sensor de temperatura, se puede apreciar que las temperaturas máximas son registradas a las proximidades del mediodía, y las temperaturas más bajas son obtenidas durante la noche, los datos faltantes de los primeros días corresponden a interrupciones del servicio eléctrico, donde el sistema de reserva energética no fue suficiente como para poder sostener el prototipo encendido, la variación en la forma piramidal es debido a cambios climáticos producidos por diferentes factores, como el paso de nubes, sistemas de viento o precipitaciones pluviales.



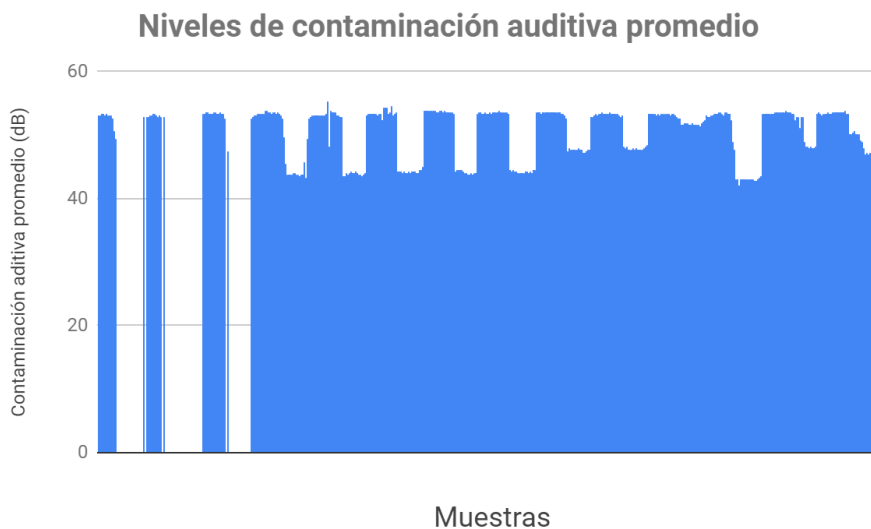
Temperaturas promedio [Gráfico 2].

La gráfica siguiente son los datos obtenidos de las temperaturas máximas en periodos de 15 minutos, de estos datos es importante identificar que el comportamiento de la temperatura es consecuente con los datos del comportamiento de los datos de las temperaturas promedio.



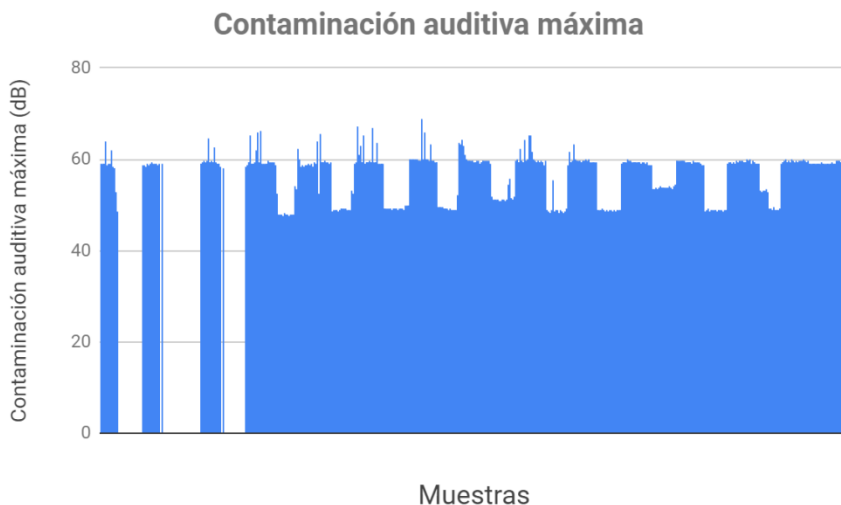
Temperaturas máximas [Gráfico 3].

La gráfica siguiente representa los datos obtenidos del sensor de sonido, nos permite apreciar el comportamiento del sonido de las horas de actividad de la universidad de el salvador, el nivel de contaminación acústica se encuentra dentro de los valores esperados del comportamiento.



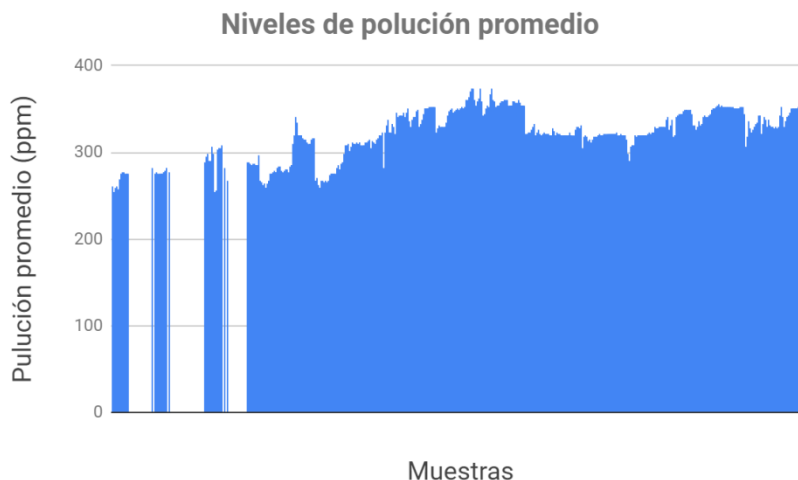
Niveles de contaminación auditiva promedio[Gráfico 4].

La siguiente imagen son los datos capturados para los niveles máximos de contaminación acústica, es importante resaltar que muchos de estos datos se encuentran fuera de los intervalos de los intervalos permitidos por parte de las autoridades como sonido estático, pero comparados con los valores promediados se puede inferir que se trataría de sonidos transitorios, como el claxon de un carro o el sonido aportado por algunos estudiantes.



Niveles de contaminación auditiva máxima[Gráfico 5].

La siguiente gráfica representa los datos promedio de polución, no existe un comportamiento esperado para este gráfico, pero podemos resaltar que el comportamiento parece estar relacionado con las precipitaciones pluviales, la respuesta de las plantas y la evaporación de aceites.



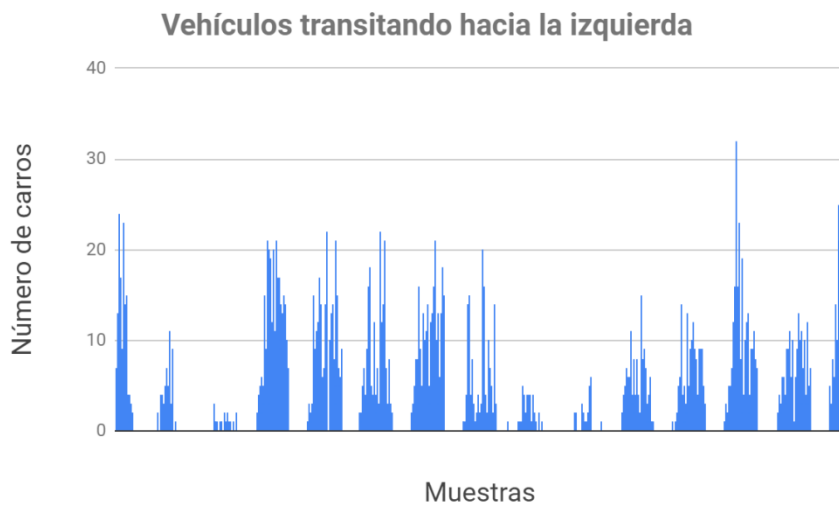
Niveles de polución promedio [Gráfico 6].

Como podemos apreciar de la siguiente gráfica que representa los puntos máximos de polución el comportamiento es muy parecido al de los datos promedios, sin mayor diferencia lo que indica que los datos no son de alta variación.



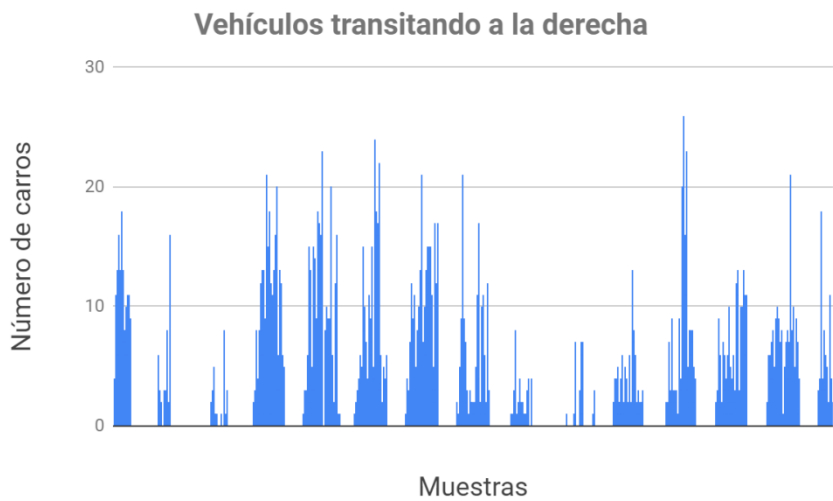
Niveles de polución máximos [Gráfico 7].

El siguiente gráfico muestra el número de vehículos que transitan por día hacia la izquierda coincidiendo los días sábado y domingo con el 2° y 3° pico de la gráfica, es fácil notar la ausencia de grandes cantidades de carros estos días debido a que la universidad permanece cerrada el día sábado (exceptuando ciertas entradas) y no se imparten clases con la misma frecuencia que los días de semana, además, el día domingo permanece prácticamente cerrada y sin actividades, siendo el día con menos actividad en el gráfico.



vehículos detectados hacia la izquierda [Gráfico 8]

De manera similar ocurre con los vehículos que transitan hacia la derecha.



vehículos detectados hacia la derecha [Gráfico 9]



Grafica de vehículos a la derecha [Gráfico 13].

3.2.1 Análisis de características asociadas.

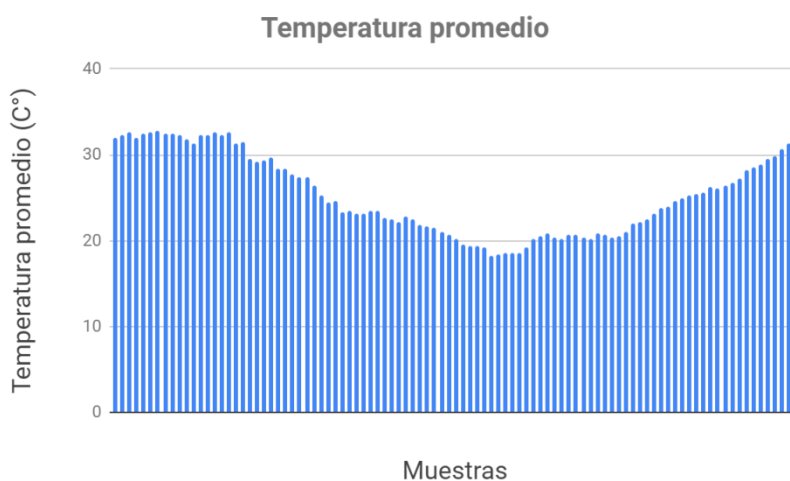
El análisis de características asociadas permite extrapolar datos utilizando los datos del comportamiento de las variables ambientales, como por ejemplo la precipitación pluvial, el comportamiento del petricor.

Para los datos obtenidos de las pruebas podemos ver que no existe una relación del comportamiento del tráfico y las características ambientales, debido a que el tramo vehicular de muestra es demasiado particular como para poder marcar una tendencia que pudiera ser apreciado en un ambiente de tránsito vehicular convencional.

En las siguientes gráficas podemos ver que el la contaminación acústica paso activa toda la noche, y la temperatura llegó al punto más bajo de toda la prueba de lo que podríamos inferir que llovió toda la noche.

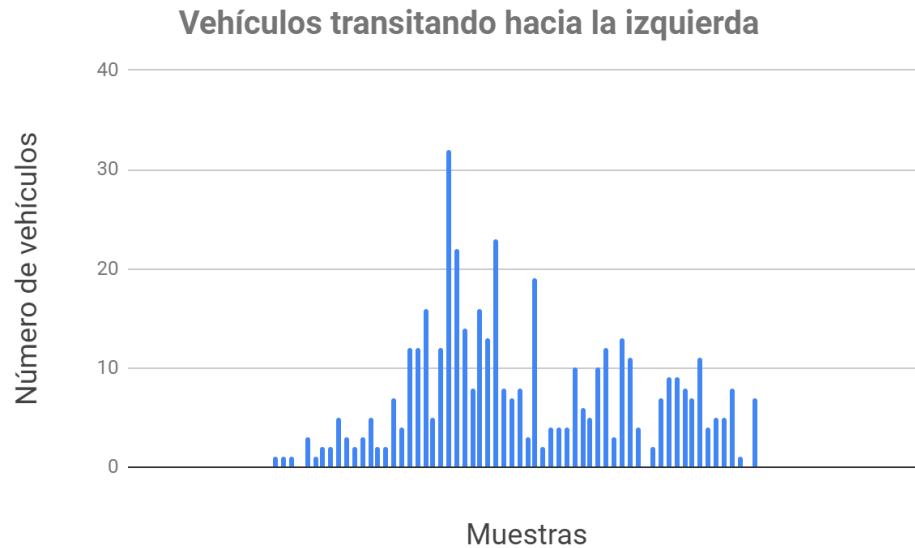


Contaminación acústica lluvia [Gráfico 10].



Niveles de temperatura lluvia [Gráfico 11].

Los gráficos siguientes fueron obtenidos a partir del día miércoles 3 de julio y corresponden al comportamiento del flujo vehicular en la calle que se encuentra detrás de la escuela de ingeniería eléctrica, como podemos observar se corrobora el comportamiento de la temperatura de tal manera que durante el inicio del día, cuando el sol empieza a salir, la temperatura en el suelo aumenta y sigue aumentando hasta llegar al punto del mediodía, luego la temperatura decrementa hasta llegar a sus puntos mínimos en la madrugada.

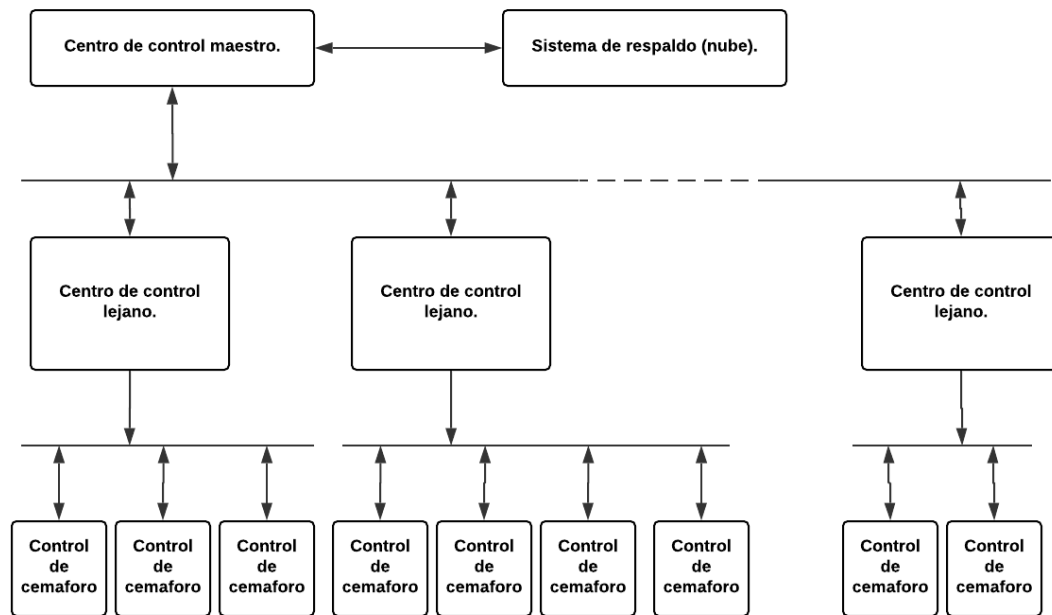


Grafica de vehiculos a la izquierda [Gráfico 12].

Al comparar las otras gráficas parece existir una clara tendencia de que los carros en la mañana cruzan de derecha a izquierda y en los horarios de la tarde-noche, de izquierda a derecha.

3.3 Proyecciones del sistema.

El sistema de control centralizado tiene como objetivo fundamental plantear el inicio de un conjunto de soluciones que permitan hacerle frente al complejo y progresivo problema de congestión vehicular, el sistema está diseñado de forma modular lo que permite poder instalar múltiples unidades de control de semáforos, sistemas de control lejano, como se puede apreciar en la siguiente imagen.



Proyección del sistema [Gráfico 14].

Entre los principales fundamentos aportados por el sistema, son la infraestructura de transmisión de datos, un sistema completo de recolección de datos ambientales que puede ser fácilmente expandido para adquirir otras variables como son la cantidad de lluvia percibida, la intensidad del viento, adquirir datos específicos como la concentración de gases en el ambiente como el Dióxido de carbono, monóxido de carbono, metano, también es posible agregar al sistema semáforos peatonales fácilmente sin tener que modificar en gran medida el sistema, entre otras posibles implementaciones.

3.3.1 Implementación en materia de seguridad.

La infraestructura propuesta puede ser utilizada como un mecanismo de seguridad de amplio espectro, debido a que al controlar cámaras de video en las intersecciones y calles, es fácil darle seguimiento a sucesos ocurridos en las proximidades de una localidad del sistema.

Así mismo sería conveniente instalar botones de pánico que permitan a la sociedad civil alertar de alguna situación de violencia, choques y cualquier suceso que se deba de ser reportado a las autoridades.

Sistemas de altavoces y parlantes que permitan comunicarse con la sociedad civil ubicada en la localidad con el objetivo de dar a conocer información importante como fuese el caso de evacuación, riesgo, información sobre centros de acopio en caso de emergencias, etc.

3.3.2 Implementación en mediciones ambientales para salud pública.

Una de las aplicaciones que se puede realizar sobre el sistema es la mejora en cuanto a captación de variables ambientales se refiere con fines estadísticos de salud, con el objetivo de establecer relaciones por medio de las estadísticas.

En la actualidad se están desarrollando diferentes tipos de sensores con capacidad de detectar agentes patógenos como el de la gripe, incorporado con este tipo de infraestructura sería muy fácil poder detectar focos de infección, el comportamiento y la progresión de las enfermedades.

3.3.3 Implementación de medición del impacto ambiental.

Otra de las aplicaciones que se pueden establecer a la infraestructura es un sistemas más completo de mediciones de variables del medio ambiente con el objetivo de realizar un análisis del efecto que tiene la actividad económica y social en el medio ambiente.

A través de la ampliación de los sensores se podría realizar una mapa de contaminación ambiental, lluvias en el área metropolitana, lectura de monóxido de carbono, dióxido de carbono, alarma de inundación por medio de sensores puestos en los desagües, contaminación acústica.

3.3.4 Implementación de nuevas tecnologías de control vehicular.

Actualmente existe una tendencia en el desarrollo de tecnologías y sistemas con aplicación directa sobre el tráfico vehicular, como medición de velocidad, análisis del comportamiento vehicular, comunicación de manera automática entre los vehículos y el sistema, en la mayoría si no en todos los casos, es necesario tener una infraestructura que permita un flujo de datos a un centro de procesamiento de información.

En esta medida la implementación de tecnología que permitiera desviar flujo vehicular por medio de indicaciones visuales, revertir carriles por medio de indicadores lumínicos en el asfalto, semáforos peatonales, o semáforos para persona con discapacidad auditiva, se convierte en algo más factible.

3.3.5 Implementación para conceptos Smart City.

A nivel mundial una gran demanda sobre la implementación de tecnologías para hacer la vida mucho más fácil para los seres humanos, ha dado paso al surgimiento de un concepto de ciudades con capacidad de resolver problemas energéticos, ecológicos ambientales, de transporte, seguridad y salud, utilizando tecnologías de la información.

Dentro del concepto Smart City existen diferentes enfoques y propuestas que por el momento no se han estandarizado a nivel mundial pero se encuentra dentro de los puntos de la Agenda de las Naciones Unidas sobre Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en el punto 11 establece el desarrollo de Ciudades y Comunidades Sostenibles.

Se espera que para el 2050 dos terceras partes de la humanidad se encontrarán viviendo en las áreas metropolitanas de los países, lo que implica que para poder realizar un adecuado desempeño de la vida humana es necesario la implementación de una fuerte infraestructura tecnológica que permita una interconexión de estas tecnologías.

Entre los enfoques más comunes de todas las propuestas se encuentran los sistemas de control, el tráfico vehicular, monitoreo de unidades de transporte público y interacción social

con la tecnología de la ciudad por medio de dispositivos personales (celulares, computadoras, tablets, etc.)

3.4 Conclusiones

Conclusiones Generales.

- A partir de la implementación del sistema de reconocimiento filmográfico descrito en el presente documento y utilizado en el desarrollo de las pruebas del prototipo, se identificaron parámetros importantes a tomar cuenta al instalar la cámara, como el ángulo con el que la cámara debe de proyectar la grabación dando tiempo suficiente para que el sistema procese la información y identifique los vehículos, esto es una característica propia de cada calle y debe ser tomada en cuenta en el momento de la implementación individual de los drivers.
- La instalación de un sistema SCADA para administración de tráfico vehicular permitirá gestionar de manera más eficiente las coordinaciones entre las diferentes arterias vehiculares de El Salvador, lo que nos permite inferir que de esta forma se reducirá el congestionamiento vehicular al establecer parámetros de operación en función de la demanda de tránsito vehicular en las diferentes intersecciones del sistema.
- La instalación del sistema podría funcionar con infraestructura inicial de un sistema de control existente, no solo de tránsito vehicular, sino también de seguridad y coordinación de otros sistemas como por ejemplo de seguimiento de unidades de transporte público.
- La infraestructura tecnológica propuesta en la presente tesis tiene como principal característica la transmisión bidireccional de datos desde el centro de mando hasta los

diferentes puntos de control, esta infraestructura tiene múltiples posibilidades de ser implementada en

Conclusiones Técnicas.

- Con base a las pruebas realizadas durante el período de funcionamiento en el exterior, se determinó que los métodos de alimentación deben ser mejorados debido a los recurrentes cortes de energía, los cuales, pueden dañar la electrónica sensible del sistema.
- Es necesaria la implementación de un blindaje ante campos magnéticos en el ambiente debido a la susceptibilidad de las memorias microSD a las corrientes inducidas por dichos campos, Estas corrientes podrían formatear las memorias perdiendo así el sistema operativo del prototipo.
- La fuente de energía tiende a generar calor debido a la disipación de voltaje no utilizado del regulador incorporado, por lo que es importante agregar sistemas de ventilación y disipación de temperatura, para evitar fallas en el sistema.
- Durante el periodo de prueba pudimos analizar el comportamiento de la Raspberry 3 modelo B+ como unidad de control cumple escasamente con las necesidades del sistema, por lo que se recomienda explorar otros tipos de SCB como la Raspberry 4 o Pine64 con mayor capacidad de procesamiento y memoria ram.

ANEXOS

ESQUEMÁTICOS, DATOS Y CÓDIGO.

A.1 Glosario técnico

HMI: Son las siglas en inglés de ‘Interfaz Humano Máquina’ es la parte del sistema que permite a un humano interactuar con el sistema. De una manera básica es el punto en el que una persona encargada de la supervisión del sistema puede interactuar y tener la capacidad de cambiar las variables que existen en el sistema.

Microcontrolador: Se trata de un circuito integrado que se puede programar, capaz de ejecutar las órdenes que se encuentran en su memoria, compuesto de muchos bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea en específica. Un microcontrolador incluye las tres principales unidades que realizan las tareas de una computadora. Recolectar datos, procesarlos y generar salidas.

Protocolo de comunicación: es un conjunto de reglas que permiten que dos o más entidades de un sistema se comuniquen entre ellas para transmitir datos o información por medio de algún tipo de variación de una magnitud física. Se trata de las reglas o el estándar que define la sintaxis, sincronización y semántica de la comunicación, Esto lleva a la recuperación de datos por medio de la evaluación de errores a la hora de recolectar datos.

Raspberry: Dispositivo diseñado de tal manera que supla todas las necesidades básicas que tiene una computadora para ser llamada ‘computadora’, es una placa con la capacidad de tener un teclado, mouse y monitor conectados en su haber con el fin de adquirir y procesar datos.

SCADA: son las siglas de Supervision Control And Data Acquisition, y hace referencia directa a la adquisición de datos de un sistema y su posterior procesamiento.

Sensor: Es un dispositivo que tiene la capacidad de transformar una variable física en otra variable (generalmente eléctrica) la cual puede ser fácilmente asimilable y procesada por un microcontrolador.

Transductor eléctrico: es un dispositivo sensible a una variación física que transforma dicha magnitud a una magnitud física diferente, en la actualidad los transductores más populares son los que permiten transformar magnitudes físicas a magnitudes eléctricas.

Sistema: es un conjunto de variables que interaccionan entre sí las cuales tienen como propósito producir salidas con base a entradas.

Sistema embebido: los sistemas embebidos están diseñados para lograr una tarea en específico y tiene como objetivo llevar a cabo la comunicación entre dos partes que pretenden llevar información de un punto A a un punto B.

TNC: Son las siglas de 'Terminal NodeController' el cual es un dispositivo que tienen la capacidad de transformar datos digitales a la banda de audio que pueden ser transmitidos fácilmente por un radio que tenga como función principal transmitir voz.

Telemetría: Etimológicamente hace referencia a las 'mediciones a largas distancias' y hace referencia al proceso en conjunto de la recolección de información y el tráfico de la misma a distancias considerables por medio de un canal de comunicación en específico, ya sea enlace radio, fibra óptica, etc.

Interfaz: En inglés lo conocemos con 'interface' que quiere decir 'superficie de contacto', en informática hace referencia a la conexión funcional entre dos sistemas, esto puede hacer referencia a software o hardware.

Normativa: Las normativas hacen referencia a un conjunto de lineamientos que debe llevar un proceso de un área determinada la cual está amparada por la ley, esto quiere decir que es obligatorio que las normativas se cumplan.

Estándar: Los estándares hacen referencia a los lineamientos que se siguen en distintas disciplinas como sugerencia de entidades reguladoras para un mejor desempeño en la realización del trabajo requerido, si bien no hay connotaciones jurídicas se consideran de gran importancia a la hora de realizar proyectos pues se basan en conocimientos técnicos del área involucrada.

MQTT (Transporte de telemetría mediante cola de mensajes): Es un protocolo de comunicación bidireccional que permite la interacción punto a punto entre sistemas por medio de publicación y suscripción de mensajes con una buena administración de los recursos del sistema a comparación con otros protocolos.

TCP/IP: Protocolo de red más utilizado en la actualidad que provee conectividad de red, protocolo principal de internet que provee conectividad de extremo a extremo especificando como los datos deben ser formateados, direccionados, transmitidos, enrutados y recibidos por el destinatario.

OpenCV:(Open SourceComputerVision) es una librería open source de visión por computador, análisis de imagen y aprendizaje automático. Para ello dispone de infinidad de algoritmos que permiten, con sólo escribir unas pocas líneas de código, identificar rostros, reconocer objetos, clasificarlos, detectar movimientos de manos y automóviles.

MySQL: Se trata de un gestor de bases de datos de código abierto basado en el lenguaje de consulta estructurado SQL disponible para plataformas de Windows, Linux, UNIX.

Node.js: Es un entorno de ejecución de JavaScript orientado a eventos no síncronos, está diseñado para construir aplicaciones en red escalables.

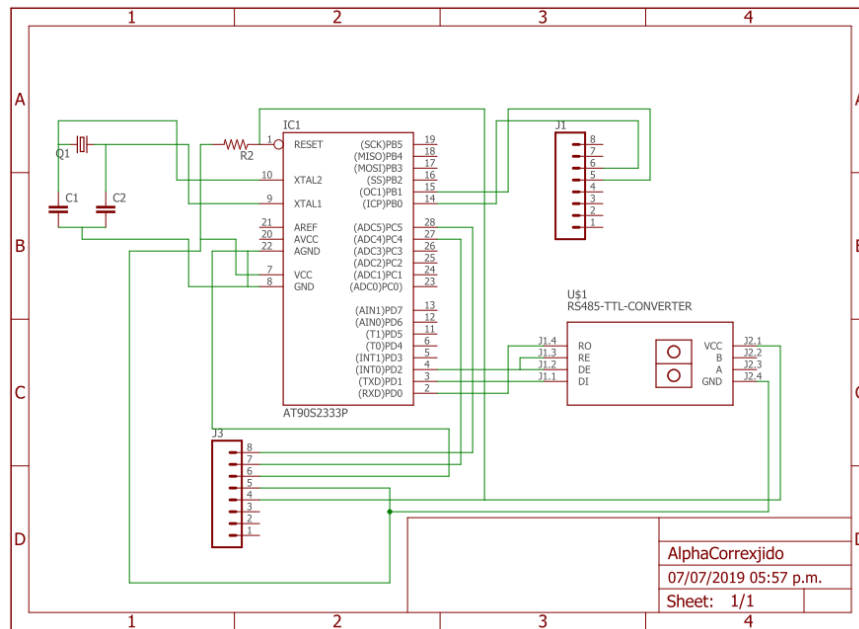
Shell Bash: (Bourne-againshell), se trata de un programa informático cuya función consiste en interpretar órdenes, y un lenguaje de consola. Es un shell de Unix compatible con POSIX y el intérprete de comandos por defecto en la mayoría de las distribuciones GNU/Linux, además de macOS. También se ha llevado a otros sistemas como Windows y Android.

TICS:La tecnología de la información y las comunicaciones (TIC) es un término extensivo para la tecnología de la información (TI) que destaca el papel de las comunicaciones unificadas y la integración de las telecomunicaciones (líneas telefónicas y señales inalámbricas) y las computadoras, así como el software empresarial necesario, el middleware, sistemas de almacenamiento y audiovisuales, que permiten a los usuarios acceder, almacenar, transmitir y manipular información.

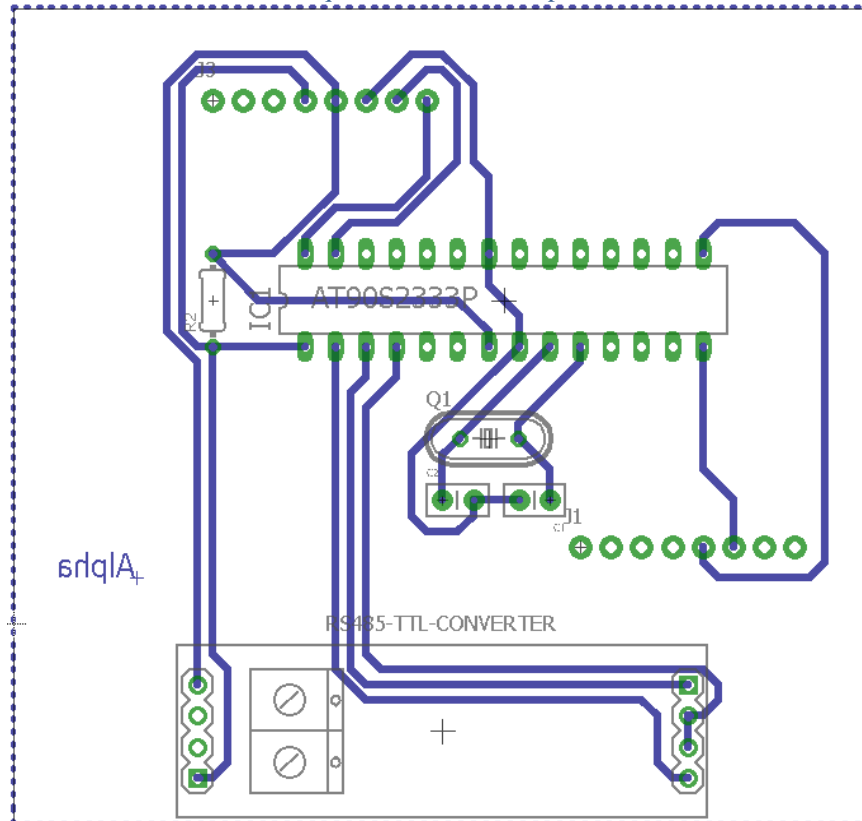
Open Source: Las palabras Open Source hacen referencia a las tecnologías de software y hardware desarrolladas por la comunidad homónima la cual tiene como objetivo generar tecnologías de código abierto, permitiendo el uso y el mejoramiento de estas tecnologías sin necesidad de la adquisición de una licencia.

Xastir: Xastir proporciona funciones de mapeo, seguimiento, mensajería, clima, alertas meteorológicas y funciones de Búsqueda y Rescate a través de la radio o Internet y se ejecuta en una variedad de plataformas.

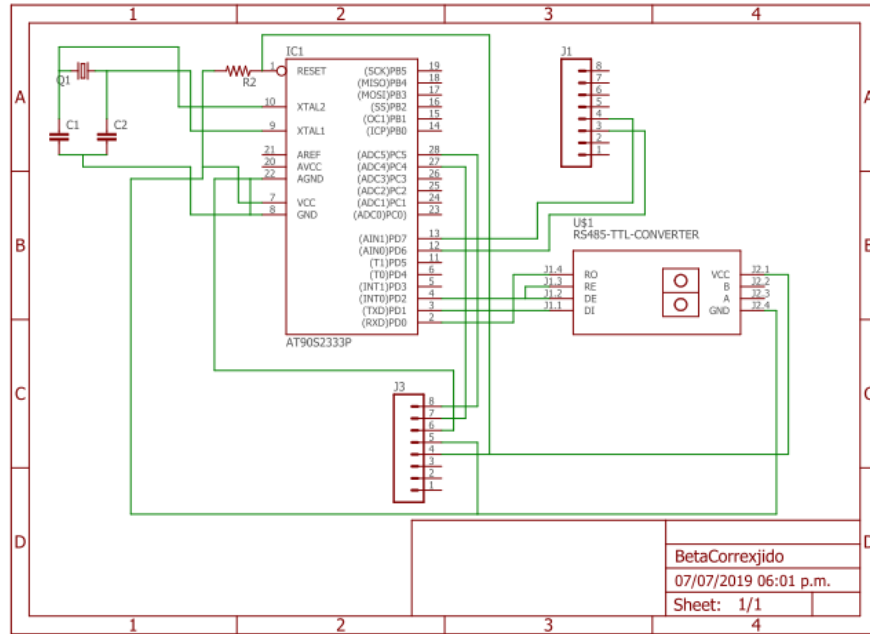
A.2 Circuitos



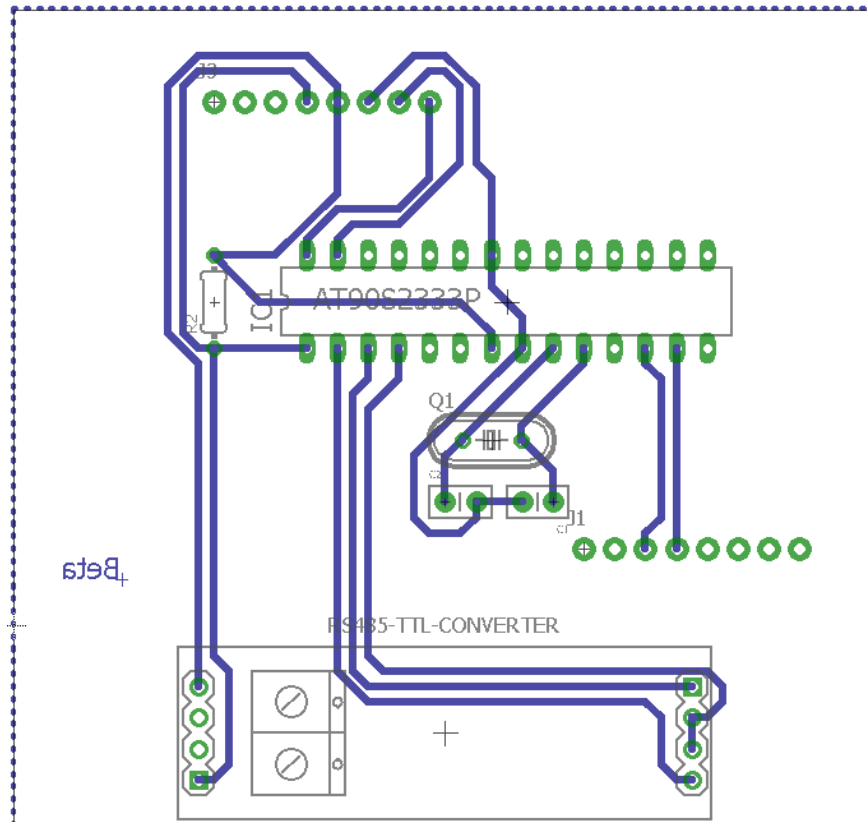
Esquemático Unidad Alpha.



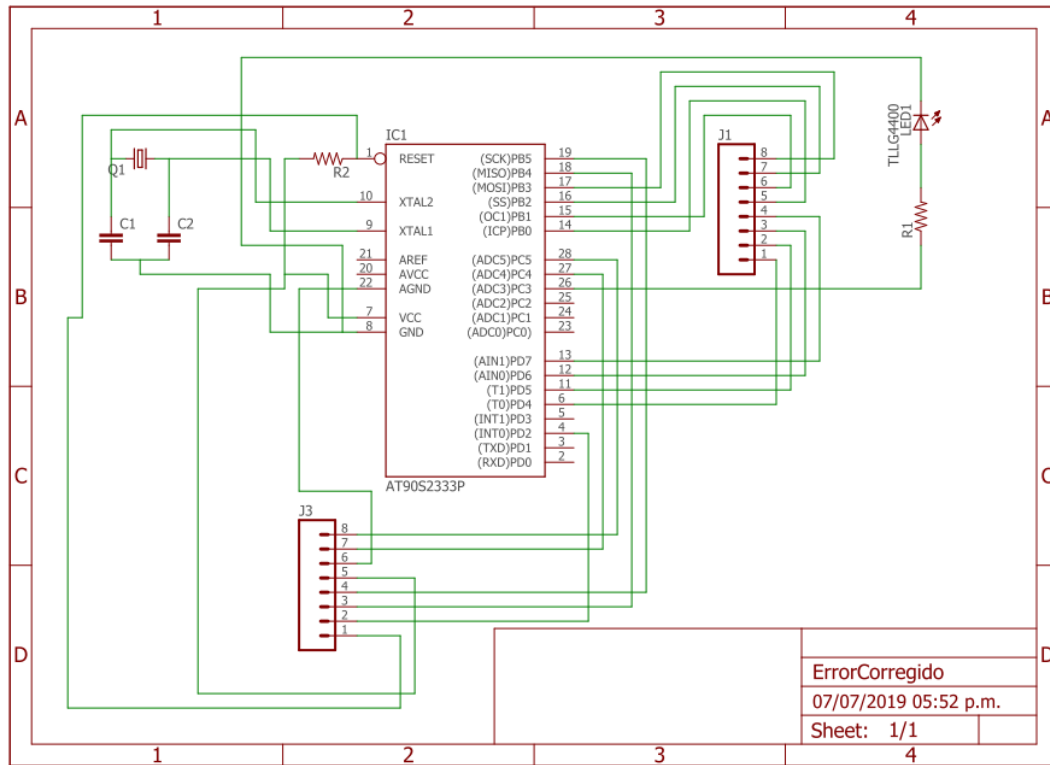
PCB Unidad Alpha.



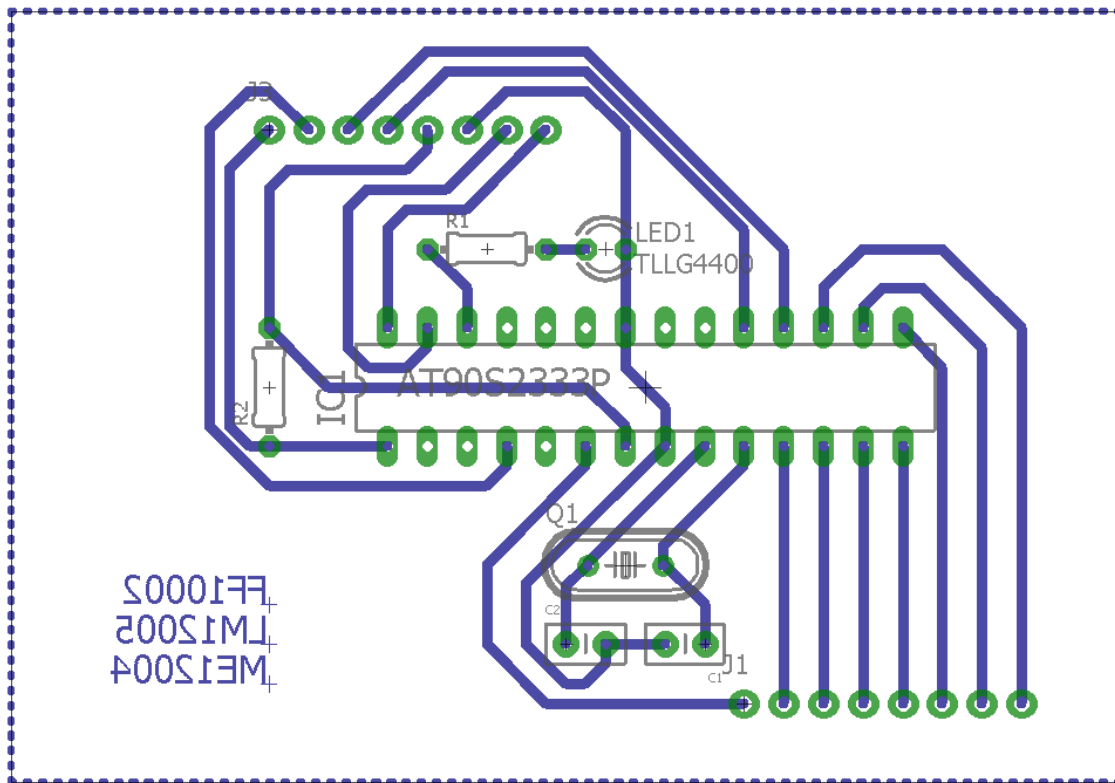
Esquemático Unidad Beta.



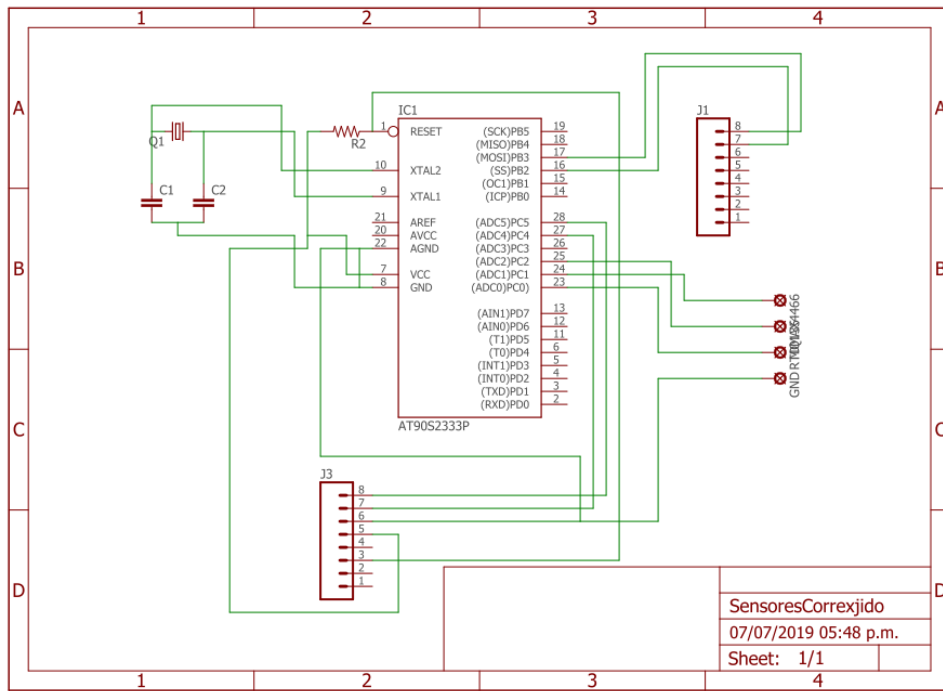
PCB Unidad Beta.



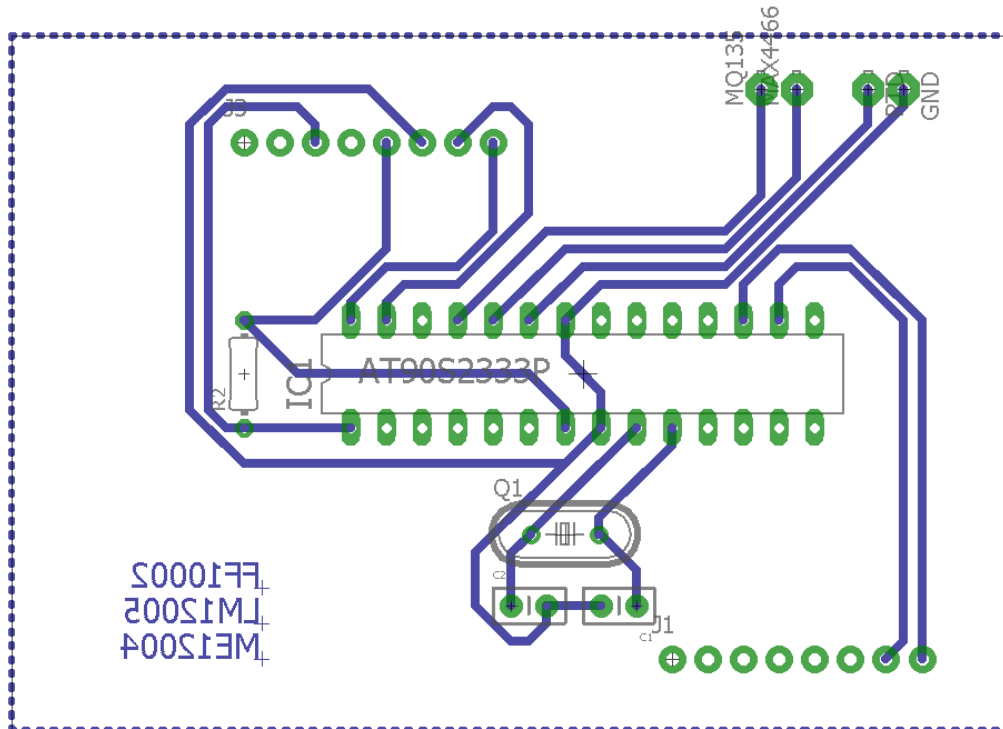
Esquemático Unidad de ERROR.



PCB Unidad ERROR.



Esquemático Unidad de Sensores.



PCB Unidad de Sensores.

A.3 Códigos

Código de openCV para detección de vehículos

```
import cv2
import numpy as np
import vehículos
import time

cnt_derecha=0
cnt_izquierda=0

cap=cv2.VideoCapture('0')

#Get width and height of video

w=cap.get(3)
h=cap.get(4)
frameArea=h*w
areaTH=frameArea/1000

#Lines
line_up=int(2*(h/5))
line_down=int(3*(h/5))

up_limit=int(1*(h/5))
down_limit=int(4*(h/5))
```

```
line_down_color=(255,0,0)
line_up_color=(255,0,255)
pt1 = [0, line_down]
pt2 = [w, line_down]
pts_L1 = np.array([pt1,pt2], np.int32)
pts_L1 = pts_L1.reshape((-1,1,2))
pt3 = [0, line_up]
pt4 = [w, line_up]
pts_L2 = np.array([pt3,pt4], np.int32)
pts_L2 = pts_L2.reshape((-1,1,2))

pt5 = [0, up_limit]
pt6 = [w, up_limit]
pts_L3 = np.array([pt5,pt6], np.int32)
pts_L3 = pts_L3.reshape((-1,1,2))
pt7 = [0, down_limit]
pt8 = [w, down_limit]
pts_L4 = np.array([pt7,pt8], np.int32)
pts_L4 = pts_L4.reshape((-1,1,2))

#Background Subtractor
fgbg=cv2.createBackgroundSubtractorMOG2(detectShadows=True)

#Kernels
kernalOp = np.ones((3,3),np.uint8)
kernalOp2 = np.ones((5,5),np.uint8)
kernalCl = np.ones((11,11),np.uint8)

font = cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX
cars = []
```

```

max_p_age = 5
pid = 1

while(cap.isOpened()):
ret,frame=cap.read()
    img2=cv2.flip(frame,-1)
    for i in cars:
i.age_one()
fgmask=fgbg.apply(frame)
    fgmask2=fgbg.apply(frame)

    if ret==True:

#Binarization
ret,imBin=cv2.threshold(fgmask,200,255,cv2.THRESH_BINARY)
ret,imBin2=cv2.threshold(fgmask2,200,255,cv2.THRESH_BINARY)
    #Openingi.e First Erode the dilate
    mask=cv2.morphologyEx(imBin,cv2.MORPH_OPEN,kernalOp)
    mask2=cv2.morphologyEx(imBin2,cv2.MORPH_CLOSE,kernalOp)

#Closing i.e First Dilate then Erode
    mask=cv2.morphologyEx(mask,cv2.MORPH_CLOSE,kernalCl)
    mask2=cv2.morphologyEx(mask2,cv2.MORPH_CLOSE,kernalCl)

#FindContours
→
countours0,hierarchy=cv2.findContours(mask,cv2.RETR_EXTERNAL,cv2.CHAIN_APPROX_NONE)
    for cnt in countours0:
        area=cv2.contourArea(cnt)

```

```

print(area)
if area>areaTH:
    #####Tracking#####
    m=cv2.moments(cnt)
    cx=int(m['m10']/m['m00'])
    cy=int(m['m01']/m['m00'])
x,y,w,h=cv2.boundingRect(cnt)

new=True
if cy in range(up_limit,down_limit):
    for i in cars:
        if abs(x - i.getX()) <= w and abs(y - i.getY()) <= h:
            new = False
            i.updateCoords(cx, cy)

                if i.Hacia_arriba(line_down,line_up)==True:
cnt_up+=1
print("ID:",i.getId(),'crossed going up at', time.strftime("%c"))
elif i.Hacia_abajo(line_down,line_up)==True:
cnt_down+=1
print("ID:", i.getId(), 'crossed going up at', time.strftime("%c"))
break
if i.getState()=='1':
                if i.getDir()=='down'andi.getY()>down_limit:
i.setDone()
elif i.getDir()=='up'andi.getY()<up_limit:
i.setDone()

                if i.timedOut():
                    index=cars.index(i)
cars.pop(index)
del i

```

```

if new==True: #If nothing is detected,create new
    p=vehículos.Car(pid,cx,cy,max_p_age)
cars.append(p)
pid+=1

cv2.circle(frame,(cx,cy),5,(0,0,255),-1)
img=cv2.rectangle(frame,(x,y),(x+w,y+h),(0,255,0),2)

for i in cars:
    cv2.putText(frame, str(i.getId()), (i.getX(), i.getY()), font, 0.3, i.getRGB(), 1,
cv2.LINE_AA)

str_derecha='Derecha: '+str(cnt_up)
str_izquierda='Izquierda: '+str(cnt_down)
frame=cv2.polylines(frame,[pts_L1],False,line_down_color,thickness=2)
frame=cv2.polylines(frame,[pts_L2],False,line_up_color,thickness=2)
#frame=cv2.polylines(frame,[pts_L3],False,(255,255,255),thickness=1)
#frame=cv2.polylines(frame,[pts_L4],False,(255,255,255),thickness=1)
cv2.putText(frame, str_up, (10, 40), font, 0.5, (255, 255, 255), 2, cv2.LINE_AA)
cv2.putText(frame, str_up, (10, 40), font, 0.5, (0, 0, 255), 1, cv2.LINE_AA)
cv2.putText(frame, str_down, (10, 90), font, 0.5, (255, 255, 255), 2, cv2.LINE_AA)
cv2.putText(frame, str_down, (10, 90), font, 0.5, (255, 0, 0), 1, cv2.LINE_AA)
cv2.imshow('Frame',frame)

if cv2.waitKey(1)&0xff==ord('q'):
    break

```

```
else:  
    break  
  
cap.release()  
cv2.destroyAllWindows()
```

Código para crear la clase Vehículos

```
from random import randint  
import time  
  
class Car:  
    tracks=[]  
    def __init__(self,i,xi,yi,max_age):  
self.i=i  
self.x=xi  
self.y=yi  
self.tracks=[]  
self.R=randint(0,255)  
self.G=randint(0,255)  
self.B=randint(0,255)  
self.done=False  
self.state='0'  
self.age=0  
self.max_age=max_age  
self.dir=None  
  
    def getRGB(self): #For the RGB colour  
        return (self.R,self.G,self.B)  
    def getTracks(self):
```

```
        return self.tracks

    def getId(self): #For the ID
        return self.i

    def getState(self):
        return self.state

    def getDir(self):
        return self.dir

    def getX(self): #for x coordinate
        return self.x

    def getY(self): #for y coordinate
        return self.y

    def updateCoords(self, xn, yn):
self.age = 0
self.tracks.append([self.x, self.y])
self.x = xn
self.y = yn

    def setDone(self):
self.done = True

    def timedOut(self):
        return self.done

    def Hacia_arriba(self, mid_start, mid_end):
        if len(self.tracks)>=2:
```

```
        if self.state=='0':
            if self.tracks[-1][1]<mid_end and self.tracks[-2][1]>=mid_end:
                state='1'
self.dir='up'
        return True
    else:
        return False
    else:
        return False
else:
return False

def Hacia_abajo(self, mid_start,mid_end):
    if len(self.tracks)>=2:
        if self.state=='0':
            if self.tracks[-1][1]>mid_start and self.tracks[-2][1]<=mid_start:
                start='1'
self.dir='down'
        return True
    else:
        return False
    else:
        return False
else:
return False

def age_one(self):
self.age+=1
    if self.age>self.max_age:
self.done=True
return True
```

```
#Class2
```

```
classMultiCar:
```

```
def __init__(self,cars,xi,yi):
```

```
self.cars=cars
```

```
self.x=xi
```

```
self.y=yi
```

```
self.tracks=[]
```

```
self.R=randint(0,255)
```

```
self.G=randint(0,255)
```

```
self.B=randint(0,255)
```

```
self.done=False
```

BIBLIOGRAFÍA

- Python for computer vision with opencv and deep learning, cursoconsultado de: <https://www.udemy.com>
- Opencv home page <https://opencv.org/>
- Mysql home page <https://www.mysql.com/>
- Advanced MP, The Future of Smart Cities and Sensors (Consultado 11/11/17) recuperado de: <http://www.advancedmp.com>
- Kineo, ingeniería informática y electrónica, Técnicas de gestión de tráfico (Consultado 5/11/17) recuperado de: <http://www.sistemasdepesaje.com/>
- ORDENANZA REGULADORA DE LA CONTAMINACION AMBIENTAL POR LA EMISION DE RUIDOS EN EL MUNICIPIO DE SAN SALVADOR, extrída de: <http://www.sansalvador.gob.sv/transparencia/category/36-ordenanzas>
- A new manual for TNC-Pi is now available. It's now easier than ever to configure a Raspberry Pi and TNC-Pi recuperado, de:<https://tnc-x.com/TNCPi.htm>
- Uso de librerías y desarrollo de código, recuperado de:<https://www.arduino.cc>
- Conceptos básicos de node.js, guías, características de ES6 y Referencia de la API recuperado de:<https://nodejs.org/es/>
- Información general y conceptos básicos, recuperado de:<https://opencv.org>
- Apreciaciones información en general de la norma **ISA 101 HMI**, recuperado de:<https://www.isa.org/isa101/>

- Apreciaciones información en general de la norma **ISO 9241**, recuperado de:<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-11:ed-2:v1:en>
- Apreciaciones información en general de la norma **ISA99**, recuperado de:<https://www.isa.org/isa99/>
- Información detallada sobre el protocolo Modbus, recuperado de:<https://www.ni.com/es-cr/innovations/white-papers/14/the-modbus-protocol-in-depth.html>
- Características principales del AX25 https://www.tapr.org/pub_ax25.html
- Características principales del protocolo TCP/IP <https://definicion.de/tcp-ip/>
- Características principales del protocolo TCP/IP <http://mqtt.org>
- Nociones, Conceptos, sugerencias, sobre implementación de Packet Radio https://www.google.com/search?q=Packet+Radio&client=opera&hs=8Bv&tbm=isch&source=lnms&sa=X&ved=0ahUKEwjrgJf9-rzjAhWHm-AKHaxgCSIQ_AUICigB&biw=1033&bih=519&dpr=1.5#imgrc=Q6q4Wotv17CmLM:
- Conceptos generales de GNU/Linux <https://www.ecured.cu/GNU/Linux>
- Descarga gratuita del sistema operativo, conceptos generales e indicaciones <https://www.raspberrypi.org/downloads/raspbian/>
- Conceptos, comandos, indicaciones, etc sobre el software Xastir https://xastir.org/index.php/Main_Page

- Características técnicas del ATMEGA328 e imágenes de referencia
http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf
- Informe Boletín 170 desarrollado por la Cepal
https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36069/9/FAL_Bolet%C3%ADn170_es.pdf
- La Congestion del tránsito urbano: causas y consecuencias economicas y sociales
https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6381/1/S01060513_es.pdf