UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

PROPUESTA DE SEÑALÉTICA INTELIGENTE PARA LA REGULARIZACIÓN DE TRÁFICO VEHICULAR EN TÚNEL JARDÍN BOTÁNICO RUTA LAS PALMAS

Trabajo de Titulación para optar al Título Profesional de Ingeniero de Ejecución en CONTROL E INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

Alumno:
Julio César Gacitúa Vergara
Profesor Guía:
Franz Max Yurjevic Perin

2021

RESUMEN

KEYWORDS: FLUJO VEHICULAR, SEÑALÉTICA VARIABLE, TIEMPO TRANSICIÓN DE PULSO, DENSIDAD VEHICULAR, ENERGIAS RENOVABLES.

Las señaléticas de mensaje variable en Chile han ganado terreno en nuestras carreteras, gracias al dinamismo de la información que esta pueden ofrecer en un solo letrero y espacio físico, posibilitando en alertar a conductores sobre acontecimientos y eventos que están ocurriendo en tiempo real; esto sin lugar a dudas mejora sustancialmente la seguridad vial.

La propuesta de señalética vial inteligente se desarrolla en la ruta 64, con una topografía bastante accidentada y que comprende tanto cerros con pendiente pronunciadas, como también el paso de la ruta por un túnel de 248 [m] de largo y un viaducto de 336 [m] de largo. A raíz de aquella topografía, esta presenta una alta tasa de accidentes de tránsito vehicular, el proyecto está destinado a disminuir los cotos sociales a raíz de los accidentes vehiculares que se producen en túnel “Jardín Botánico” de Viña del Mar.

En el desarrollo de la propuesta, primero se define la génesis de la problemática vial existente en las inmediaciones del túnel “Jardín Botánico”, describiendo el entorno en que está inmersa la propuesta, tomando en consideración el alto flujo y las detenciones vehiculares a lo largo de la vía; luego se describen los principales aspectos técnico del proyecto, tales como los requerimientos de cálculos para realizar un correcto sensado de flujo vehicular por parte de los controladores, como también el tipo de sensor a utilizar y los medios de trasferencia de la variable de control para la correcta presentación de la información en la señalética vial variable. Posteriormente se realiza una evaluación económica de acuerdo con la tasa de accidentabilidad vehicular presente en la zona de estudio con respecto a los costos sociales por accidente. El proyecto vial adquiere una cierta ponderación de acuerdo con la disminución de accidente de tránsito y esto se ve reflejado directamente en los costos finales.

En conclusión, se entregan los resultados del proyecto evidenciando su factibilidad y rentabilidad.

ÍNDICE

RESUMEN **1**

INTRODUCCIÓN **1**

CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA **3**

1 DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA **4**

1.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA **4**

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA **7**

1.2.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA 7
1.2.2 IMPORTANCIA DE RESOLVERLO 8
1.2.3 INVOLUCRADOS 9

1.3 SOLUCIÓN AL PROBLEMA **10**

1.3.1. REQUERIMIENTOS 10
1.3.2. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN 13
1.3.3. VALOR AGREGADO 14

1.4 OBJETIVOS **14**

1.4.1. OBJETIVO GENERAL 14
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 14

CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD TÉCNICA **10**

2 ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD TECNICA **11**

2.1 CRITERIOS DE DISEÑO **11**

2.2 LÓGICA DE DISCERNIMIENTO DE TRÁFICO SATURADO **13**

2.2.1 TOMA DE MUESTRA DE FLUJO VEHICULAR EN VIADUCTO SALTO LARGO 14
2.2.1.1 CÁLCULO DE VELOCIDAD MEDIA CON TRÁFICO SATURADO Y TRÁFICO VEHICULAR NO SATURADO SEGÚN AFORO VEHICULAR 16
2.2.1.2 COMPARACIÓN DE COHERENCIA DE LAS MUESTRAS TOMADAS EN EL VIADUCTO EN FUNCIÓN DE LA DENSIDAD DE CONGESTIONAMIENTO 17
2.2.2. CÁLCULO DE PARÁMETRO A UTILIZAR PARA LÓGICA DE DISCERNIMIENTO DE FLUJO VEHICULAR SATURADO Y NO SATURADO 18
2.2.2.1 MODELO LINEAL DE GREENSHIELDS 18
2.2.2.2. CÁLCULO DE TRANSICIÓN DE TIEMPO POR VEHÍCULO A MÁXIMO FLUJO VEHICULAR EN FUNCIÓN DEL LARGO VEHICULAR 19
2.2.2.3 CÁLCULO DE TRANSICIÓN DE TIEMPO POR VEHÍCULO CON VELOCIDAD MÁXIMA PERMISIBLE PARA TRÁFICO VEHICULAR SATURADO Y TRÁFICO VEHICULAR NO SATURADO EN FUNCIÓN DEL LARGO VEHICULAR 21
2.2.2.4 CÁLCULO DE TRANSICIÓN DE TIEMPO POR VEHÍCULO EN BASE A AFORO VEHICULAR TANTO PARA TRÁFICO VEHICULAR SATURADO Y TRÁFICO VEHICULAR NO SATURADO EN FUNCIÓN DEL LARGO VEHICULAR 21
2.2.2.5. SENSADO DE TIEMPO BAJO CONCEPTO MICROSCÓPICO DE MODELAMIENTO VEHICULAR TANTO PARA TRÁNSITO COMO DETENCIONES MEDIDO BAJO UN FLUJO VEHICULAR SATURADO 22
2.2.3 CONCLUSIONES SOBRE CRITERIO A UTILIZAR PARA LÓGICA DE DISCERNIMIENTO DE TRÁFICO VEHICULAR 22

2.3 DISPOSITIVOS A UTILIZAR **24**

2.3.1 SENSOR 25
2.3.1.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO 26
2.3.1.2 ESTRUCTURA FÍSICA DEL RADAR VEGAPULS C 11 27
2.3.1.3 CONVERSOR DE CORRIENTE A VOLTAJE PARA LA COMUNICACIÓN DEL RADAR CON TARJETA DE DESARROLLO ARDUINO 29
2.3.1.4 PARAMETRIZACIÓN SENSOR VEGAPULS C 11 30
2.3.2 MICROCONTROLADORES 31
2.3.2.1 ARDUINO UNO 32
2.3.2.2 ARDUINO MEGA 2560 33
2.3.3 FUENTES DE ALIMENTACIÓN 34

2.3.3.1 FUENTES REGULADORAS DE TENSIÓN 35
2.3.3.2 PANELES SOLARES 37

2.4 SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE SEÑALES 39

2.4.1 FIBRA ÓPTICA 40
2.4.1.1 FIBRA ÓPTICA A UTILIZAR 41
2.4.1.2 MÓDULO CONVERSOR BIDIRECCIONAL DE SEÑAL TTL A SEÑAL ÓPTICA 42
2.4.2 TRANSMISOR INALÁMBRICA LORA E32 45
2.4.2.1 TIPO DE OPERACIÓN Y TRANSMISIÓN 46
2.4.2.2 DISTRIBUCIÓN DE PINES Y MODOS DE CONFIGURACIÓN 47

2.5 SEÑALÉTICA VIAL 50

2.5.1 NORMATIVA VIGENTE PARA LA REGULACIÓN DE LA SEÑALÉTICA VIAL 50
2.5.2 SEÑALÉTICA MENSAJE VARIABLE ASPA-FLECHA Y DÍGITOS NUMÉRICOS 51
2.5.2.1 SEÑALÉTICA MENSAJE VARIABLE ASPA-FLECHA 52
2.5.2.2 PANTALLAS SMV 54
2.5.3 INTERFAZ GRÁFICA 56

2.6 SOFTWARE Y HARDWARE DEL SISTEMA DE SEÑALÉTICA MENSAJE VARIABLE 57

2.6.1 SOFTWARE 57
2.6.1.1 CONSTRUCCIÓN GENERAL DE LA COMUNICACIÓN ENTRE LOS DIFERENTES MÓDULOS 57
2.6.1.2 LÓGICA DE CONTROL MÓDULO DETECTOR CONGESTIÓN VEHICULAR POR ZONAS DE SENSADO 59
2.6.1.3 LÓGICA DE CONTROL MÓDULO DETECTOR DE CONGESTIÓN VEHICULAR ZONA 4 63
2.6.1.4 LÓGICA DE CONTROL MÓDULO DE DISCERNIMIENTO DE ZONAS DE CONGESTIÓN VEHICULAR 67
2.6.1.5 LÓGICA DE CONTROL MÓDULO COORDINADOR SEÑALÉTICA VARIABLE 69
2.6.1.6 LÓGICA DE TRANSMISIÓN DE VARIABLE DE CONTROL 74
2.6.2 HARDWARE (ESTRUCTURACIÓN) 80
2.6.2.1 CONSTRUCCIÓN GENERAL ESQUEMÁTICA DEL PROYECTO 82
2.6.2.2. SUMINISTRO ELÉCTRICO A LOS DIFERENTES USUARIOS 84

CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN ECONÓMICA 85

3.1 EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO 86

3.2 COSTOS ECONÓMICOS DE LOS SINIESTROS VIALES EN CHILE 86

3.2.1 COSTO SOCIAL TOTAL ASOCIADO A LESIONADOS 87
3.2.2 COSTOS SOCIALES TOTALES DE LOS SINIESTROS DE TRÁNSITO 88

3.3 ACCIDENTES ANUALES EN RUTA 64 "TÚNEL JARDÍN BOTÁNICO" 89

3.3.1 CUANTIFICACIÓN DE COSTOS EN FUNCIÓN DE ACCIDENTES ANUALES QUE SUCEDEN EN TÚNEL JARDÍN BOTÁNICO 89

3.4 COSTOS DE INVERSIÓN 90

3.4.1 COSTOS DE ADQUISICIÓN DE MATERIALES Y EQUIPOS 91
3.4.2 COSTOS DE MANO DE OBRA 92
3.4.3 COSTOS DE IMPREVISTOS 94
3.4.3 COSTOS DE DISEÑO 95
3.4.4 COSTOS DE INVERSIÓN 95

3.5 ANÁLISIS DE RECUPERACIÓN DE INVERSION DE INSTALACIÓN DE SEÑALÉTICA VIAL INTELIGENTE EN FUNCIÓN DE LOS COSTOS POR ACCIDENTE DE TRÁNSITO 95

CONCLUSIONES 100

BIBLIOGRAFÍA 102

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1-1: UBICACIÓN GEOGRÁFICA RUTA 64 TÚNEL “JARDÍN BOTÁNICO” 5
FIGURA 1-2: UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE BIFURCACIÓN HACÍA AUTOPISTA “TRONCAL SUR” 6
FIGURA 1-3: UBICACIÓN GEOGRÁFICA PATRÓN DE CONGESTIÓN EN BIFURCACIÓN AUTOPISTA “TRONCAL SUR” 6
FIGURA 1-4: ÁREA DE EMBOTELLAMIENTO PRODUCIDO POR LA BIFURCACIÓN HACÍA AUTOPISTA “TRONCAL SUR” 7
FIGURA 1-5: DIAGRAMA DE ISHIKAWA 8
FIGURA 1-6: ACCIDENTE MÚLTIPLE EN ACCESO NORTE TÚNEL “JARDÍN BOTÁNICO” RUTA-64 9
FIGURA 1-7: ACCIDENTE ACCESO NORTE TÚNEL “JARDÍN BOTÁNICO” 10
FIGURA 1-8: ZONA DE PELIGRO RUTA 64 TÚNEL “JARDÍN BOTÁNICO” RUTA-64 12
FIGURA 1-9: DISEMINACIÓN DE SENSORES EN RUTA 64, EN TÚNEL “JARDÍN BOTÁNICO” 13
FIGURA 2-1: UBICACIÓN SEÑALÉTICA DE MENSAJE VARIABLE 12
FIGURA 2-2: UBICACIÓN DE SENSORES. 13
FIGURA 2-3: UBICACIÓN DE PUNTO TOMA DE MUESTRAS DE FLUJO VEHICULAR 15
FIGURA 2-4: RELACIÓN LINEAL ENTRE LA VELOCIDAD Y LA DENSIDAD. 19
FIGURA 2-5: RELACIÓN LINEAL ENTRE LA VELOCIDAD Y LA DENSIDAD VEHICULAR, PUNTO SINGULAR. 20
FIGURA 2-6: SENSOR VEGAPULS C 11 25
FIGURA 2-7: COMPONENTES GENERALES SENSOR VEGAPULS C 11 27
FIGURA 2-8: ESQUEMA DE ALIMENTACIÓN SENSOR VEGAPULS C 11 28
FIGURA 2.9: CONEXIÓN DEL TRANSMISOR CON EL MÓDULO CONVERTIDOR DE CORRIENTE A VOLTAJE. 28
FIGURA 2-10: MÓDULO CONVERSOR DE CORRIENTE A VOLTAJE 30
FIGURA 2-11: EJEMPLO DEL PLANO DE REFERENCIA PARA PODER EXTRAPOLAR LA MEDIDA EN EL SENSOR 31
FIGURA 2-12: MÓDULO ARDUINO UNO 32
FIGURA 2-13: ENTORNO IDE ARDUINO 33
FIGURA 2-14: MÓDULO ARDUINO MEGA 2560 34
FIGURA 2-15: FUENTES REGULADORAS DE TENSIÓN PARA DIFERENTES DISPOSITIVOS DEL PROYECTO 35
FIGURA 2-16: KIT FOTOVOLTAICO DE 500 [WPEACK] 38
FIGURA 2-17: TIPOS DE ALIMENTACIÓN 220 VAC, PARA LAS 5 ESTACIONES DEL PROYECTO. 39
FIGURA 2.18: TRAYECTO DEL RAYO DE LUZ EN UNA FIBRA ÓPTICA 40
FIGURA 2-19: VISTA EN CORTE DE LOS DOS PRINCIPALES TIPOS DE FIBRAS 42
FIGURA 2-21: MÓDULO CONVERSOR ND08, ÓPTICO A TTL, TRANSMISIÓN BIDIRECCIONAL. 43
FIGURA 2-22: MÓDULO CONVERSOR ND08, ÓPTICO A TTL, TRANSMISIÓN BIDIRECCIONAL VISTA TRASERA 44
FIGURA 2-23: MÓDULO LORA E32 45
FIGURA 2-24: TIPOS DE TRASMISIÓN MÓDULO LORA E32. 46
FIGURA 2-25: MENSAJE FIJO LORA E32 A UN DISPOSITIVO FIJO 47

FIGURA 2-26: PRESENTACIÓN DE TRANSMISIÓN DE MENSAJE A UN CONJUNTO DE DISPOSITIVO DE CANAL 47
FIGURA 2-27: CONEXIÓN DISPOSITIVO LORA E32 CON MCU. 48
FIGURA 2-28: TOPOLOGÍA EN BUS A UTILIZAR 50
FIGURA 2-29: SMV ASPA-FLECHA 52
FIGURA 2-30: TIPOS DE MENSAJERÍA VARIABLE ASPA-FLECHA 53
FIGURA 2-31: MÓDULOS CUADRADOS SEÑAL SMV ASPA/FLECHA 54
FIGURA 2-32: PANTALLA LED VARIABLE DE 4 DÍGITOS 55
FIGURA 2-33: SEÑALÉTICA VIAL DE MENSAJE VARIABLE PROTOTIPO 56
FIGURA 2-34: COMUNICACIÓN ENTRE MÓDULO ZONA N°1 Y MÓDULO ZONA N°2 58
FIGURA 2-35: COMUNICACIÓN ENTRE MÓDULO ZONA N°3, MÓDULO ZONA N°4 Y ESTACIÓN SEÑALÉTICA VARIABLE 59
FIGURA 2-36: LÓGICA DE SENSADO DE ACUERDO A LOS CRITERIOS DE ALTURA VEHICULAR. 60
FIGURA 2-37: LÓGICA DE SENSADO EN FUSIÓN DEL TIEMPO DE TRANSICIÓN DE PULSO. 61
FIGURA 2-38: COMUNICACIÓN SEÑAL RESET 62
FIGURA 2-39: EJEMPLO DE PARAMETRIZACIONES CON DIFERENTES SITUACIONES DE TRÁFICO VEHICULAR. 64
FIGURA 2-40: INTEGRACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LA VARIABLE DE CONTROL DE LAS CUATRO ZONAS DE SENSADO. 66
FIGURA 2-41: CLASIFICACIÓN Y DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE CONGESTIÓN. 68
FIGURA 2-42: LÓGICA DE CLASIFICACIÓN SEGÚN ESTADO DE VARIABLE RX PARA SER PROYECTADA EN LOS DIFERENTES MÓDULOS DE SMV. 70
FIGURA 2-43: CONVERSOR RS-232 A TTL 71
FIGURA 2-44: DIRECCIONAMIENTO DE LA VARIABLE DE CONTROL A LOS USUARIOS 71
FIGURA 2-45: CLASIFICACIÓN DEL ENVIÓ DE DATOS DE LOS PUERTOS SERIALES A LOS DIFERENTES SMV 72
FIGURA 2-46: DISTANCIA LÍNEA VISTA DESDE ESTACIÓN DE SENSADO N°4 HASTA SEÑALÉTICA VIAL VARIABLE. 74
FIGURA 2-47: DIVISOR DE VOLTAJE 75
FIGURA 2-48: CONVERSOR PARA MÓDULO LORA USB A UART 75
FIGURA 2-49: ENTORNO DE CONFIGURACIÓN PARA DISPOSITIVO LORA E 32 76
FIGURA 2-50: CONEXIÓN DISPOSITIVO LORA E 32, CON MICROCONTROLADOR. 77
FIGURA 2-52: ENTORNO IDE ARDUINO CON BIBLIOTECA LORA E32 CARGADA. 78
FIGURA 2-53: CONEXIÓN PLACA E32 LORA CON ARDUINO UNO. 78
FIGURA 2-55: TRANSMISIÓN DE LA VARIABLE DE CONTROL POR LOS DIFERENTES TERMINALES ELECTRÓNICOS 80
FIGURA 2-58: DISPOSICIÓN RADAR VEGAPULS C 11 EN LA ZONA DE SENSADO N°3 83
FIGURA 2-59: DISPOSICIÓN CAJA DE INSTRUMENTACIÓN EN LA ZONA DE SENSADO N°3 83
FIGURA 2-60: DISPOSICIÓN DE PANEL FOTOVOLTAICO MÁS PANEL DE INSTRUMENTACIÓN EN POSTE 85
FIGURA 2-61: POSTES EN ACCESO NORTE TÚNEL JARDÍN BOTÁNICO SENTIDO NORTE-SUR 86
FIGURA 2-62: DISTANCIA DE POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO CON POSTE DE SEÑALÉTICA VIAL VARIABLE DEL PROYECTO 87

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2-1: MUESTRA FLUJO VEHICULAR SATURADO 15
TABLA 2-2: MUESTRAS DE FLUJO VEHICULAR NO SATURADO 16
TABLA 2-3: TIEMPO DE DETENCIONES DE VEHÍCULO EN FLUJO VEHICULAR SATURADO 22
TABLA 2-4: DATOS DE TIEMPO OBTENIDO BAJO DIFERENTES LARGOS VEHICULARES Y CONDICIONES DE TRÁFICO. 23
TABLA 2-5: CARACTERÍSTICAS GENERALES SENSOR VEGAPULS C 11 26
TABLA 2-6: DISTRIBUCIÓN DE LAS FUENTES DE PODER PARA LOS DIFERENTES DISPOSITIVOS DEL PROYECTO. 36
ZONA SENSADO N°1 36
TABLA 2-7: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MÓDULO ND08. 43
TABLA 2-8: DESCRIPCIÓN DE LAS ENTRADAS Y SALIDAS DE MÓDULO CONVERSOR ND08 44
TABLA 2-9: ESPECIFICACIONES DE LAS DISTRIBUCIONES DE PINES. 48
TABLA 2-10: CONFIGURACIÓN DE MODOS. 49
TABLA 2-11: ALTURA DE LETRAS EN CENTÍMETROS. 51
TABLA 2-12: TABLA NIVELES DE RETRORREFLEXIÓN (CD/LX M2) 51
TABLA 2-13: DIMENSIONES DE MÓDULOS CUADRADOS SEÑAL SMV ASPA/FLECHA 53
TABLA 2-14: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MÓDULO ASPA-FLECHA 54
TABLA 2-15: ALTURA MÍNIMA DE LETRAS EN FUNCIÓN A LA VELOCIDAD MÁXIMA PERMISIBLE 55
TABLA 2-16: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PANTALLA LED VARIABLE DE 4 DÍGITOS 55
TABLA 2-17: TABLA DE DIRECCIONES SEGÚN ZONAS DE SENSADO 63
TABLA 2-18: IDENTIFICACIONES Y CLASIFICACIÓN DE DIFERENTES SITUACIONES DE TRANSITO QUE SE PUEDEN SENSAR 65
TABLA 2-19: CLASIFICACIÓN DE PARÁMETROS EN FUNCIÓN DE LAS ZONAS DE SENSADO 67
TABLA 2-20: DISTANCIAS MEDIDAS DESDE LAS ZONAS DE SENSADO HASTA SEÑALÉTICA VIAL VARIABLE 72
TABLA 3-1: COSTOS SOCIALES ASOCIADOS AL NIVEL DE GRAVEDAD EN [UF]. 88
TABLA 3-2: COSTOS SOCIALES TOTALES DE LOS SINIESTROS DE TRÁNSITO OCURRIDOS AÑO 2018. 88
TABLA 3-3: RECOLECCIÓN DE ACCIDENTES EN TÚNEL JARDÍN BOTÁNICO SEGREGADOS POR NIVEL DE GRAVEDAD 89
TABLA 3.4: CUANTIFICACIÓN DE COSTOS EN FUNCIÓN AL NÚMERO DE ACCIDENTE POR LA PONDERACIÓN DE LESIONES Y TRÁMITES ADMINISTRATIVOS ASOCIADOS. 90
TABLA 3-5: PRESUPUESTO PARA ADQUISICIÓN DE ELEMENTOS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO. 91
TABLA 3-6: COSTOS POR FAENA DE POSTACIÓN 93
TABLA 3-7: COSTOS POR MANO DE OBRA. 94
TABLA 3-8: FLUJO DE CAJA PARA UN TASA DE REDUCCIÓN DE ACCIDENTE DE UN 23% [UF] 97
TABLA 3-9: VARIACIÓN DE PORCENTAJE DE ACCIDENTE EN FUNCIÓN DE SEÑALÉTICA VIAL PREVENTIVA 98

SIGLA Y SIMBOLOGÍA

SIGLA

CONASET	:	Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito
LORA	:	Long Radio (LoRa, Radio de largo alcance)
MCU	:	Multipoint Control Unit (MCU, Unidad control multipunto)
PIB	:	Producto Interno Bruto
SMV	:	Señal de Mensaje Variable
TTL	:	Transistor-Transistor Logic (TTL, Lógica transistor a transistor)
UART	:	Transmisor-Receptor, asíncrono Universal
UF	:	Unidad de Fomento
USB	:	Universal Serial Bus

SIMBOLOGÍA

A	:	Corriente eléctrica unidad amperios
AC	:	Corriente continúa
cm	:	Centímetro
CA	:	Corriente eléctrica alterna
CC	:	Corriente eléctrica continúa
d	:	Distancia
dB	:	Potencia en decibeles
DC	:	Corriente eléctrica continúa
GND	:	Punto de referencia para tensiones eléctricas
h	:	Hora
Hz	:	Hertz
kB	:	Kilobyte
kHz	:	Kilo Hertz
km	:	Concentración vehicular máxima
km/h	:	Kilometro por hora
kWh	:	Kilo Watts hora

m	:	Unidad de medida metro
mA	:	Miliamperios
mAh	:	Miliamperios hora
mm	:	Milímetros
ms	:	Milisegundo
q	:	Flujo Vehicular (vehículos por hora)
qm	:	Flujo Vehicular máximo
Rc	:	Resistencia de Carga
Rx	:	Recepción
t	:	Tiempo
Tx	:	Transmisión
V	:	Voltaje
Ve	:	Velocidad media espacial
Vcc	:	Voltaje de corriente continúa
Veh	:	Vehículo
Vem	:	Velocidad media espacial máxima
Vin	:	Voltaje de entrada
W	:	Watt
Ω	:	Ohmio

INTRODUCCIÓN

Las señales de mensaje variable son un medio para transmitir información actualizada acerca de las condiciones de tránsito a conductores, de esta forma aumentan los niveles de seguridad vial, en Chile se pierden miles de millones de dólares en costos sociales por accidentes de tránsito, como también los costos intrínsecos correspondientes a sufrimiento emocional por parte de familiares de las víctimas de accidente de tránsito que perdieron su vida o quedarán con secuelas de por vida.

Los beneficios por conceptos de mejoras en la seguridad vial pueden producir un efecto significativo en la disminución de la accidentabilidad vial. A pesar de lo señalado, los impactos económicos y sociales de los accidentes no se han considerado históricamente en la toma de decisiones, en materias de proyectos viales en el país. Si se han dados algunos avances importantes en esta materia, como es disponer de una metodología de valoración socioeconómica de los beneficios de los proyectos de seguridad vial.

La propuesta de señalética vial inteligente, esta avocada en suplir la necesidad de poder contar con señalética de ayuda a la conducción debido a lo peligroso de la zona del túnel “Jardín Botánico” de Viña del Mar Ruta 64 “Camino Internacional”, optando por tecnología de fácil acceso debido a que la implementación de hardware y software son con licencias públicas libres en cuantos derechos y costos, como también confiables, abaratando costos del proyecto significativamente. La estructura del proyecto se adapta a las sinuosidades que presenta el sector debido a que no siempre se puede contar con comunicación inalámbrica entre los sensores con los módulos coordinadores, si hay ciertos elementos que se podrían implementar en otros proyectos viales de similares condiciones.

En consecuencia este proyecto de título contempla el estudio de pre factibilidad para la instalación de señalética vial con módulos de mensaje variable en ruta 64, túnel “Jardín Botánico”, que cumpla las normas de señalética vial, seleccionando los materiales y equipamiento adecuados y asegurando una eficaz señalización de los acontecimientos viales en el sector.

CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

1 DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

En ruta 64 túnel “Jardín Botánico”, existe una alta tasa de accidentes de tránsito, en donde la mayoría de los casos incide la topografía accidentada del lugar, como también la arquitectura que esta ruta presenta, conformada por un túnel y un viaducto, sumado al alto número de tráfico de camiones y el constante atochamiento vehicular, esta ruta presenta un constante peligro para los usuarios.

Por tanto se hace indispensable que los usuarios tengan información en tiempo real de lo que acontece en las vías de la ruta 64 sector túnel “Jardín Botánico”, ya que, mediante observación directa se evidencia que, la ruta solo cuenta con señalética de velocidad máxima permisible y no cuenta con una señalética adecuada para este tipo de ruta, como lo son las señalética de mensaje variable. La señalética de mensaje variable presenta en tiempo real las condiciones de la ruta; con este tipo de tecnología se busca brindar una ayuda a la conducción vehicular, como también disminuir la tasa de accidentes tráfico vehicular que presenta este tramo de la ruta.

1.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Dado el alto flujo vehicular presente en la Ruta 64 que conecta la zona alta de Viña del Mar mediante autovía ruta 64 “Camino Internacional” con ruta 60 “Vía las Palmas”, se origina en horarios punta tarde gran congestión vehicular. Figura 1-1.

Fuente: Ubicación Google Maps

Figura 1-1: Ubicación geográfica ruta 64 túnel “Jardín Botánico”

La procedencia del embotellamiento se genera a raíz de la bifurcación que conecta el viaducto “Salto Largo” con autopista “Troncal Sur” ruta 60, como se representa en figura1-2, en consecuencia, se produce atochamiento vehicular en el viaducto “Salto Largo” alcanzando túnel “Jardín Botánico” y sobre-pasando en muchos casos hasta el acceso norte del túnel “Jardín Botánico”. Debido a esto en el acceso norte del túnel en muchas ocasiones se encuentran autos detenidos, a causa de la congestión producida a la salida del viaducto “Salto Largo”, como se representa en figura 1-3, dicha salida se encuentra en curva con la ruta 64 “Camino Internacional”, y solo cuenta con una señalética en donde se expone a los conductores que la velocidad sugerida es de 50 Km/h para poder tomar el túnel “Jardín Botánico”.

Fuente: Ubicación Google Maps

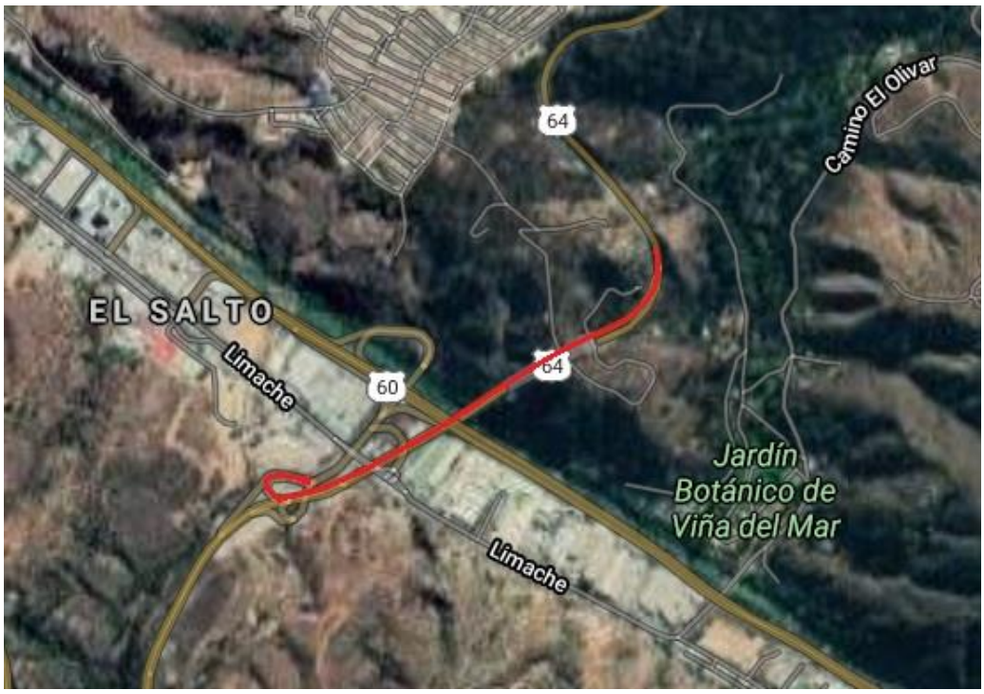
Figura 1-2: Ubicación geográfica de bifurcación hacía autopista “Troncal Sur”

Fuente: Ubicación Google Maps

Figura 1-3: Ubicación geográfica patrón de congestión en bifurcación autopista “Troncal Sur”

Por tanto, una curva en el acceso norte del túnel “Jardín Botánico” sin un alerta temprana dirigida a conductores que propicie una indicación de que en las proximidades se encuentran autos detenidos en dicha curva, hacen que en esta ruta sean muy habituales accidentes de diversa gravedad, numerosas son las víctimas que ha cobrado esta peligrosa ruta años tras años. Lo

anteriormente descrito se representa en la figura 1-4, en donde se aprecia habitualmente la zona de congestión.



Fuente: Ubicación Google Maps

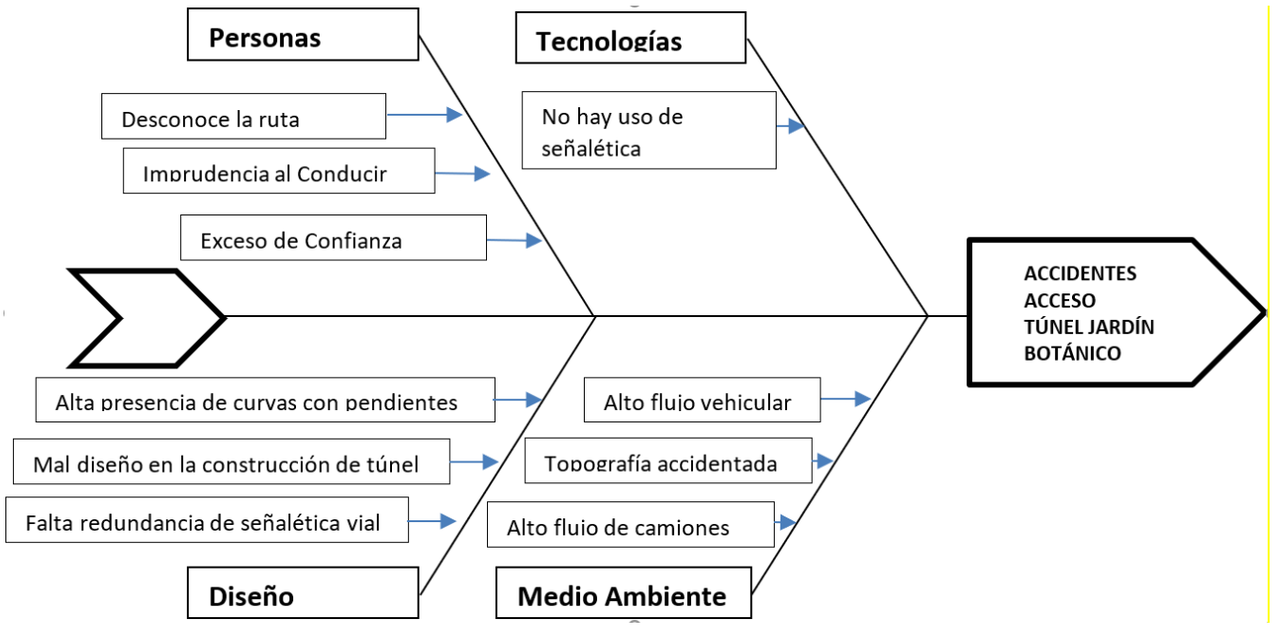
Figura 1-4: Área de embotellamiento producido por la bifurcación hacía autopista “Troncal Sur”

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el acceso norte al túnel “Jardín Botánico” desde rotonda “El Trébol” ruta 60 “Camino Internacional”, falta de señalética inteligente para generar una alerta temprana a conductores sobre la situación del tránsito en tiempo real.

1.2.1 Definición del problema

Se presenta el diagrama de Ishikawa para lograr definir el problema, se determina el problema que viene dado por accidentes de tránsito en ruta 64, se define 4 categorías las cuales son: Personas, Tecnologías, Diseño y Medio Ambiente, estas categorías son las causantes de las eventualidades más comunes que se suelen suscitar en el sector. Lo anteriormente señalado es representado en la figura 1-5.



Fuente: Información recolectada por el autor.

Figura 1-5: Diagrama de Ishikawa

1.2.2 Importancia de resolverlo

La importancia de resolver este problema radica principalmente en bajar los accidentes en dicho sector, ya que, en los últimos años se han tenidos registros de accidentes con desenlace fatales, por ser una ruta de alto tráfico, cabe señalar que un gran número de camiones transitan por esta ruta y al no contar con una predicción oportuna del estado del tráfico muchas veces en la distancia de frenado de los camiones se encuentran vehículos detenidos.

La figura 1-6 se aprecia accidente por alcance el acceso norte túnel “Jardín Botánico”, al encontrarse un vehículo detenido en pista derecha de la vía y este es impactado por un camión.

Fuente: Sitio web https://www.cooperativa.cl

Figura 1-6: Accidente múltiple en acceso norte túnel “Jardín Botánico” ruta-64

1.2.3 Involucrados

Los involucrados en el problema son especialmente dueños de autos particulares, locomoción colectiva y transportistas, sin lugar a duda detrás de cada involucrado en un accidente de tráfico hay una familia que también se ve directamente afectada.

La figura 1-7 se aprecia accidente en el acceso norte túnel “Jardín Botánico”, por pérdida del control del vehículo.

Fuente: Sitio web https://www.cooperativa.cl

Figura 1-7: Accidente acceso norte túnel “Jardín Botánico”

1.3 SOLUCIÓN AL PROBLEMA

La solución a la problemática es diseñar un sistema de señalética inteligente, con capacidades autónomas para lograr discernir el estado de tráfico en tiempo real, dicha información canalizarla mediante letreros informativos dando a conocer el tráfico actual con que se encuentra operando el acceso norte del Túnel “Jardín Botánico”.

1.3.1. Requerimientos

Dentro del subsistema de divulgación de la información de un Sistema Inteligente de Transporte, se identifica a las señales de mensajes variables (SMV) como un medio para transmitir reportes actualizados acerca de las condiciones de tránsito a un mayor número de conductores a un costo menor al de otros medios, tales como sistemas de navegación con pantallas en el interior de los vehículos, Internet, kioscos o estaciones de radio o televisión con reportes de tránsito, usados para el mismo fin. Contrariamente a los sofisticados sistemas de información de tráfico en pantallas en

el interior de los vehículos, los cuales requieren de la instalación de computadoras a bordo, además de sistemas de comunicación y el pago al proveedor del servicio, las señales de mensajes variables pueden ser vistas, sin necesidad de equipo adicional, por los conductores que pasen por el punto en el que se encuentre la señal.

El uso de mensajes variables puede ayudar a la selección de mejores rutas y a reducir los niveles de congestionamiento cuando la información es oportuna y correcta. También pueden ayudar en corredores con altos índices de accidentes provocados por condiciones que pueden ser anticipadamente advertidas.

Para lo cual se necesita controlar señal de tránsito vehicular, esta señalética tiene que tener por objetivo informar la situación de tráfico en tiempo real tanto en el túnel “Jardín Botánico” como en el viaducto “Salto Largo” de la ruta 64, para tal caso se tiene que trabajar con una variable del tipo digital que será extraída de sensores, estos sensores tendrán la capacidad de informar presencia de tráfico vehicular y estarán instalados a lo largo del túnel “Jardín Botánico” y viaducto “Salto Largo”.

La información que se presentará en señalética de mensaje variable será la distancia en que se pueda encontrar tráfico vehicular detenido, esta distancia es medida desde la señalética vial hasta la proximidad de cada sensor, esta distancia tendrá algún nombre de la zona de sensado como también de la indicación por medio de módulos digitales de las distancia en números decimales.

Se identifican zonas de peligro, como se representa en la figura 1-8, en donde existe una mayor concentración de accidentes vehiculares, desde curva acceso norte túnel “Jardín Botánico”, pasando por túnel y posteriormente pasando por viaducto “Salto Largo”.

Fuente: Información recolectada por el autor.

Figura 1-8: Zona de peligro ruta 64 túnel "Jardín Botánico" ruta-64

Se tiene que considerar que la ruta cuenta con curvas, cerros y un túnel, la topografía en el sector es muy accidentada, por lo cual es muy importante verificar bien el medio de comunicación entre el sensor y el embebido ya que la comunicación inalámbrica es lo más favorable en cuanto a costos, pero esta se puede ver rápidamente desacreditada ya que entre las estaciones de monitoreo no existe contacto visual.

Se medirá el flujo vehicular en el carril derecho de la ruta 64, túnel "Jardín Botánico" en sentido norte-sur, ya que los detenimientos vehiculares se realizan en ese carril puesto que permite doblar en la bifurcación hacia la autopista "Troncal Sur". Cabe señalar que los sensores a utilizar tienen que ser dispositivos no intrusivos en la vía de fácil y rápida instalación, como también los mantenimientos tiene que ser con periodos largos de tiempo entre mantenimiento para así producir la menor congestión vehicular posible en caso de cerrar alguna vía por mantenimiento.

La figura 1-9 presenta tanto la diseminación de los sensores como el lugar de la señalética de mensaje variable.

Fuente: Información recolectada por el autor.

Figura 1-9: Diseminación de sensores en ruta 64, en túnel "Jardín Botánico"

1.3.2. Alternativas de solución

La alternativa o solución es trabajar con sensores que se encontrarán instalados en la ruta 64 en conjunto con su transductor, este se comunicará inalámbricamente con el sistema de control el cual bajo ciertos criterios permitirá monitorear el estado de las variables que ingresan y poder obtener una salida concluyente, de esa forma poder presentarla en la señalética vial. Se requiere contar con cuatro estaciones de monitoreo y sensado de tráfico, estas estaciones se encontrarán en puntos críticos en donde se puede tener una buena optimización en la recopilación de datos en la vía. Se contará con letrero que brinde una lectura clara y precisa a conductores sobre el estado real con que se encuentra el tráfico en la zona.

1.3.3. Valor agregado

El valor agregado es contar con un proyecto de bajo costo y que cumpla con los estándares de calidad y seguridad dentro del mercado. De igual manera aprovechar las capacidades tecnológicas y adaptarlas a las necesidades locales, de esta forma conseguir letreros con capacidades autónomas de ayuda a la conducción ante eventualidades en las carreteras del país.

1.4 OBJETIVOS

En esta sección se presentan los objetivos generales y específicos de proyecto que se deben lograr.

1.4.1. Objetivo general

- Diseñar señalética autónoma de mensajería variable, aplicada a ruta 64 acceso norte túnel "Jardín Botánico".

1.4.2. Objetivos específicos

- Describir situación actual en ruta 64, acceso norte a túnel "Jardín Botánico".
- Identificar elementos y componentes necesarios para medir y/o detectar flujo vehicular y los sectores más favorables para su instalación.
- Seleccionar componentes adecuados para las condiciones geográficas del lugar.
- Realizar evaluación económica.

CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD TÉCNICA

2.0 ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD TÉCNICA

En el análisis se especifican los aspectos técnicos del proyecto, desde los cálculos teóricos del flujo vehicular, como a su vez obtener parámetros reales de la zona de estudio, con estos parámetros establecer ciertos criterios de los cuales se dictaran las instrucciones lógicas a los diferentes microcontroladores a utilizar, para el correcto discernimiento del estado del tráfico en tiempo real en la ruta 64 túnel "Jardín Botánico", conjuntamente se amolda el estudio técnico con las normativas vigente de regularización de las señaléticas viales en Chile.

2.1 CRITERIOS DE DISEÑO

El criterio de diseño se ajustará acorde al flujo vehicular presente en la ruta 64 carril derecho en sentido norte a sur desde rotonda "El Trébol" hasta comienzo ruta 60 "Vía las Palmas" bajo concepto de modelo macroscópico de circulación de tráfico vehicular para cálculos posteriores, como también los criterios de ubicación tantos de sensores como la señalética vial se ajustará a las zonas de peligro acorde a la topografía con que cuenta dicha ruta.

La Interfaz gráfica o señalética de mensaje variable, informará las condiciones de tránsito en la ruta, orientando a conductores las zonas de congestión como las distancia a que se encuentra la detención vehicular en sentido norte sur, entre acceso norte túnel "Jardín Botánico" y comienzo ruta "Vía las Palmas". La ubicación de la señalética de mensaje variable será pasado rotando "El Trébol" por ruta 64 "Camino Internacional" sentido norte-sur, el lugar se encuentra en curva, esta curva por ser muy cerrada los autos tienden a disminuir bastante la velocidad para posteriormente incorporarse a una recta en donde hay un alcance visual óptimo para la instalación de la señalética vial, la velocidad máxima permitida en la zona es de 50 km/h. El emplazamiento del letrero tiene que estar a una distancia tal que proporcione al conductor el tiempo suficiente para leer el mensaje, seleccionar la maniobra apropiada y realizar ésta, en forma segura y oportuna.

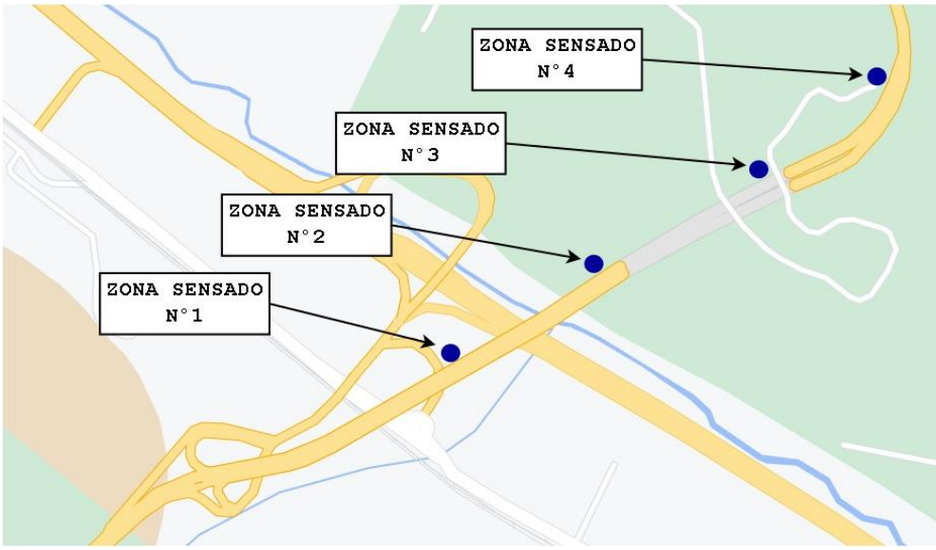
Ubicación de la señalética de mensaje variable es 221[m]. Desde la punta diamante que se origina a raíz del desvió del camino troncal con ruta 64, pasado rotonda "El Trébol" con dirección sur, como se representa en la figura 2-1.

Fuente: Google maps.

Figura 2-1: Ubicación Señalética de mensaje Variable

Los sensores quedarán instalados por zonas de medición estos se encontrarán en el carril derecho de la ruta 64 en dirección sur, se detallan a continuación las zonas y descripción de su ubicación, lo anteriormente señalado se representa en la figura 2-2.

- Zona sensado N° 1: Grupo de sensores a 200 [m] del acceso sur túnel “Jardín Botánico” en viaducto “Salto Largo” sentido norte-sur, se cuenta con un buen tiempo de reacción y de frenado en caso de que hubiese vehículos detenido ya que se tiene un alcance visual óptimo.
- Zona sensado N° 2: Grupo de sensores a 10 [m] poco antes después del acceso sur túnel “Jardín Botánico” en el viaducto “Salto Largo” sentido norte-sur.
- Zona sensado N° 3: Grupo de sensores al interior túnel “Jardín Botánico” a 10 [m] antes de salir acceso norte túnel “Jardín Botánico” sentido norte-sur.
- Zona sensado N° 4: Grupo de sensores situados en curva acceso norte túnel “Jardín Botánico” 102 [m] del acceso al túnel por el lado norte.



Fuente: Google maps.

Figura 2-2: Ubicación de Sensores

2.2 LÓGICA DE DISCERNIMIENTO DE TRÁFICO SATURADO

En la lógica de detección de tráfico saturado o no saturado se comienza con establecer ciertos parámetros y criterios, estos a su vez permiten realizar cambios lógicos de acuerdo a las instrucciones adoptados en las salidas de cada controlador, estos cambios lógicos se refleja a conductores por medio del sistema de señalética vial variable.

Para el desplazamiento de vehículos se considera un ambiente físico que comprende de tanto dimensiones espaciales como temporales en forma simultaneas, para el cálculo y análisis vehicular se emplea ciertos tipos de modelos de estudio de tránsito vehicular, estos modelos se clasifican en dos grandes clases: microscópico y macroscópico.

Modelo microscópico considera los espaciamientos y las velocidades individuales de los vehículos, con base de la teoría del seguimiento vehicular. En cambio, los modelos macroscópicos describen la operación vehicular en términos de sus variables de flujo, generalmente tomadas como promedio. A su vez, estos modelos de flujo vehicular son la base de la simulación microscópica y macroscópica.

En el desarrollo de los cálculos se trabaja bajo modelo macroscópico los cuales suponen un movimiento homogéneo en condiciones de flujo estacionario y describen las características generales o globales de la corriente vehicular. En este caso se utiliza el sensor del tipo radar que

envía pulsos en forma de voltaje y estos pulsos dependiendo de su duración se ingresan a la entrada del microcontrolador, los voltajes que se presenten concordarán con ciertos criterios de duración de pulsos y según estos criterios se puede discriminar si existe congestión vehicular en la zona de estudio. Para esto se requiere calcular la velocidad promedio en condiciones de flujo vehicular estable y flujo vehicular saturado para obtener el tiempo promedio con que los vehículos transitan en la zona de sensado o estudio, teniendo el tiempo promedio bajo las dos condiciones de flujo mencionado se puede tener un parámetro en base a la variable tiempo y flujo vehicular para los algoritmos de cálculos al momento de discernir si el flujo vehicular se encuentra saturado o no saturado.

Se considera la ecuación fundamental del Flujo vehicular $q = kv$ en donde q representa la tasa de flujo, número de vehículos que circula por una vía durante un intervalo de tiempo específico y se expresa [veh/min] o [veh/h].

k Representa la densidad de tráfico, número de vehículos presentes en un tramo de la vía de longitud L se representa por [veh/km] y Ve representa la velocidad media de tránsito vehicular presente en la vía [veh/h].

En conjunto se trabaja con el modelo lineal de Greenshields que calcula el comportamiento del flujo vehicular, el cual relaciona la velocidad media Ve con la densidad vehicular k utilizando conjuntos de datos de la ecuación fundamental del flujo para diferentes condiciones de tránsito.

2.2.1 Toma de muestra de flujo vehicular en viaducto Salto Largo

Sobre un punto específico del viaducto “Salto Largo” se realizó un aforo vehicular durante dos intervalos de hora, en cada intervalo de hora se tomaron recolección de datos por periodos de 15 minutos, para calcular tasa de flujo vehicular y concentración de tráfico. La figura 2-3 representa el punto de recolección de datos.

Fuente: Google Maps.

Figura 2-3: Ubicación de punto toma de muestras de flujo vehicular

Para realizar los análisis operacionales, se usaron volúmenes horarios en horas de flujo vehicular saturado como horarios de flujo no saturado.
La tabla 2-1 muestra flujo vehicular saturado en horario punta tarde.

Tabla 2-1: Muestra flujo vehicular saturado

Parámetros	Flujo Vehicular		Concentración Vehicular	
Intervalo de Tiempo	Vehículos	Razón de Flujo q (veh/h)	Vehículos 100 [m]	Concentración Vehicular k (veh/km)
17:00 – 17:15 PM	75	300	13	130
17:15 – 17:30 PM	90	360	13	130
17:30 – 17:45 PM	54	216	15	150
17:45 – 18:00 PM	90	360	11	110
	Promedio	**309**	**Promedio**	**130**

Fuente: Información recolectada por el autor.

La tabla 2-2 Muestra flujo vehicular no saturado en horario de tráfico normal en viaducto “Salto Largo”.

Tabla 2-2: Muestras de flujo Vehicular no saturado

Parámetros	Flujo Vehicular		Concentración Vehicular	
Intervalo de Tiempo	Vehículos	Razón de Flujo Q (veh/h)	Vehículos 200 [m]	Concentración Vehicular k (veh/km)
15:00 – 15:15 PM	330	1.320	3	15
15:00 – 15:30 PM	390	1.620	4	20
15:00 – 15:45 PM	555	2.280	10	50
15:00 – 16:00 PM	375	1.500	4	20
	Promedio	**1.650**	**Promedio**	**26,25**

Fuente: Información recolectada por el autor

Se tienen los datos tanto del flujo vehicular q como densidad o concentración vehicular k, datos extraídos directamente del aforo vehicular, se calculará la velocidad media espacial Ve para condición de flujo vehicular saturado y flujo vehicular no saturado.

2.2.1.1 <u>Cálculo de velocidad media con tráfico saturado y tráfico vehicular no saturado según aforo vehicular</u>

La velocidad media espacial a flujo libre Vi es la velocidad máxima permisible en el tramo de estudio y es expresada en [km/h], ya que por definición es la velocidad media de un vehículo que avanza sin obstáculos considerando las características y capacidad máxima del camino. En este caso se midió dicha velocidad en el tramo de carretera se concluye una velocidad de flujo libre Vi = [78 km/h].

Cálculo de la velocidad media espacial Ve, en condiciones de transito con flujo estable no saturado. Se cuenta con los siguientes datos: Flujo vehicular medido $q = 1.650$ [veh/h] y concentración o densidad vehicular de k=26,25 [veh/km]. Se observa que para obtener la velocidad media espacial Ve, se despeja ecuación fundamental del Flujo vehicular $q = kV$, por lo cual $V = \frac{q}{k}$, reemplazando datos $Ve = \frac{1.650}{26,25}$ y se obtiene una velocidad media de Ve=62.85 [km/h].

A continuación: Cálculo de la velocidad media espacial Ve, en condiciones de transito con flujo saturado.

Se cuenta con los siguientes datos: Flujo vehicular medido $q = 309$ [veh/h] y concentración o densidad vehicular de k =130 [veh/km]. Se calcula la velocidad media espacial $Ve = \frac{q}{k}$, reemplazando datos $Ve = \frac{309}{130}$ y se obtiene una velocidad media de Ve=2,37 [km/h].

2.2.1.2 Comparación de coherencia de las muestras tomadas en el viaducto en función de la densidad de congestionamiento

Se tiene la velocidad media espacial con un flujo no saturado, a modo de comprobación para observar si los datos recopilados en el aforo vehicular se encuentran válidos, se extrapolará la concentración o densidad de congestionamiento $kc\left[\frac{veh}{km}\right]$ con el kc tomado en el aforo con flujo vehicular saturado, la concentración o densidad de congestionamiento tiene que ser similares ya que se midió sobre la misma vía y solo existe kc para una misma vía vehicular.

Considerando la relación lineal entre la velocidad Ve y la densidad de tráfico k, se tiene que,

$$Ve = Vi - \left[\frac{Vi}{kc}\right] * k$$

Donde:

$Ve =$ Velocidad media espacial [km/h]

$k \;\; =$ Concentración o densidad $\left[\frac{veh}{km}\right]$

$Vi =$ Velocidad media espacial a flujo libre [km/h]

$kc =$ Concentración o densidad de congestionamiento $\left[\frac{veh}{km}\right]$

Despejando kc, se obtiene la siguiente expresión $kc = \frac{\mathrm{Vi*k}}{\mathrm{Vi-Ve}}$, se reemplazan datos obtenidos de Ve con flujo vehicular no saturado, $kc = \frac{78*26,25}{78-62,85}$ por lo tanto se tiene un $kc = 135,14\left[\frac{veh}{km}\right]$, con flujo vehicular no saturado.

Se calcula kc para un Ve con flujo vehicular saturado, se tiene siguiente expresión $kc = \frac{\mathrm{Vi*k}}{\mathrm{Vi-Ve}}$, se reemplazan datos, $kc = \frac{78*130}{78-2,37}$ por lo tanto se tiene un $kc = 134,07\left[\frac{veh}{km}\right]$, con flujo vehicular saturado.

Terminado los cálculos se puede comprobar que hay coherencia en los datos tomados en el aforo vehicular realizado, ya que, la concentración o densidad de congestionamiento kc tanto para tráfico vehicular saturado fue de un $kc = \;\; 134,07\left[\frac{veh}{km}\right]$ y para tráfico vehicular no saturado fue un $kc = 135,14\left[\frac{veh}{km}\right]$ hay similitud entre los datos. Por tanto se utilizará la media de los dos kc para cálculos posterior, en efecto se cuenta con un kc = 134,605 $\left[\frac{veh}{km}\right]$.

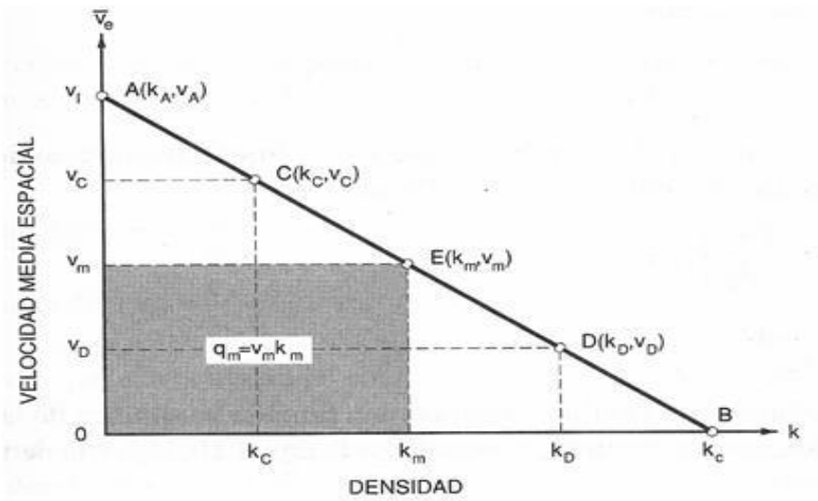
2.2.2. Cálculo de parámetro a utilizar para lógica de discernimiento de flujo vehicular saturado y no saturado

Para discernir si efectivamente existe congestionamiento en la zona de sensado, se calculará los tiempos de transición de pulsos que ingresan al módulo microcontrolador en la etapa de detección congestión vehicular, estos pulsos son enviados por el radar al momento de pasar por la zona de sensado algún vehículo. Posteriormente los pulsos con cierto tiempo de transición ingresan por un contador y de acuerdo al número de cuenta por un intervalo de tiempo predefinido, el módulo de control puede discernir si los pulsos seleccionados en la cuenta provienen de un flujo vehicular saturado o flujo vehicular no saturado.

Para fijar los tiempos de pulsos en función de un largo vehicular en específico y este a su vez indique cuando efectivamente se encuentra un flujo vehicular saturado, se efectúa un modelamiento teórico y se extrapola con los datos obtenidos en el aforo vehicular. Se calcula y modela diferentes situaciones de tránsito para concluir que tiempo son los óptimos para poder utilizar el criterio en la lógica de estado de tráfico.

2.2.2.1 Modelo lineal de Greenshields

Considerando el modelo lineal de Greenshields figura 2-4, en donde observa el comportamiento del flujo vehicular en base a la relación existente entre la velocidad y la densidad, utilizando el conjunto de dato (k, v) en base a la ecuación fundamental del Flujo vehicular se propuso una relación lineal entre la velocidad y la densidad vehicular $Ve = Vi - \left[\frac{Vi}{kc}\right] * k$. En donde en general la velocidad disminuye a medida que aumenta la densidad, desde un valor máximo a velocidad a flujo libre Vi (punto A), hasta un valor mínimo =0 (punto B) donde la densidad alcanza su máximo valor de congestionamiento kc.



Fuente: Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones (Reyes Espíndola, y otros, 2007).

Figura 2-4: Relación lineal entre la velocidad y la densidad.

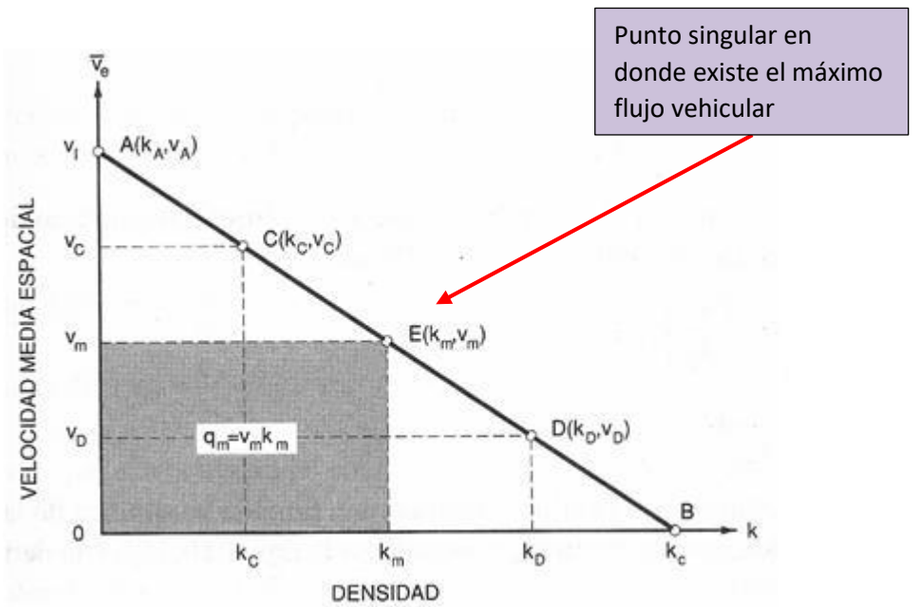
El flujo q, se puede representar en el diagrama velocidad-densidad, a través de la ecuación fundamental $q = kV$, donde para cualquier punto sobre la recta de coordenadas (k, V), el producto kV es el área de un rectángulo cuyo lado horizontal es la densidad k y cuyo lado vertical es la velocidad V. Así el rectángulo de área máxima corresponde al punto E, que está ubicado exactamente en la mitad de la recta. Su área, sombreada en el gráfico V v/s k , representa el flujo máximo, qm el cual se obtiene para los valores de Vem , por lo tanto, obteniendo el km en el flujo máximo se puede obtener la velocidad máxima en que pueden transitar los vehículos a flujo máximo antes que la velocidad siga decayendo con respecto aumenta la densidad de tráfico.
Se calcularán los tiempos a diferentes estados de flujo de tráfico como sus velocidades medias en función de largo máximo y mínimo de cada vehículo.

2.2.2.2. <u>Cálculo de transición de tiempo por vehículo a máximo flujo vehicular en función del largo vehicular</u>

El cálculo de km (densidad vehicular a máximo flujo vehicular) y está dado por la relación $km = kc/2$, en donde se tiene una concentración o densidad de congestionamiento promediada de kc =134,605 [veh/km] por consiguiente se obtiene una concentración máxima promediada para un flujo máximo de km =67,302 $\left[\frac{veh}{km}\right]$y la velocidad media máxima está dada por la relación $Vem = Vi/2$, en consecuencia se tiene una velocidad máxima de 39 [km/h] con concentración y flujo máximo.

Teniendo la velocidad máxima a máximo flujo vehicular Vem se calcula los tiempos promedios de transición tanto para vehículo de menor proporción como mayor proporción con respecto a su largo y así obtener un criterio en base a un parámetro pre establecido, cabe señalar que se está calculando

sobre el punto máximo de flujo vehicular permisible qm. Como se representa en la figura 2-5, en ese punto en adelante tanto la velocidad empieza a disminuir como también el flujo y la congestión empieza aumentar. Este punto singular es el parámetro que condicione cuando exista flujo vehicular estable y un flujo vehicular saturado, según el modelo lineal de Greenshields.



Fuente: Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones (Reyes Espíndola, y otros, 2007).

Figura 2-5: Relación lineal entre la velocidad y la densidad vehicular, punto singular

Se resuelve calcular largo promedio mínimo y máximo vehicular. Según compañía de seguros "Mapfre "el segmento más compacto son los coches urbanos y tienen una medida promedio de 4,1 [m], por consiguiente si la velocidad es v=d/t en donde d es la distancia y t es el tiempo, se tiene que el cálculo del tiempo de tránsito está dado por la razón de la distancia partido por la velocidad t=d/v, la distancia está representada por el largo del vehículo d= 4,1 [m] y se cuenta con una velocidad media espacial a flujo máximo de Ve= 39 [km/h] es igual de equivalente a Ve= 10,83 [m/s] por lo tanto el tiempo de tránsito para un vehículo compacto es t= 0,378 [s]

De igual manera para el cálculo de tiempo de tránsito vehicular con largo máximo, según artículos 56° y 57° de la ley N° 18.290 largo máximo permisible para un camión con remolque es de 22,40 [m], está condicionada a la razón de la distancia partido por la velocidad t=d/v, en tal caso el tiempo de transito es t= 2,068 [s].

En consecuencia se tiene un tiempo mínimo y máximo de tránsito vehicular según tamaño de vehículo clasificado para una velocidad media espacial a flujo máximo, en tal caso se trabajará con un intervalo de tiempo mínimo en donde este marcaria que existe congestión vehicular considerando los cálculos anteriores, pero el parámetro de tiempo mínimo se ve condicionado por

el tiempo máximo que demora un camión en pasar por la zona de sensado a velocidad máxima permisible en la zona estudiada ya que el tiempo de sensado mínimo de transito podría ser menor al tiempo de tránsito a flujo libre de un vehículo de largo 22,4 [m] . En consecuencia daría una falsa lectura indicando que la variable sensada indica congestión vehicular o vehículo detenido el cual sería una lectura errónea.

2.2.2.3 Cálculo de transición de tiempo por vehículo con velocidad máxima permisible para tráfico vehicular saturado y tráfico vehicular no saturado en función del largo vehicular

Por la tanto se calcula el tiempo a máxima velocidad permisible en la zona que es de 60 [km/h], velocidad máxima equivalente 16,6 [m/s], si el largo máximo es de 22,40 [m] y usando la razón t=d/v se tiene un tiempo de t =1,344 [s], este es el tiempo que condicionaría al tiempo de flujo máximo en un vehículo de un largo promedio menor, en este caso el tiempo es mayor al tiempo de tránsito a flujo máximo del auto menor por ende no altera el tiempo de discernimiento. De igual manera se calcula el tiempo de transición vehicular a máxima velocidad permisible con largo mínimo promedio de auto, si largo mínimo promedio es de d= 4,1 [m] y la velocidad máxima es de 16,6 [m/s] por lo tanto se tiene un tiempo de transición vehicular de t =0,246 [s].

2.2.2.4 Cálculo de transición de tiempo por vehículo en base a aforo vehicular tanto para tráfico vehicular saturado y tráfico vehicular no saturado en función del largo vehicular

En base al aforo vehicular registrado y posteriormente los cálculos de velocidad media espacial Ve tanto para tráfico saturado como tráfico no saturado, se procede a calcular los tiempos que demora en transitar un vehículo por la zona de sensado para un largo mínimo vehicular y un largo máximo vehicular.

Cálculo de tiempo de tránsito con una velocidad media espacial Ve en flujo vehicular saturado.

Largo promedio mínimo vehicular de 4,1 [m], por consiguiente el cálculo del tiempo de tránsito está dado por la razón de la distancia partido por la velocidad t=d/v, se cuenta con un a velocidad media espacial Ve=0,7602 [m/s] y una distancia que viene reflejando el largo del vehículo d= 4,1 [m] por lo tanto el tiempo de tránsito para un vehículo compacto es t= 5,3 [s].

Cálculo de tiempo de tránsito con un largo máximo vehicular d=22,4 [m], El tiempo de tránsito está condicionada a la razón de la distancia partido por la velocidad t=d/v, en tal caso el tiempo de transito es t= 26,96 [s]. , para un camión de largo 22,40 [m].

Cálculo de tiempo de tránsito con una velocidad media espacial Ve en flujo vehicular no saturado.

Se cuenta con un a velocidad media espacial de Ve=17,458 [m/s] y una distancia d= 4,1 [m] por lo tanto tiempo de tránsito para un vehículo compacto será t= 234,844 [ms], en tanto el tiempo de tránsito para un camión con un largo de d=22,4 [m] será de t= 1,283 [s].

2.2.2.5. Sensado de tiempo bajo concepto microscópico de modelamiento vehicular tanto para tránsito como detenciones medido bajo un flujo vehicular saturado

En la ruta 64 Viaducto Salto Largo se realizó un conteo de tiempo al interior de un vehículo en movimiento en condiciones de flujo vehicular saturado y en periodo hora punta-tarde 17:15 PM, se tomaron los tiempos de duración de cada detención que realizaba el vehículo en la vía. Se considera la distancia de medición 270 [m] y el tiempo total 275 [s], se concluye que el vehículo anduvo a una velocidad media de 3,53[km/h]. La tabla 2-3 representa los tiempos de detención del vehículo en horario punta tarde con flujo vehicular saturado.

Tabla 2-3: Tiempo de detenciones de vehículo en flujo vehicular saturado

Tiempo Vehículo detenido [s]	15	6	40	30	101	16	48
Tiempo en Tránsito [s]	2	4	3	2	3	2	3

Fuente: Información recolectada por el autor.

Observaciones objetivas, se aprecia que el tiempo de detención mínimo es de 6 [s] en un periodo de flujo saturado. Este tipo de apreciaciones puede fijar parámetros de control cuando se requiera ajustar las unidades de sensado a su punto óptimo.

2.2.3 Conclusiones sobre criterio a utilizar para lógica de discernimiento de tráfico vehicular

La tabla 2-4 muestra los datos de tiempo obtenidos con los cálculos anteriormente analizados en diferentes condiciones de tránsito y velocidades condicionados tanto por un flujo vehicular saturado como también flujo vehicular no saturado en función a los diferentes tamaños vehiculares largo máximo y mínimo.

Tabla 2-4: Datos de tiempo obtenido bajo diferentes largos vehiculares y condiciones de tráfico.

		Largo vehicular mínimo 4,1m	Largo vehicular máximo 22,4m
Aforo vehicular realizado en ruta 64	Flujo vehicular saturado	5,3 [s]	26,965 [s]
	Flujo vehicular no saturado	0,2348 [s]	1,283 [s]
Cálculo teóricos	Flujo vehicular a máxima capacidad	0,378 [s]	2,068 [s]
	Flujo vehicular Ve= 60 km/h	0,246 [s]	1,344 [s]

Fuente: Información recolectada por el autor.

En base a los resultados obtenidos, para fijar los límites de tiempo de transición de pulso para posteriormente clasificar el pulso por el sistema de control, si este corresponde a un pulso en un estado de flujo saturado o no saturado.

Se trabajará con los tiempos de transición de pulso de la detección dejada por el paso de vehículos de mayor largo, ya que este dado su tamaño tiene un tiempo de transición de pulso mayor que los automóviles de menor tamaño moviéndose ambos vehículos a una misma velocidad. De la misma manera para fijar la velocidad media espacial Ve que condicione tal tiempo de transición de pulso, será la velocidad media a flujo máximo Vem en donde se produce la mayor proporción de flujo vehicular con una velocidad media espacial Ve a la mitad de la velocidad de flujo libre Vi y una densidad o concentración vehicular k a la mitad de la densidad o concentración de congestionamiento kc, en caso que el flujo vehicular aumente, de la misma manera si aumentara la concentración vehicular k, la velocidad media Ve disminuirá aún más debido a la concentración k y de esta manera se comenzara acentuar más el congestionamiento vehicular. Dicho esto el tiempo de transición de pulso que limitara si existe flujo vehicular saturado q, se calculara en base al flujo máximo vehicular qm, con un tiempo de transición condicionado por el largo máximo vehicular permisible por la ley, bajo estos criterios el tiempo transición de pulsos es de 2,068 [s].

Los datos de transición de tiempo que se obtienen tanto de forma teórica y con datos reales de aforo vehicular, se utilizaran para fijar los rangos de control máximo y mínimos de ajuste cuando los equipos sean calibrados para el sensado vehicular; ejemplo recordando que en el aforo vehicular los tiempos de detenciones vehiculares son muchos largos y estos parámetro no son de menor relevancia en el momento de calibrar los instrumento, con respecto a la elección del parámetro, se utiliza el tiempo óptimo, en este caso el sistema opera en función de 2,068 [s] en ese tiempo discernirá si efectivamente el flujo vehicular en el cual se está sensando pertenece a un flujo saturado o no saturado.

2.3 DISPOSITIVOS A UTILIZAR

Alternativas de dispositivos a utilizar:

- Dispositivo de lazo inductivo, son detectores de tráfico vehicular que se basan en el principio de la inductancia de una bobina, estos circuitos cambian de forma considerable su inductancia equivalente antes la presencia de un conductor, estas bobinas son instaladas en la superficie del pavimento.

  Unas de las ventajas de estos sensores que no requieren de contacto con el objeto a detectar, sin embargo la principal desventaja es que solo son sensitivos para algunos materiales conductores; como también son sensores con tecnología intrusiva, estos sensores son aquellos que cuya instalación se realizan en el pavimento, en efecto su mantenimiento es bastante costoso.

- Dispositivo de tubo neumático, lo tubos neumáticos son tubos de goma largos instalados en la superficie del pavimento, perpendicularmente a la dirección del flujo de tráfico. Cuando la ruedas de un vehículo pasan por encima del tubo neumático, un pulso de presión de aire es transferido por lo largo del tubo, y una señal eléctrica es disparada para representar la detección del vehículo cuando el pulso cierra el switch de aire. Desventaja que presenta que es poco preciso en el conteo de camiones y por lo demás requiere mantenimiento frecuente, este suele ser costosos ya que el dispositivo se encuentra instalado en el pavimento.

- Dispositivos infrarrojos, los sistemas infrarrojos se basan en la detección de la energía emitida por vehículos, superficies viales u otros objetos que se encuentren en la apertura del sensor, cualquier objeto con una temperatura mayor que el 0 absoluto (-273,15°C) emite cierta radiación correspondiente al extremo electromagnético del IR, dependiendo de la superficie, temperatura, tamaño y estructura del objeto. Los vehículos que se presentan en la zona de detección son detectados por el cambio de la radiación IR recibida. La magnitud de la señal proveniente del objeto detectado es proporcional al producto de la diferencia de emisión de radiación entre la superficie terrestre y el vehículo. Ventajas de este tipo de sensores, que no es un tecnología intrusiva puesto que no van inserto en pavimento del carril de las vías y su mantenimiento no es costoso, su principal desventaja es que se ve afectado por factores medio ambientales, como son las altas temperaturas en el lugar.

- Radares de microondas, son dispositivos que permiten transmitir señales electromagnéticas a frecuencias de trabajo de 1 a 30 GHz, el principio de funcionamiento es por medio de una antena que irradia señal de radio frecuencia al espacio y a los objetos de interés que se encuentran en su área de cobertura, la señal se propaga en el espacio y parte de la señal es

reflejada por el entorno y los objetos de interés, esta señal es detectada por la antena, la antena recoge la señal reflejada, estas señales recibidas son procesadas y de acuerdo a los umbrales de detección se puede obtener información como lo es la presencia vehicular en la zona de detección. Estos tipos de sensores no se ven afectados por condiciones medio ambientales, como también no son intrusivas, ya que, no requieren ser instaladas directamente dentro de la superficie de la vía, sino que son colocadas por encima o a un lado del pavimento.

Se concluye que el tipo de sensor recomendado para el proyecto es un sensor del tipo radar ya que no es intrusivo en las superficies de las vías y no se ve afectado por las condiciones medioambientales en el sector de sensado.

2.3.1 Sensor

Sensor a utilizar VEGAPULS C 11 figura 2-6, sensor del tipo radar para la medición continúa de nivel de sólidos a granel o líquidos.

Fuente: Página Web www.vega.com

Figura 2-6: Sensor VEGAPULS C 11

Sensor con tecnología radar que permite medir distancias. Las señales de microondas de radar rebotan fácilmente en materiales como el acero y aluminio lo que hace que lo vehículos sean detectados de forma confiables, de igual manera las señales de microondas de radar no se ven afectadas por los cambios de temperatura, luminosidad, viento y polvo. El sensor de radar genera una señal de salida normalizada de 4- 20 [mA], la cual es canalizada hacia un módulo conversor análogo de corriente a voltaje para normalizar la señal a nivel de voltaje 0-5 [Vdc] y esta enviarla

a la tarjeta de desarrollo Arduino. La señal es variante en el tiempo con bajo nivel de ruido, lo cual no requiere un nivel de procesamiento elevado.

2.3.1.1 Principio de funcionamiento

VEGAPULS C 11 es un sensor de radar para la medición continua de nivel en sólidos. Desde la antena del sensor de radar se emiten pulsos cortos de radar con una duración aproximada de 1 ns. Dichos pulsos son reflejados por el vehículo y posteriormente captados en forma de ecos por la antena.

El tiempo de duración de los impulsos de radar desde la transmisión hasta la recepción es proporcional a la distancia y de esta forma a la altura del objeto. Una altura del objeto determinada se transforma en una señal de salida normalizada de 4-20 mA, en donde 4 mA. Representa la distancia mínima entre el sensor y el objeto, y 20 mA. Representa la máxima distancia entre el sensor y el objeto.

Sus ventajas, operación libre de mantenimiento, ya que, la tecnología radárica es sin contacto, resultados exactos de medición independiente de las condiciones del proceso y ambientales, sensor económico para tareas sencillas de medición.

La tabla 2-5 presenta las características generales del sensor VEGAPULS C11, que se encuentra en las 04 estaciones de sensado.

Tabla 2-5: Características Generales Sensor VEGAPULS C 11

Características técnicas	
Aplicaciones	Sólidos a granel o líquidos
Rango de medición máx	8 m (26,25 ft)
Temperatura de proceso	-40 … +60 °C (-40 … +140 °F)
Presión de proceso	-1 … +3 bar/-100 … +200 kPa
Error de medición	≤ 5 mm
Rango de frecuencia	Banda W (80 Ghz.)
Salida de señal	• 4 … 20 mA/- dos hilos
Tensión de Alimentación	12 … 35 V dc

Fuente: www.vega.com

2.3.1.2 Estructura física del radar VEGAPULS C 11

Los materiales de diseño del VEGAPULS C 11 se conforman de PVDF, el cable de conexión está aislada con PVC, la carcasa está optimizada para aplicaciones en el área de aguas/ aguas residuales, de igual manera también el área de conexionado se encuentra diseñada con prensaestopas con el efecto de alcanzar un grado de protección IP66/IP68(3bar). La figura 2-7 representa la arquitectura de construcción del radar VEGAPULS C 11.

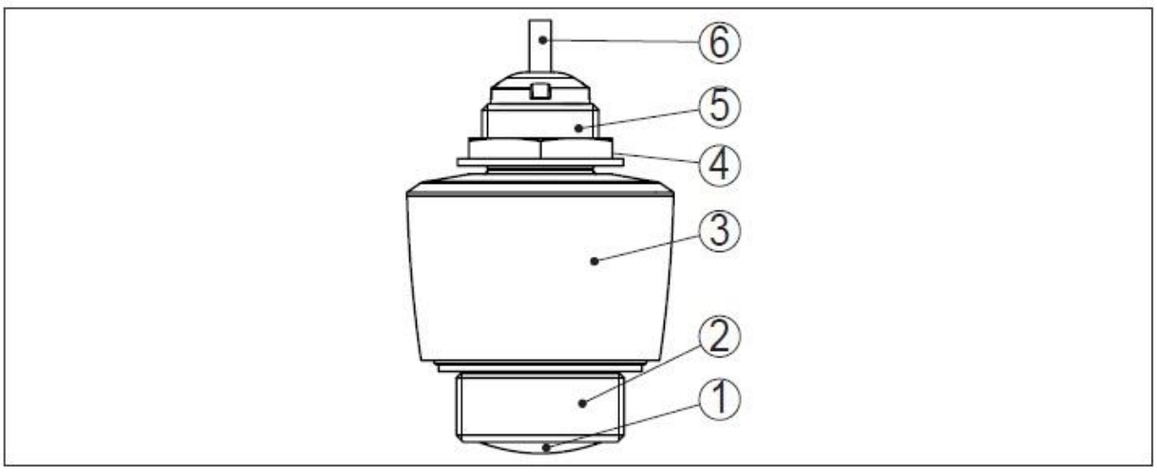


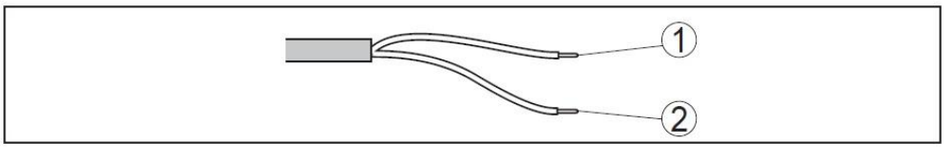
Fig. 1: Componentes del VEGAPULS C 11

1 *Antena de radar*
2 *Conexión a proceso*
3 *Carcasa de la electrónica*
4 *Contratuerca*
5 *Rosca de montaje*
6 *Cable de conexión*

Fuente: www.vega.com

Figura 2-7: Componentes Generales Sensor VEGAPULS C 11

La alimentación del sensor representado en la figura 2-8, tensión de 12 … 35 [Vdc], con una corriente máxima de consumo de 22 [mA]. El equipo se conecta con cable comercial de dos hilos sin blindaje. En caso de esperarse interferencias electromagnéticas, superiores a los valores de comprobación de la norma EN 61326-1 para zonas industriales, hay que emplear cable blindado. La salida de corriente se de 4 … 20 [mA] se realiza por el mismo cable de alimentación para posteriormente pasar por el conversor de corriente 4 … 20 [mA] a 0-5 [V dc].



	Color de los conductores	Función	Polaridad
1	Pardo	Alimentación de tensión, salida de señal	Positivo (+)
2	Azul	Alimentación de tensión, salida de señal	Negativo (-)

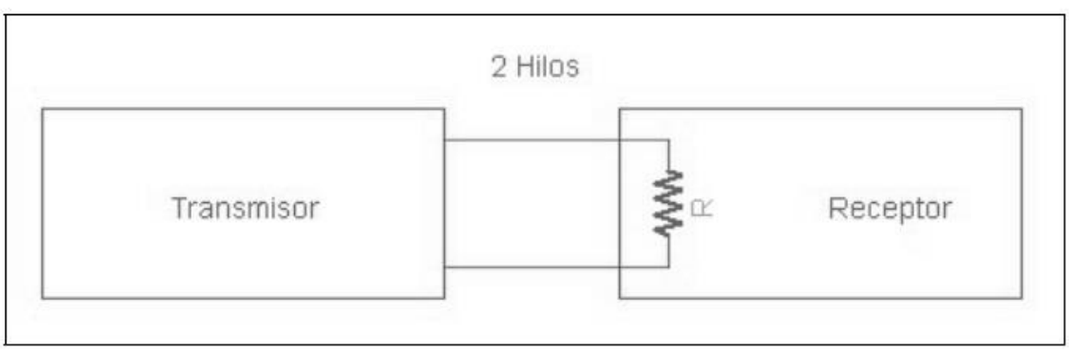
Fuente: Página Web www.vega.com

Figura 2-8: Esquema de alimentación Sensor VEGAPULS C 11

Para que Arduino ejecute las sentencias programadas de acuerdo a las señales provenientes del sensor, se debe normalizar la señal a voltajes, para que Arduino reconozca los voltajes y le asigne algún valor lógico 0 o 1. Se usará modulo convertidor de corriente a voltaje. Este módulo va conectado a la misma fuente de voltaje que alimenta al sensor, se forma un lazo de corriente de dos hilos, esta conexión es ampliamente empleada en procesos industriales de control. La principal ventaja, es que la señal no se ve a afectada por la caída de tensión que se produce en la línea, lo que permite controlar actuadores además de obtener medidas de sensores ubicados a grandes distancias entre sí.

Modo de funcionamiento de dos hilos: Mediante dos líneas, se provee energía y se extrae la corriente proporcional a la variable sensada. Se considera al receptor como flotante, ya que la fuente de alimentación se encuentra en el receptor.

El uso de 2 hilos facilita la instalación, pero demanda una electrónica más compleja en el transmisor.



Fuente: www.vega.com

Figura 2.9: Conexión del transmisor con el módulo convertidor de corriente a voltaje

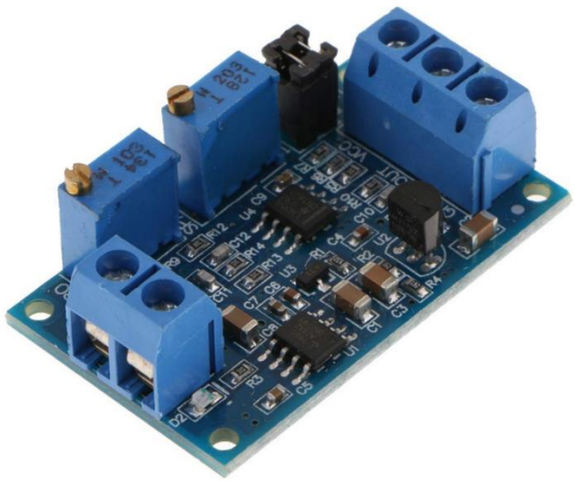
Para el cálculo de la resistencia de carga Rc, como se representa en la figura 2-9, está dada por el fabricante en donde se utiliza la siguiente igualdad. Resistencia de carga Rc es igual a la resta del voltaje que suministra la fuente $Vin = 24\ V$ con el voltaje mínimo de operación del sensor $Vm = 12\ V$.

$Rc = \frac{Vin - Vm}{0{,}022} A$, por lo tanto $Rc = 545\ \ \Omega$

2.3.1.3 Conversor de corriente a voltaje para la comunicación del radar con tarjeta de desarrollo Arduino

Se utiliza módulo conversor de corriente como se representa en la figura 2-10 de 4… 20[mA] a 0-5 [V dc], ofrece alta precisión, poca variación de temperatura, tiene ajuste con potenciómetro cuando la entrada tiene un valor mínimo de corriente la salida se puede ajustar a valor mínimo de voltaje, de la misma manera el valor máximo de entrada se puede ajustar en la salida para variar el valor del voltaje de salida. Modulo conversor de corriente a voltaje cuenta con las siguientes características:

Tensión de alimentación:	7-36 Vdc
Corriente de entrada:	0 – 20 mA / 4 – 20 mA
Consumo	0,528 W
Tensión de salida:	0 – 3.3 Vdc / 0 – 5 Vdc / 0 – 10 Vdc
Temperatura de operación:	-20 – 60 °C
Error máximo de salida:	10 mV
Tiempo de respuesta:	< 10 ms
Grado IP	68 (3 bar)



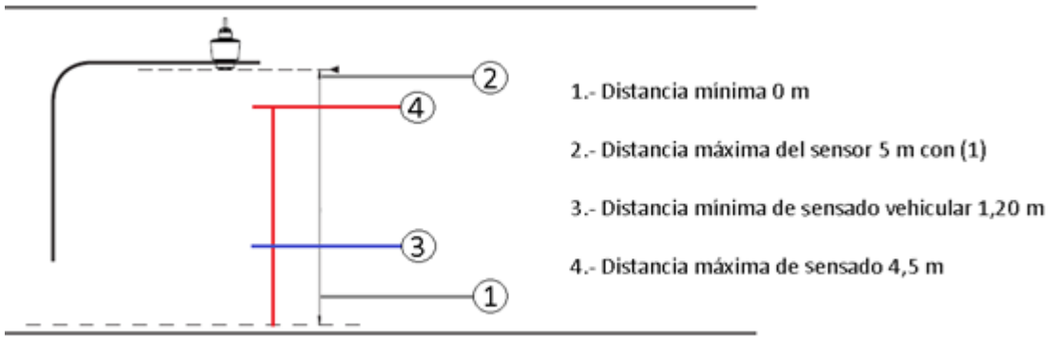
Fuente: Pagina web https://www.jamconbds.com/

Figura 2-10: Módulo conversor de corriente a voltaje

2.3.1.4 Parametrización sensor Vegapuls c 11

Para parametrizar el sensor Vegapuls C 11, este sensor incluye una interface inalámbrica bluetooth con ello pueden recibir valores de medición y de estado como también modificar la configuración del equipo a través de esta interface. Para el establecimiento de la comunicación bluetooth se puede realizar con smartphone/tableta/portátil solo se requiere un código de acceso de bluetooth que lo indica el fabricante. En el dispositivo que requiera comunicarse con el sensor hay que descargar una aplicación para poder establecer comunicación con el sensor.
El ajuste significativo que se aplica a la configuración del sensor es la distancia de sensado, esta tiene un rango de medición máxima de 8[m], pero el rango de medición recomendado es hasta 5m.

En el caso túnel “Jardín Botánico” tiene una altura útil de 5 [m], la parametrización del radar (ver figura 2-11) se configura a una distancia máxima entre el sensor y el objeto de 4,5 [m], la distancia mínima entre el sensor y el objeto quedara configurada 0 [m] y su equivalente en corriente puede ser configurable en “Puesta en Marcha-modo salida de corriente” tanto para tener una salida de 4 [mA] con distancia mínima o una salida de 20 [mA] con la misma distancia mínima , si los vehículos promedio en Chile tienen una altura mínima 1,56 [m] según base de datos compañía de seguro “MAPFRE” a esto se deja una altura mínima de seguridad en caso que circule por la vía autos convertibles o descapotables, por lo tanto se contará con una altura de detección mínima de 1,20 [m].



Fuente: Información recolectada por el autor.

Figura 2-11: Ejemplo del plano de referencia para poder extrapolar la medida en el sensor

La señal de corriente de 4 … 20 [mA] se convierte en voltaje de 0 – 5 [Vdc] por medio del conversor de corriente a voltaje. La conversión se hace de forma lineal. Posteriormente la señal es ingresada en los pines análogos de Arduino, estos pines cuentan con un conversor análogo/digital con una resolución de 10 bits, en este caso el voltaje de la salida del módulo conversor está dividido en 1.024 valores diferentes, por lo tanto Arduino puede distinguir para el voltaje digital desde el valor 0 hasta el valor 1023.

En tal caso como se quiere calcular que para una altura de 0 – 1,20 [m] de sensado en ruta 64 túnel "Jardín Botánico" se comporta como un 0 lógico en donde no se sensa tráfico vehicular, se buscará el rango proporcional de los valores analógicos para esa altura y se condiciona dicho valor.

2.3.2 Microcontroladores

IDE Arduino

El entorno de programación de Arduino, del cual se muestra una imagen de su interfaz en la figura 2-12 utiliza el lenguaje de programación o conjunto de instrucciones del lenguaje C y C++ realmente se está programando en una versión simplificada del lenguaje C/C++; en donde se introducen las líneas de comandos que componen lo que se denomina sketch (programa arduino). Como puede observarse hay dos bloques principales:

VOID setup: En este bloque se realiza la configuración del dispositivo y la asignación de pines (entradas y salidas analógicas y digitales).

VOID loop: Este bloque corresponde con el bucle que contiene el programa principal, donde se incluye todas las sentencias necesarias para obtener la funcionalidad deseada.

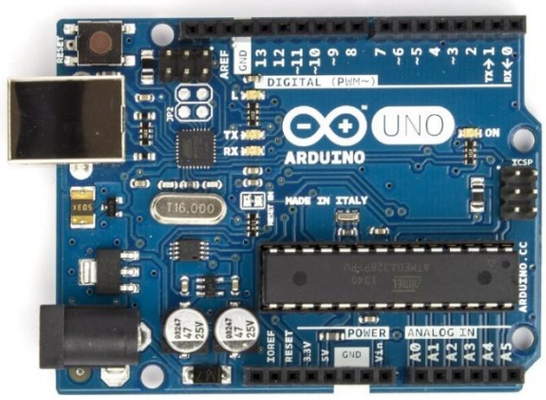
Una vez finalizado el programa, se compila y se puede cargar en el módulo Arduino mediante cable USB.

2.3.2.1 Arduino Uno

Se utilizará tarjeta de desarrollo Arduino uno para lo que son las 4 estaciones de sensado del proyecto. Arduino es una plataforma de creación de electrónica de código abierto, la cual está basada en hardware y software libre en este caso se utilizara Arduino uno. La figura 2-12 representa módulo Arduino Uno.

Características principales Arduino Uno:

- Micro controlador: ATmega328.
- Voltaje de Entrada (Recomendado): 7 – 12 V.
- Pines de Entradas/Salidas Digital: 14 (De las cuales 6 son salidas PWM)
- Pines de Entradas Análogas: 6
- Memoria Flash: 32 kB (ATmega328) de los cuales 0,5 kB es usado por Bootloader
- SRAM: 2 kB (ATmega328)

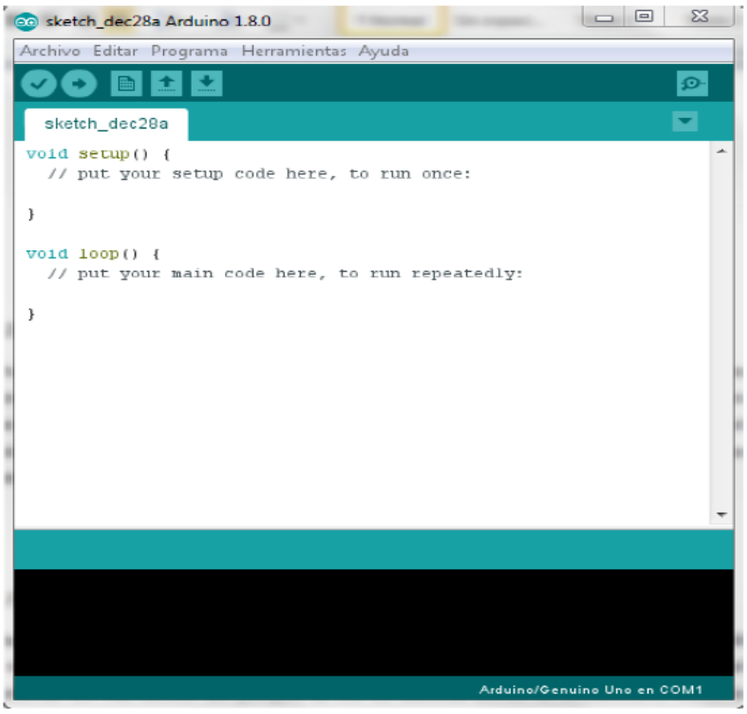


Fuente: Pagina web pluselectric.wordpress.com

Figura 2-12: Módulo Arduino Uno

La tarjeta Arduino funciona con voltajes de 7 a 12 [Vdc] por alimentación externa (conector Jack macho) o por USB (voltaje suministrado por el ordenador). Para programar la lógica de programación o firmware, Arduino Uno utiliza un segundo microcontrolador que le permite ser configurado por USB y realizar una depuración básica del código. Arduino cuenta con su propio IDE capaz de crear, editar, depurar y transferir el código a la tarjeta de Arduino. El IDE puede ser utilizado por cualquier versión de Arduino y es compatible con los sistemas operativos Windows,

Mac OS X, y Linux. EL entorno de desarrollo está escrito en JAVA, cómo se representa en la figura 2-13.



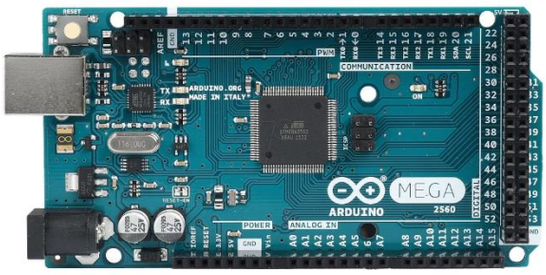
Fuente: Información recolectada por el autor

Figura 2-13: Entorno IDE Arduino

Es importante destacar que existes gran cantidad de librerías creadas por usuarios y que son de códigos abierto. Así se pueden emplear en cualquier proyecto con la finalidad de reutilizar código y poder simplificar el trabajo de programación. De esta forma, se consigue reducir el número de líneas de código, ya que simplemente se requiere importar librería y definir las diferentes variables, facilitando en gran medida las tareas de programación.

2.3.2.2 Arduino Mega 2560

También se utilizará la tarjeta de desarrollo Arduino Mega 2560 como se muestra en la figura 2-14, esta tarjeta cuenta con 4 receptores/transmisores serie TTL-UART, y estos se ocuparán en el proceso de despliegue de la información proveniente del módulo coordinador de señalética variable, dado que tanto la señalética variable aspa-flecha como señalética tipo número LED se comunican a través de protocolo de comunicación RS 232.



Fuente: Pagina web pluselectric.wordpress.com

Figura 2-14: Módulo Arduino Mega 2560

El Arduino Mega 2560 tiene 54 pines de entrada/salida, de los cuales exactamente 14 de ellos pueden ser utilizados como salidas de PWM (Modulación por ancho de pulso), cuenta con otras 16 entradas analógicas y 4 UARTs (puertos serial). En cuanto a la velocidad del microcontrolador cuenta con un Cristal de 16MHz y una memoria Flash de 256k. Maneja un rango de voltaje de entrada de entre 7 y 12 [Vdc].

La comunicación entre la tarjeta Arduino y la computadora se establece a través del puerto serie, cuenta con un convertidor interno USB – SERIE de manera que no es necesario agregar ningún dispositivo externo para programar el microcontrolador.

Especificaciones técnicas de Arduino Mega 2560:

- Microcontrolador: ATmega2560
- Voltaje Operativo: 5 [Vdc]
- Tensión de Entrada: 7-12 [Vdc]
- Voltaje de Entrada(límites): 6-20[Vdc]
- Pines digitales de Entrada/Salida: 54 (de los cuales 14 proveen salida PWM)
- Pines análogos de entrada: 16
- Corriente DC por cada Pin E/S: 40 [mA]
- Corriente DC entregada en el Pin 3.3V: 50 [mA]
- Memoria Flash: 256 kB (8kB usados por el bootloader)
- SRAM: 8kB
- EEPROM: 4kB
- Clock Speed: 16 MHz

2.3.3 Fuentes de alimentación

Fuentes de alimentación en donde se alimentan los diferentes circuitos y componentes electrónicos de cada una de las estaciones de sensado.

2.3.3.1 Fuentes reguladoras de tensión

Se usa fuentes reguladoras de tensión para alimentar los diferentes módulos electrónicos con voltajes de corriente continua de 5, 12 y 24 [V dc], las fuentes tiene una alimentación de entrada de 220 [Vac]. El voltaje de alimentación se extraerá de la red eléctrica monofásica presente en el área, como también se extraerá de paneles solares en algunas zonas de sensado. La Figura 2-15 muestra las características de las fuentes de alimentación utilizadas.

Fuente de poder 5 [V dc]

Fuente de poder DR-15-5: 5 Vdc , 2.4 A

Voltaje ADJ. Rango: 4.75 ~ 5.5V

Voltaje Rango: 85 ~ 264Vac

Rango de frecuencia: 47 ~ 63Hz

Fuente de poder 12 [V dc]

Fuente de poder DR-15-12: 12 Vdc , 1.5 A

Voltaje ADJ. Rango: 10.8 ~ 13.2V

Voltaje Rango: 85 ~ 264Vac

Rango de frecuencia: 47 ~ 63Hz

Fuente de poder 24 [V dc]

Fuente de poder DR-120-24: 24 Vdc , 5 A

Voltaje ADJ. Range: 24 ~ 28V

Voltaje Range: 85 ~ 264Vac

Rango de frecuencia: 47 ~ 63Hz

Fuente: Información recolectada por el autor.

Figura 2-15: Fuentes reguladoras de tensión para diferentes dispositivos del proyecto

Distribución de las fuente de poder para los diferentes módulos del proyecto; en el caso puntual de los módulos LED señalética variable ASPA-FLECHA y números digitales de cuatro dígitos ellos tienen

incluido sus propias fuentes de poder. La tabla 2-6, muestra la distribución de las fuentes de poder para los diferentes dispositivos del proyecto.

Tabla 2-6: Distribución de las fuentes de poder para los diferentes dispositivos del proyecto

Zona sensado N°1	
Tarjeta desarrollo Arduino uno	**Fuente de poder DR-15-12**
Radar Vegapuls c 11	**Fuente de poder DR-120-24**
Conversor de corriente 4… 20 mA a 0…5 Vdc	
Conversor bidireccional TTL-óptico DN08	
Zona sensado N°2	
Tarjeta desarrollo Arduino uno	**Fuente de poder DR-15-12**
Radar Vegapuls c 11	**Fuente de poder DR-120-24**
Conversor de corriente 4… 20 mA a 0…5 Vdc	
Conversor bidireccional TTL-óptico DN08	
Zona sensado N°3	
Tarjeta desarrollo Arduino uno	**Fuente de poder DR-15-12**
Radar Vegapuls c 11	**Fuente de poder DR-120-24**
Conversor de corriente 4… 20 mA a 0…5Vdc	
Conversor bidireccional TTL-óptico DN08	
Zona sensado N°4	
Tarjeta desarrollo Arduino uno	**Fuente de poder DR-15-12**
Radar Vegapuls c 11	**Fuente de poder DR-120-24**
Conversor de corriente 4… 20 mA a 0…5 Vdc	
Conversor bidireccional TTL-óptico DN08	
Módulo LORA E 32	**Fuente de poder DR-15-5**
Estación señalética vial variable	
Módulo LORA E 32	**Fuente de poder DR-15-5**
Tarjeta desarrollo Arduino uno	**Fuente de poder DR-15-12**
Tarjeta desarrollo Arduino AT Mega 2560	

Fuente: Información recolectada por el autor.

2.3.3.2 Paneles solares

Se usarán paneles solares para alimentar la zona de sensado N°1 y zona sensado N°2, cada zona tiene un consumo en potencia de 13,5 [Wh], el uso de este tipo de energía va en directa relación con la distancia de cableado a instalar, 400 [m], en efecto los costos se incrementa considerablemente, en cuanto a la adquisición de cable y como también su instalación.

Cabe señalar que las condiciones presente en el área facilitan la instalación de paneles fotovoltaicos considerando la potencia de consumo no es elevada para las zonas de sensado y el área se encuentra despejada con una extendida incidencia de sol durante la mayor parte del día, según datos explorador solar ref, http://ernc.dgf.uchile.cl:48080/mediciones , cuenta la zona con una cantidad de 4,5 a 6,0 [kWh/m^2 /día] , estos datos brindan una buena independencia lumínica.

Se emplea un kit panel solar de 500 [W peak], como se representa en la figura 2-16. Se considera un funcionamiento del sistema en función de la capacidad de las baterías que pueda brindar energía suficiente durante 24 horas por 5 días, para lo cual se calcula el consumo energético por 01estación de sensado, por lo tanto se obtiene un consumo de energía promedio de 1,623 [kWh], el promedio de almacenamiento por día real de la batería es la potencia nominal de la batería que cuyos valores son de 100 (Ah) con un voltaje de 12 Vdc, por lo tanto la potencia nominal 1,2 [kWh], esta potencia está condicionada al porcentaje de descarga de la batería que llega a un valor de 70%, en consecuencia se tiene la energía real que puede acumular la batería que es de 0,84[kWh]; con el valor del consumo promedio por día y la energía que puede acumular en una batería se obtiene el dimensionamiento de cuantas baterías son necesaria para poder operar el sistema ininterrumpidamente por cinco días, $cantidad_{baterias} = \frac{demanda_{promedio}}{energia_{util}}$, por lo tanto se obtiene de la razón la cantidad de 1,93 baterías, por consiguiente con dos baterías de 100 [Ah], 12 Vdc, se tiene una autonomía energética de 5 días, abasteciendo a 01 estación de sensado con red eléctrica de 220 Vac.

Fuente: Pagina web: https://panelsolarchile.cl/producto/kit-basico-500w/

Figura 2-16: Kit Fotovoltaico de 500 [Wpeak]

Especificaciones técnicas:

•Panel Solar monocristalino

•Regulador de carga de 10A

•Inversor onda modificada de 500W/SAKO

•02 batería ciclo profundo de 100A/12V

•Cables y conectores.

•Valija de Protección para panel

La figura 2-17 representa un pictograma con los distintos tipos de alimentación que se emplea en el proyecto

Fuente: Información recolectada por el autor.

Figura 2-17: Tipos de alimentación 220 Vac, para las 5 estaciones del proyecto

2.4 SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE SEÑALES

Se emplearon 3 distintas medios para poder comunicar los diferentes elementos electrónicos; comunicación inalámbrica, comunicación por fibra óptica y comunicación cableada.

Dado la topografía del terreno en cuanto a la distribución de los sensores, la comunicación entre los sensores y los módulos Arduino coordinadores no era viable la transmisión inalámbrico en sectores puntuales, en este caso para la transmisión de los datos entre los sensores se utilizó medio óptico, para posteriormente empalmar con transmisión inalámbrica, la comunicación entre módulos conversor, radar y Arduino se realiza de forma cableada.

2.4.1 Fibra óptica

Se escoge enlace de fibra óptica para realizar la comunicación de las 4 zonas de sensado, la zona sensado N°4 será el coordinador final para poder enviar la datos de sensado al módulo transmisor LoRa ES 32.

Características generales de la comunicación por medio óptico:

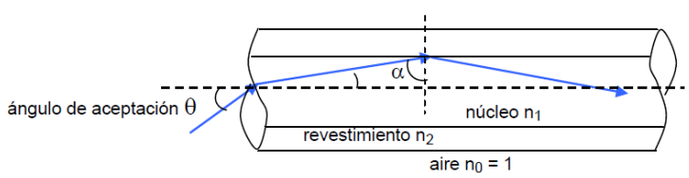
La fibra óptica es una guía de ondas dieléctrica que opera a frecuencias ópticas. Cada filamento consta de un núcleo central de plástico o cristal (óxido de silicio y zinc) con un alto índice de refracción, rodeado de una capa de un material similar con un índice de refracción ligeramente menor (plástico). Cuando la luz llega a una superficie que limita con un índice de refracción menor, se refleja en gran parte, cuanto mayor sea la diferencia de índices y mayor el ángulo de incidencia se habla entonces de reflexión interna total.

En el interior de una fibra óptica, la luz se va reflejando contra las paredes en ángulos muy abiertos, de tal forma que prácticamente avanza por su centro. De este modo, se pueden guiar las señales luminosas sin pérdidas por largas distancias.

Principio de funcionamiento:

Los principios básicos de su funcionamiento se justifican aplicando las leyes de la óptica geométrica, principalmente, la ley de la refracción (principio de reflexión interna total) como se muestra en la figura 2-18.

Su funcionamiento se basa en transmitir por el núcleo de la fibra un haz de luz, tal que este no atraviese el revestimiento, sino que se refleje y se siga propagando. Esto se consigue si el índice de refracción del núcleo es mayor al índice de refracción del revestimiento, y también si el ángulo de incidencia es superior al ángulo límite.



Fuente: Pagina web: http://www.oscarszymanczyk.com.ar/

Figura 2.18: Trayecto del rayo de luz en una fibra óptica

Ventajas:

Una banda de paso muy ancha, lo que permite flujos muy elevados (del orden del GHz).

Pequeño tamaño, por lo tanto, ocupa poco espacio.

Gran ligereza, el peso es del orden de algunos gramos por kilómetro, lo que resulta unas nueve veces menos que el de un cable convencional.

Inmunidad total a las perturbaciones de origen electromagnético, lo que implica una calidad de transmisión muy buena, ya que la señal es inmune a las tormentas, chisporroteo, entre otros.
Gran seguridad: la intrusión en una fibra óptica es fácilmente detectable por el debilitamiento de la energía lumínica en la recepción, además, no irradia nada, lo que es particularmente interesante para aplicaciones que requieren alto nivel de confidencialidad.
No produce interferencias.
Insensibilidad a las señales parásitas, lo que es una propiedad principalmente utilizada en los medios industriales fuertemente perturbados (por ejemplo, en los túneles del metro). Esta propiedad también permite la coexistencia por los mismos conductos de cables ópticos no metálicos con los cables de energía eléctrica.
Atenuación muy pequeña independiente de la frecuencia, lo que permite salvar distancias importantes sin elementos activos intermedios. Puede proporcionar comunicaciones hasta los 70 km antes de que sea necesario regenerar la señal, además, puede extenderse a 150 km utilizando amplificadores láser.
Gran resistencia mecánica, lo que facilita la instalación.

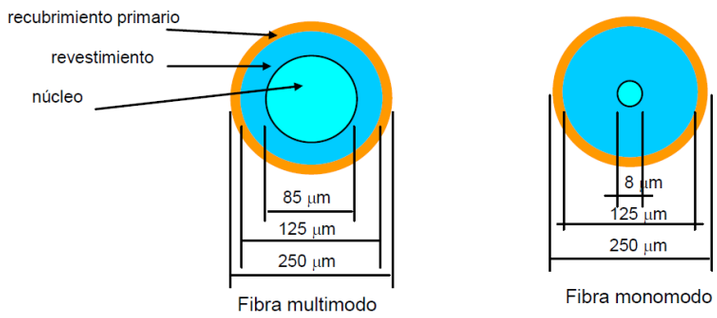
Desventajas:
La alta fragilidad de las fibras.
Necesidad de usar transmisores y receptores más costosos.
Los empalmes entre fibras son difíciles de realizar, especialmente en el campo, lo que dificulta las reparaciones en caso de ruptura del cable.
No puede transmitir electricidad para alimentar repetidores intermedios.
La fibra óptica convencional no puede transmitir potencias elevadas.
No existen memorias ópticas.

2.4.1.1 Fibra óptica a utilizar

Tipos de fibra ópticas:
Fibra multimodo: Una fibra multimodo es aquella en la que los haces de luz pueden circular por más de un modo o camino como se muestra en la figura 2-19. Esto supone que no llegan todos a la vez. Una fibra multimodo puede tener más de mil modos de propagación de luz. Las fibras multimodo se usan comúnmente en aplicaciones de corta distancia, menores a 2 km, es simple de diseñar y económico.
El núcleo de una fibra multimodo tiene un índice de refracción superior, pero del mismo orden de magnitud, que el revestimiento. Debido al gran tamaño del núcleo de una fibra multimodo, es más fácil de conectar y tiene una mayor tolerancia a componentes de menor precisión.

Fibra monomodo: Una fibra monomodo es una fibra óptica en la que solo se propaga un modo de luz. Se logra reduciendo el diámetro del núcleo de la fibra hasta un tamaño (8,3 a 10 micrones) que solo permite

un modo de propagación. Su transmisión es paralela al eje de la fibra. A diferencia de las fibras multimodo, las fibras monomodo permiten alcanzar grandes distancias (hasta 400 km máximo, mediante un láser de alta intensidad) y transmitir elevadas tasas de información (10 Gbit/s).



Fuente: Pagina web: http://www.oscarszymanczyk.com.ar/

Figura 2-19: Vista en corte de los dos principales tipos de fibras

En el proyecto se utiliza cable fibra óptico multimodo exterior de 50-125, 4 fibras para uso exterior con portante de 1x 1.5 m, representado en la figura 2-20.

Fuente: Pagina web: https://compratecno.cl/multimodo-cable-exterior/5061-om34-fibras1-mtfigura8negroexteriorportante-1x12c5unitubo.html.

Figura 2-20: Fibra óptica multimodo exterior con portante

Características generales:

- Núcleo de 4 fibras multimodo
- Construcción holgada
- Anti-humedad
- Anti-roedores
- Cubierta libre de halógenos
- Color negro

2.4.1.2 Módulo conversor bidireccional de señal TTL a señal óptica

Módulo bidireccional de transmisor y receptor de señales TTL a óptico ND08 representado en la figura 2-21. Características general de unidad conversara óptico a TTL, módulo realiza la transmisión y recepción de 8 señales ON/OFF de forma bidireccional, recepción de entradas opto acopladas y salidas por contacto libre de transmisión, tantos para fibras multimodo y monomodo.

Fuente: Pagina web: http://www.adilec.com.

Figura 2-21: Módulo conversor ND08, óptico a TTL, transmisión bidireccional.

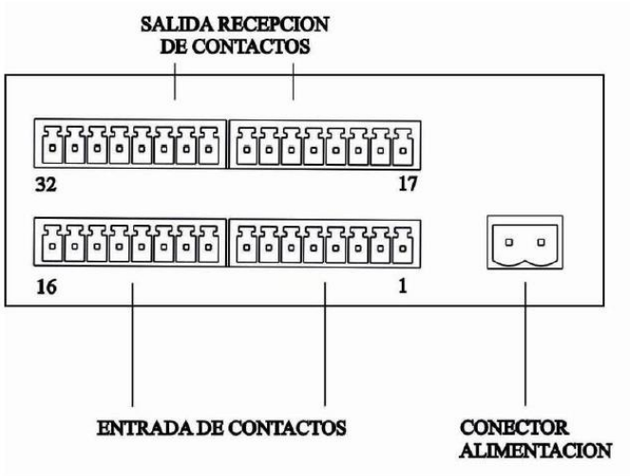
La tabla 2-7 representa las especificaciones técnicas de los módulos ND08 que se encuentran alojados en cada una de las estaciones de sensado.

Tabla 2-7: Especificaciones técnicas Módulo ND08

Entradas y Salidas	
Tensión de entrada optoacopladores	5 – 30V
Impedancia de entrada optoacopladores	4700 Ω
Activación por nivel bajo	ViLmax = 1V
Corriente máxima en contacto	2A
Tensión máxima en contacto	220 [Vdc]
Potencia máxima en contacto	60W
Impedancia contacto	100m Ω
Corriente máxima	290mA
Características ópticas	
Potencia óptica multimodo	-19dBm
Sensibilidad de recepción multimodo	-30dBm
Potencia óptica monomodo	-15dBm
Sensibilidad de recepción monomodo	-34dBm
General	
Tensión de alimentación	PAWAL o 12 a 24Vac/Vdc ±15%
Dimensiones NDO8xxx11	35×129×165 mm

Fuente: Pagina web: http://www.adilec.com.

Figura 2-22, vista trasera de conexionado de pines, del módulo conversor ND08.



Fuente: Pagina web: http://www.adilec.com.

Figura 2-22: Módulo conversor ND08, óptico a TTL, transmisión bidireccional vista trasera

La tabla 2-8 presenta de la distribución de su conexionado tanto como su alimentación y puesta atierra, sus 8 entradas optoacopladas y sus 8 salidas.

Tabla 2-8: Descripción de las entradas y salidas de Módulo conversor ND08

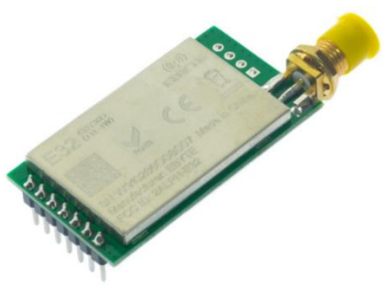
ENTRADA CONTACTOS		SALIDA CONTACTOS	
Pin	**Descripción**	**Pin**	**Descripción**
1	Vcc alimentación externa	17	Terminal 1 contacto 1
2	Vcc alimentación interna	18	Terminal 2 contacto 1
3	Activación contacto 1	19	Terminal 1 contacto 2
4	Activación contacto 2	20	Terminal 2 contacto 2
5	Activación contacto 3	21	Terminal 1 contacto 3
6	Activación contacto 4	22	Terminal 2 contacto 3
7	GND alimentación interna	23	Terminal 1 contacto 4
8	GND alimentación externa	24	Terminal 2 contacto 4
9	Vcc alimentación externa	25	Terminal 1 contacto 5
10	Vcc alimentación interna	26	Terminal 2 contacto 5
11	Activación contacto 5	27	Terminal 1 contacto 6
12	Activación contacto 6	28	Terminal 2 contacto 6
13	Activación contacto 7	29	Terminal 1 contacto 7
14	Activación contacto 8	30	Terminal 2 contacto 7
15	GND alimentación interna	31	Terminal 1 contacto 8
16	GND alimentación externa	32	Terminal 2 contacto 8

Fuente: Pagina web: http://www.adilec.com.

2.4.2 Transmisor inalámbrica Lora E32

Para la transmisión de datos se usara los módulos semtech Lora. Dispositivo representado en la figura 2-23. Estos son transeivers RF (tipo de modulo a utilizar), con capacidad de comunicación entre dispositivos, se pueden crear complejas redes de comunicación de largo alcance. Estos dispositivos cuentan con un modem de largo alcance con alta inmunidad al ruido y mínimo consumo de corriente, estos dispositivos utilizan la técnica de modulación patentada Lora alcanzando una sensibilidad de -148 dBm; esta alta sensibilidad combinada con amplificador LNA de + 20 dBm optimiza el rango de alcance y brindan la robustez necesaria para aplicaciones industriales.

Las frecuencias de trabajo están en el orden de 410 [Mhz] hasta 441 [Mhz] estas frecuencias sonde libre uso. Existen frecuencias de libre uso conocidas como ISM(Industrial, Scientific and Medical) que son frecuencias intencionalmente libres para uso no comercial en aplicaciones de tipo industrial, Científico y médico.



Fuente: E32-433T30D User Manual.

Figura 2-23: Módulo LoRa E32

Los módulos cuentan con cifrado y compresión de datos. Los datos trasmitidos en el aire son aleatorios, la velocidad de datos en el aire es del orden de 0,3 [kbps] hasta los 19,2 [kbps], entre más alta se la velocidad de transmisión disminuye el máximo alcance de transmisión del dispositivo. El algoritmo de cifrado-descifrado hace que la interceptación de datos no tenga sentido. La compresión de datos permite un tiempo de transmisión más corto y una menor tasa de interferencia, lo que aumenta la confiabilidad y la eficiencia de la transmisión. La distancia de comunicación probada es de 8 [km], potencia máxima de transmisión de 1 [W].

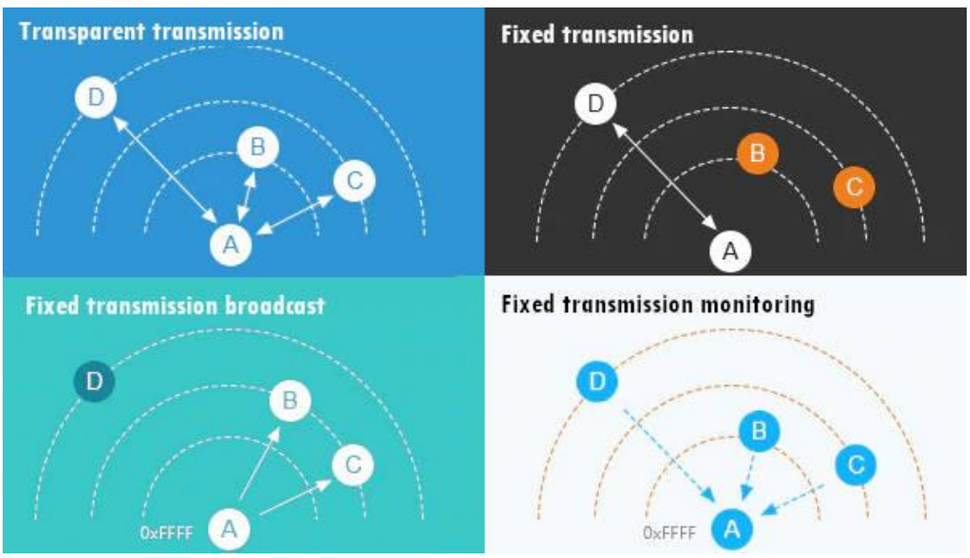
Características.

- Funcionamiento en la banda ISM de 433 MHz, por lo que no necesita licencia y es libre en todo el mundo
- Rango de alcance de hasta 8 km (en campo abierto)
- Admite una tasa de emisión de 0,3 [kbps] a 19,2 [kbps]

- Admite fuente de alimentación de 3,3 [Vdc] a 5,2 [Vdc]
- Muy alta inmunidad al ruido (relación de rechazo de canal: 56db)
- Alta sensibilidad del receptor: -139dBm
- Reinicio mejorado, control de voltaje, bajo consumo de potencia
- Consumo corriente: 10-12 mA
- Potencia máxima : 1 W
- Interfaz de comunicación: UART – 8N1, 8E1, ocho tipos de velocidad en baudios UART, de 1200 a 115.200 [bps] (predeterminado a 9600)
- Buffer FIFO de 256 Bytes

2.4.2.1 Tipo de operación y transmisión

La Figura 2-24 muestra tipos de transmisión que puede ofrecer este modelo de equipo



Fuente: E32-433T30D User Manual.

Figura 2-24: Tipos de trasmisión módulo LoRa E32.

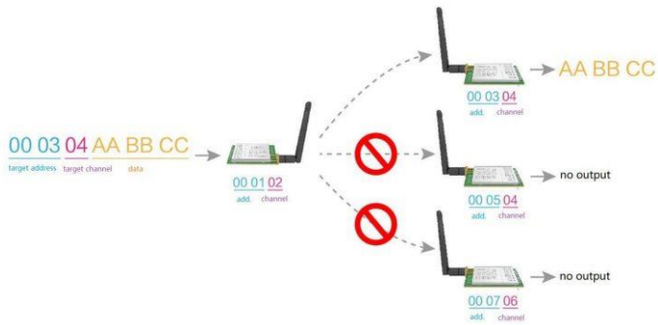
- Transmisión transparente.

Esto puede considerarse como un "modo de demostración", por defecto puede enviar mensajes a todos los dispositivos de la misma dirección y canal configurados.

- Transmisión fija, se representan en las figura 2-25 y figura 2-26.

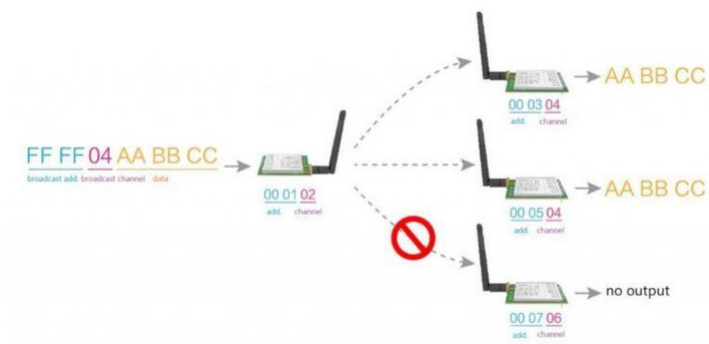
En este tipo de transmisión puedes especificar una dirección y un canal donde quieres enviar el mensaje.

Puede enviar un mensaje a: Dispositivo especificado con una dirección baja, una dirección alta y un canal predeterminados.



Fuente: E32-433T30D User Manual.

Figura 2-25: Mensaje fijo LoRa E32 a un dispositivo fijo



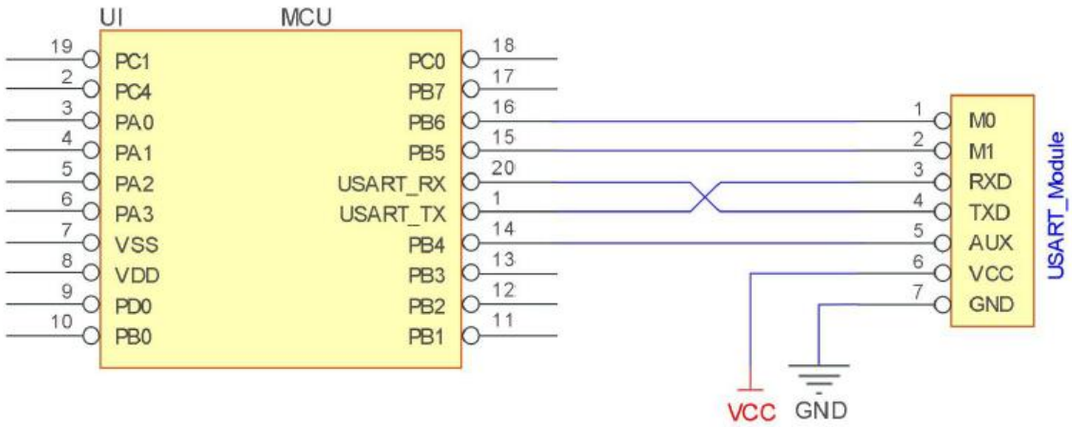
Fuente: E32-433T30D User Manual.

Figura 2-26: Presentación de transmisión de mensaje a un conjunto de dispositivo de canal

2.4.2.2 Distribución de pines y modos de configuración

- Diagrama de comunicación de dispositivo LoRa E32 con microcontrolador, representado en figura 2-27.

Se debe tener presente que el nivel de voltaje de recepción del módulo Lora E32 solo puede recibir voltaje de 3.3 [Vdc], por lo que para conectar un Arduino (TX) se debe usar un divisor de voltaje.



Fuente: E32-433T30D User Manual.

Figura 2-27: Conexión dispositivo LoRa E32 con MCU.

- Distribución de pines

La Tabla 2-9 indica la distribución, descripción y aplicación de los pines del dispositivo LoRa.

Tabla 2-9: Especificaciones de las distribuciones de pines.

Pines No.	Elemento de pines	Dirección de pines	Aplicación de los pines
1	**M0**	**Entrada （pull-up débil）**	Trabaje con M1 y decida los cuatro modos de funcionamiento. No se permite la flotación, se puede conectar a tierra.
2	**M1**	**Entrada （pull-up débil）**	Trabaje con M0 y decida los cuatro modos de funcionamiento. No se permite la flotación, se puede conectar a tierra.
3	**RXD**	**Entrada**	Entradas TTL UART, se conecta a la clavija de salida TXD externa (MCU, PC). Puede configurarse como entrada de drenaje abierto o pull-up.
4	**TXD**	**Salida**	Salidas TTL UART, se conecta a la clavija de entrada RXD (MCU, PC) externa. Puede configurarse como salida de drenaje abierto o push-pull

Tabla 2-9: Continuación			
5	**AUX**	**Salida**	Para indicar el estado de funcionamiento del módulo y activa la MCU externa. Durante el procedimiento de inicialización de la autocomprobación, el pin genera un nivel bajo. Puede configurarse como salida de drenaje abierto o salida push-pull (se permite la flotación).
6	**VCC**		Fuente de alimentación 2,3V ~ 5,5V dc
7	**GND**		Tierra

Fuente: E32-433T30D User Manual.

- Dispositivo LoRa ES32 configuración de modos

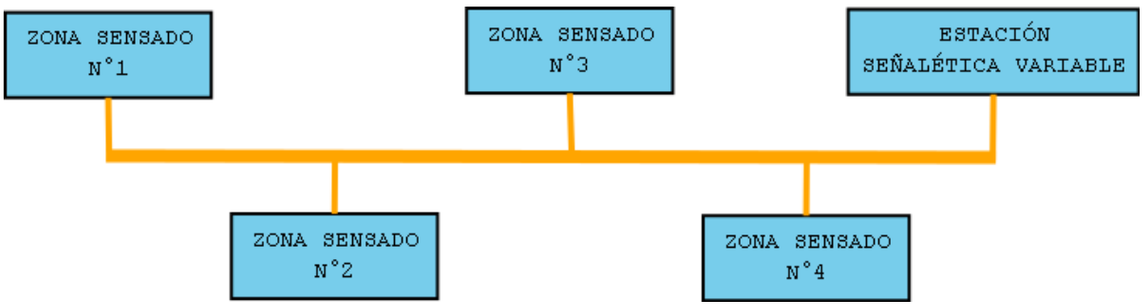
Resulta que M0 y M1 se utilizan para configurar los modos del módulo. Hay cuatro modos: normal, despertar, ahorro de energía y suspensión. Aquí hay una tabla útil. La tabla 2-10 indica la configuración de modos.

Tabla 2-10: Configuración de modos

Modo	M1	M0	Explicación
Normal	**0**	**0**	UART y el canal inalámbrico están listos para comenzar
Despierta	**0**	**1**	Igual que de costumbre, pero se agrega un código de preámbulo a los datos transmitidos para reactivar el receptor.
Ahorro de energía	**1**	**0**	UART está deshabilitado y la conexión inalámbrica está en modo WOR (despertar con radio), lo que significa que el dispositivo se encenderá cuando haya datos para recibir. No se permite la transmisión.
Dormir	**1**	**1**	Se utiliza para configurar los parámetros. Transmitiendo y recibiendo discapacitados.

Fuente: E32-433T30D User Manual.

Figura 2-28 muestra el tipo de tipología de red que se utiliza en el proyecto para la comunicación de datos, en los diferentes dispositivos interconectados con que cuenta el sistema.



Fuente: Información recolectada por el autor

Figura 2-28: Topología en bus a utilizar

Se concluye que el módulo transmisor de señal LoRa es un prometedor protocolo de transmisión inalámbrica de largo alcance y bajo consumo, para la propuesta se ajusta significativamente ya que se cuenta con una distancia de 500 [m], en la que se quiere realizar comunicación entre dos dispositivos, se sobre dimensiona el alcance ya que este dispositivo cuenta con un alcance de 8 [km] en línea vista pero debido a lo accidentado de la topografía del lugar de instalación de los dispositivos no se tiene un línea vista optima, para redundar en potencia y no quedar con bajo alcance se opta por el módulo de 1[W] de potencia y con un alcance de 8[km] .

2.5 SEÑALÉTICA VIAL

Las señalética vial están sometidas bajo normas de regulación por el Ministerio de Transporte y telecomunicaciones bajo documento anexo 1 “recomendaciones para la confección de leyendas de señales de tránsito”, se dan a conocer la principales normas que involucra toda señalética de transito vial.
El principio fundamental que rige toda señalética es de que “toda señal de transito debe ser legible a una distancia tal que proporcione al conductor el tiempo suficiente para poder leer el mensaje, seleccionar la maniobra apropiada realizar esta ésta en forma segura y oportuna” en base a esto, para poder conseguir el objetivo anteriormente expresado las señalética del proyecto se condicionara a la reglamentación vigente, se documentara solo las normas que condicionan la señalética que se requiere estudiar para el proyecto

2.5.1 Normativa vigente para la regulación de la señalética vial

En señales informativas, se pueden utilizar minúsculas cuando la altura de la letra que corresponda a la velocidad máxima de la vía sea igual o superior a 15 cm, en caso el texto tenga tanto minúscula como mayúscula las letras mayúsculas deben ser de 1/3 superior a la minúscula que corresponde para la velocidad máxima permisible, como se muestra en tabla 2-11.

Tabla 2-11: Altura de letras en centímetros

Velocidad (km/r)	Altura de Letras, en centímetros[1]	
	Leyendas simples	Leyendas complejas
40	7,5	12,5
50	12,5	17,5
60	15,0	22,5
70	15,0	22,5
80	20,0	30,0
90	20,0	30,0
100	25,0	35,0
110	25,0	35,0
120	25,0	35,0

Fuente: Manual de señalización de tránsito, del ministerio de transporte y telecomunicaciones.

Las señales deben ser visibles en cualquier periodo del día y bajo toda condición climática, por ello se confecciona con materiales apropiados y se someten a procedimientos que aseguran su retrorreflexión. Esta propiedad permite que sean más visibles en la noche al ser iluminadas por las luces de los vehículos, ya que una luz que reflejan retorna a la fuente luminosa, por lo anterior, los colores de una señal emplazada en una vía donde la velocidad máxima permitida sea inferior a 100 km/h, deben cumplir con los niveles de retrorreflexión mínimos mostrados en la tabla 2-12.

Tabla 2-12: Tabla niveles de retrorreflexión (Cd/lx m2)

Ángulos		Colores						
Entrada	Observación	Blanco	Amarillo	Rojo	Verde	Azul	Café	Amarillo Limón
- 4	0,2	56	40	11,2	7,2	3,2	0,8	230
- 4	0,5	24	20	6	3,6	1,6	0,2	160
30	0,2	24	17,6	4,8	2,8	1,4	0,2	85
30	0,5	12	10,4	2,4	1,8	0,6	0,2	60

Fuente: Manual de señalización de tránsito, del ministerio de transporte y telecomunicaciones.

2.5.2 Señalética mensaje variable aspa-flecha y dígitos numéricos

Los avances tecnológicos de las últimas décadas han permitido entregar a los conductores de vehículos motorizados información en tiempo presente en relación con las condiciones de las vías y del tránsito, lo que se logra a través de dispositivos que exhiben un mensaje que puede ser cambiado manual, eléctrica, mecánica o electromecánicamente, así como de sistemas de comunicación, y de procesos de monitoreo de parámetros de tránsito, medio ambientales y meteorológicos. Estas señales de mensaje variable SMV tienen la misma validez legal para reglamentar y advertir que una señal tradicional estática. Las autorizaciones o restricciones impuestas a los conductores y la información proporcionada a los mismos a través de ellas prevalece por sobre cualquier otra señal existente en el lugar donde éstas se encuentran.

2.5.2.1 Señalética mensaje variable aspa-flecha

En la señalética SMV que se instalará es del tipo ASPA- FLECHA. Estos módulos consta de cuadrados o rectángulos con un a relación ancho/alto de 1/1,4, ubicados sobre cada pista, los que pueden mostrar uno de los siguientes tres aspectos: aspa roja, flecha amarilla oblicua y flecha verde vertical descendente como se representa en la figura 2-29. Cada módulo se ubica a la pista a la que es aplicable. Cuando las señales se instalan en estructuras independientes, deben estar a una altura de 5,1 m sobre el pavimento.

Fuente: Pagina Web: https://www.lumtec.com.mx/Pantallas-LED/Pantallas-de-Video-LED/Senalizacion-Vial/

Figura 2-29: SMV Aspa-flecha

Aspa roja: Indica que la pista está cerrada al tránsito. Los vehículos deben abandonar la pista tan pronto puedan hacerlo, no debiendo ingresar a ella excepto para el caso de evitar un accidente.

Flecha verde vertical descendente: Indica que la pista está en condiciones de uso normal.

En condiciones normales, estos símbolos se muestran de modo fijo. En caso de incidentes se muestran de manera intermitente. En estos casos, la intermitencia de los símbolos debe ser simultánea. La figura 2-30 representa las indicaciones mencionadas anteriormente.

Fuente: Manual de señalización de tránsito Capítulo 8 – mensajería Variable.

Figura 2-30: Tipos de mensajería Variable ASPA-FLECHA

Dimensiones mínimas de módulos cuadrados de SMV Aspa/Flecha: Tratándose de módulos rectangulares, los valores de la tabla 2-13 corresponden al ancho de éstos. En todo caso, en situaciones especiales, las dimensiones podrán variar aceptándose una tolerancia de un 5%.

Tabla 2-13: Dimensiones de módulos cuadrados señal SMV Aspa/Flecha

Velocidad Máxima (km/h)	Dimensiones Mínimas (mm)
≥ 120	700 x 700
100 - 110	560 x 560
≤ 90	450 x 450

Fuente: Manual de señalización de tránsito Capítulo 8 – Mensajería Variable.

En base a las normas vigente se trabaja con el siguiente letrero representado en la figura 2-31:
En este caso se utiliza la señalética del tipo ASPA-FLECHA, con las siguientes dimensiones 450 mm X 450mm.

Fuente: http://tacse.es/es/producto/panel-led-de-mensaje-variable-modelo-aspa-flecha/.

Figura 2-31: Módulos cuadrados señal SMV Aspa/Flecha

Características generales, panel permite mostrar hasta dos pictogramas flecha verde y aspa roja. Este dispositivo permite el control de la señal vía puerto serie RS232 o RS245.

La tabla 2-14 representa las especificaciones técnicas

Tabla 2-14: Especificaciones Técnicas módulo aspa-flecha

Dimensiones externas (A x a x p)	450 x 450 x 70 mm.
Dimensiones de la señal visible (A x a)	320 x 320 mm.
Material de la envolvente	Aluminio
Recubrimiento	Poliéster en polvo negro polimerizado a 230OC
Temperatura de trabajo	Clase T1: -15OC a + 60OC
Grado de resistencia a la intemperie	IP 65

Fuente: http://tacse.es/es/producto/panel-led-de-mensaje-variable-modelo-aspa-flecha/.

2.5.2.2 Pantallas SMV

Las SMV no deben contener mensajes comerciales, políticos, institucionales, animaciones, destellos rápidos, disoluciones, explosiones, desplazamiento (SCROLL) vertical u horizontal ni otros movimientos. La exhibición de elementos de manera intermitente debe cautelar la simultaneidad de la intermitencia.

Las SMV pueden exhibir un máximo de 3 líneas en autopistas y vías no urbanas, y 4 líneas en vías urbanas convencionales, con no más de 20 caracteres por línea en cada caso. El espacio entre caracteres debe ser

entre 25 y 40% de la altura de las letras. El espacio entre las palabras de un mensaje debe ser entre 75 y 100% de la altura de las letras. El espacio entre líneas debe ser entre 50 y 75% de la altura de las letras. Las letras deben ser mayúsculas y del tamaño que muestra la tabla 2-15.

Tabla 2-15: Altura mínima de letras en función a la velocidad máxima permisible

Velocidad Máxima (km/h)	Altura Mínima (mm)
≥ 120	400
100 - 110	400
70 - 90	320
≤ 60	150

Fuente: Manual de señalización de tránsito Capítulo 8 – Mensajería Variable.

En base a las normas vigentes se trabaja con el letrero que muestra la figura 2-32. Es un panel numérico de 4 dígitos en donde se representara la distancia de congestionamiento con respecto a la posición del sensor.

Fuente: Pagina Web http://www.pantallasledchile.com

Figura 2-32: Pantalla LED Variable de 4 dígitos

La tabla 2-16 muestra Especificaciones técnicas de la pantalla LED variable de 4 dígitos, que va en su conjunto en el letrero con las señales variables de aspa-flecha.

Tabla 2-16: Especificaciones técnicas pantalla LED Variable de 4 dígitos

Modelo	LS-S-784-R
Angulo de visión	140 grados
Medidas de los dígitos	400mm x 200mm
Cantidad de dígitos	4
Distancia de visión	10 m. hasta 183 m. aprox.
Protección	IP-65
Alimentación	12 Vcc, 24 Vcc, 220 Vac
Comunicación	Wifi/3G/ RS232 equipos

Fuente: Pagina Web http://www.pantallasledchile.com

2.5.3 Interfaz gráfica

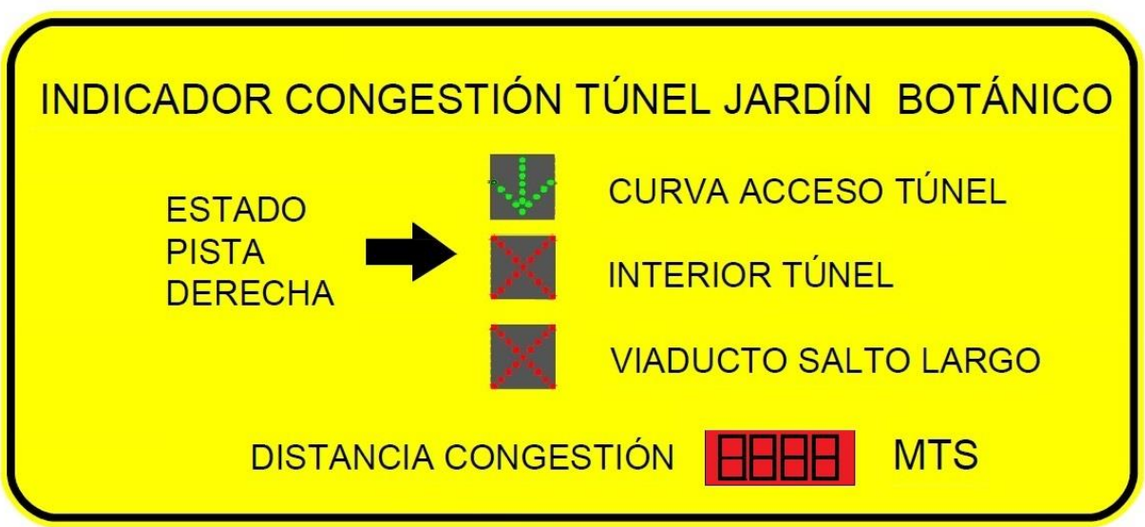
Los criterios de diseño de la interfaz gráfica, se ajustará a las normas anteriormente mencionadas.

De acuerdo a la función que desempeña este tipo de señal se clasifica en señalética de Advertencia de peligro, el propósito es advertir a los usuarios la existencia y naturaleza de riesgo y/o situaciones imprevistas presentes en la vía o zonas adyacentes.

Sus leyenda descriptiva de forma de texto que estarán implementadas en el letrero son con una altura de letra de 22,5 [cm] según anexo 1, Manual de señalización de tránsito, dado la clasificación dela señalética este será cuadrada y constara de esquema de pintura de color amarillo como también el nivel de retrorreflexión es de 36 (Cd/lx m2), mientras tanto la señalética variable Aspa-Flecha posee una altura y ancho según norma de 45x45 cm, en tanto los números de mensaje variable LED tienen una altura de 32 cm.

Se mantendrá la señalética sobre porta letreros en voladizo, su ubicación es lateral para que sean percibidas por los conductores, es preciso que la señalética vial este ubicada dentro del cono de atención, esto es, dentro de 10° respecto de su eje visual en el plano horizontal, evitando instarlas alejadas de la calzada o demasiado elevadas o muy bajo con respecto al nivel de esta. La altura está dada por la velocidad de la autovías o autopista y por el tipo de señalética que esta presenta en este caso es de 5,0 [m], desde el rasante del camino, su composición es de lata galvanizada con vinilo autoadhesivo reflectante.

La figura 2-33 representa el modelo el prototipo de señalética de mensaje variable a utilizar.



Fuente: Información recolectada por el autor

Figura 2-33: Señalética vial de mensaje variable Prototipo

2.6 SOFTWARE Y HARDWARE DEL SISTEMA DE SEÑALÉTICA MENSAJE VARIABLE

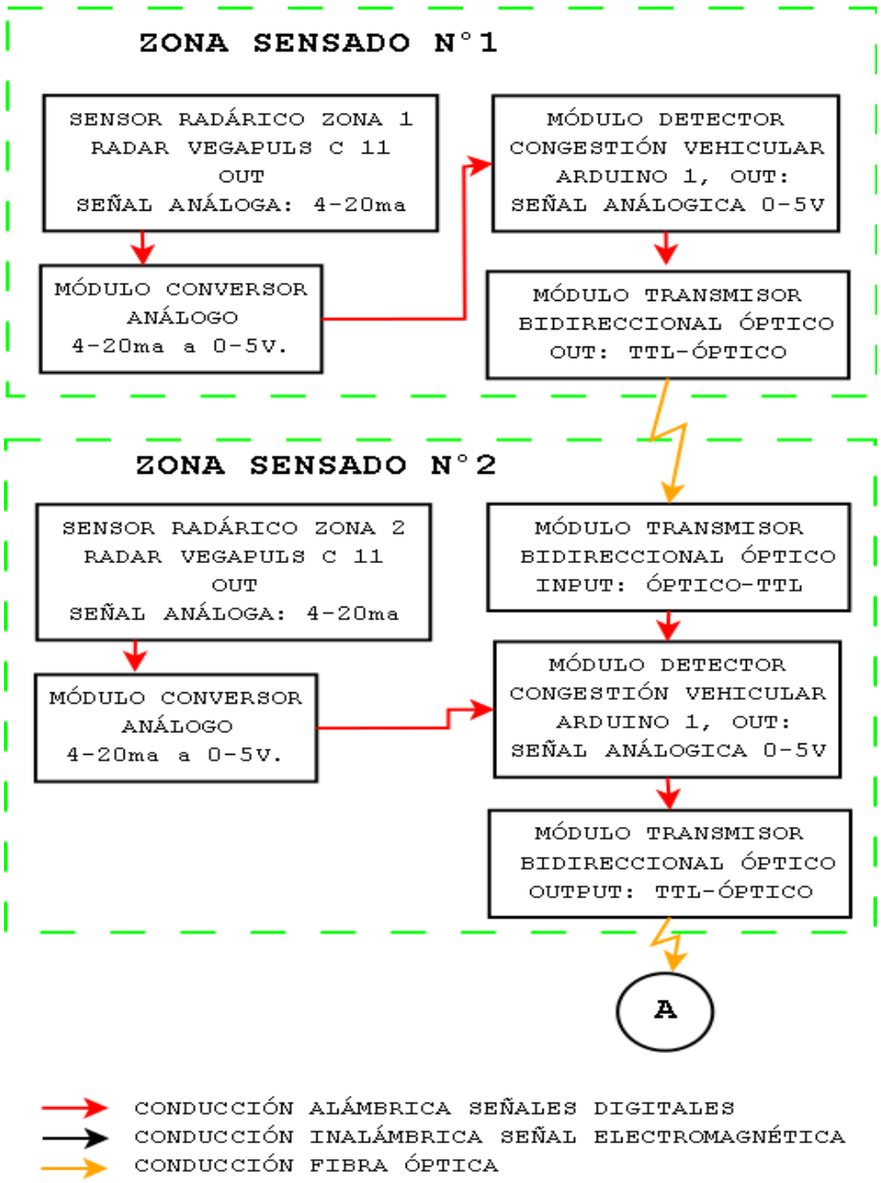
Para ejecutar los cálculos teóricos y aplicarlos al conteo vehicular, se requiere ingresarles instrucciones lógicas a los diversos microcontroladores con que cuenta el sistema, para lo cual se presentarán las diversas lógicas de control con que trabajará el sistema.

2.6.1 Software

El software del sistema cuenta la cantidad y duración de los pulsos que ingresa al módulo detector de congestión vehicular a través del paso vehicular por las estaciones de sensado, si este cumple ciertos parámetros, se espera una salida lógica hacia el módulo detector de congestión por zonas y posteriormente su visualización en la señalética de mensaje variables vial.

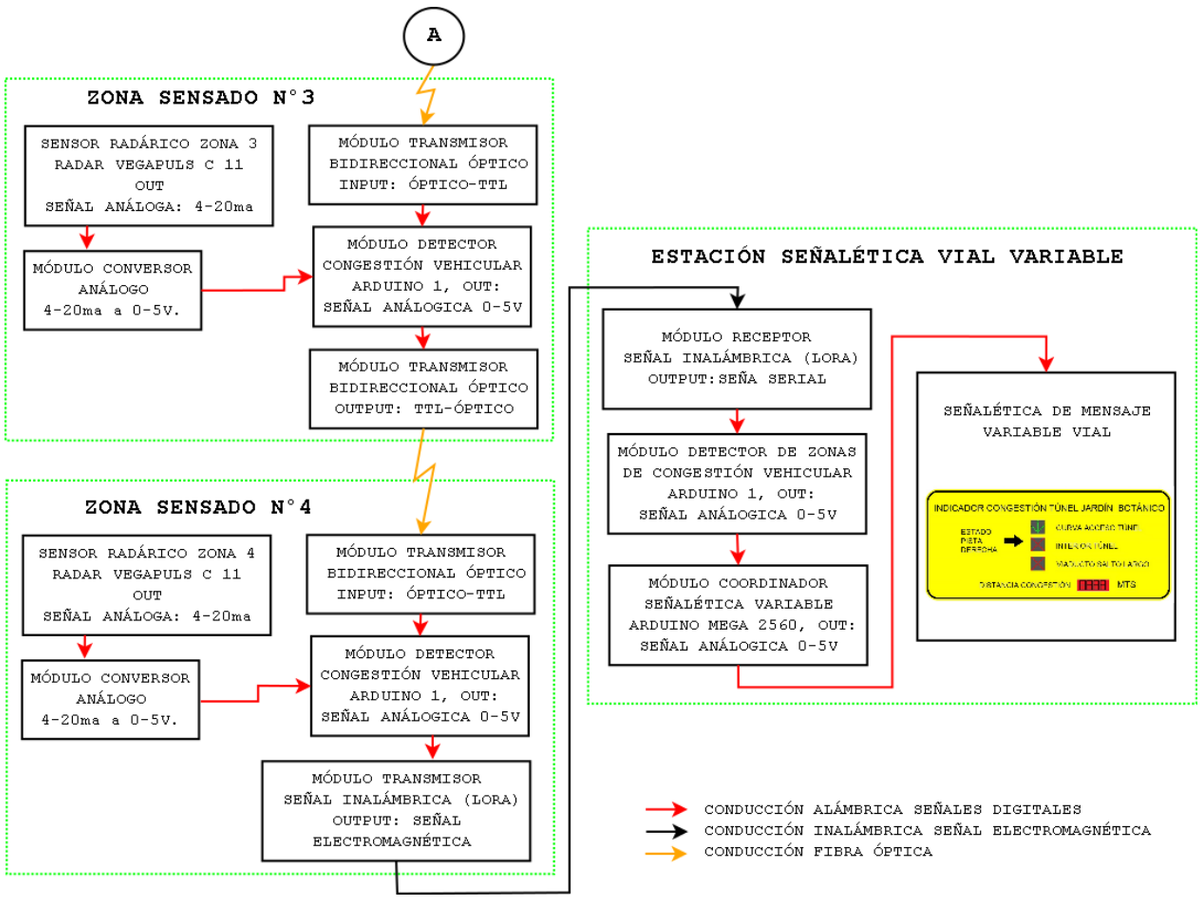
2.6.1.1 Construcción general de la comunicación entre los diferentes módulos

La figura 2-34 y figura 2-35 muestra la comunicación general entre los diferentes microcontroladores del sistema.



Fuente: Información recolectada por el autor

Figura 2-34: Comunicación entre módulo Zona N°1 y módulo Zona N°2

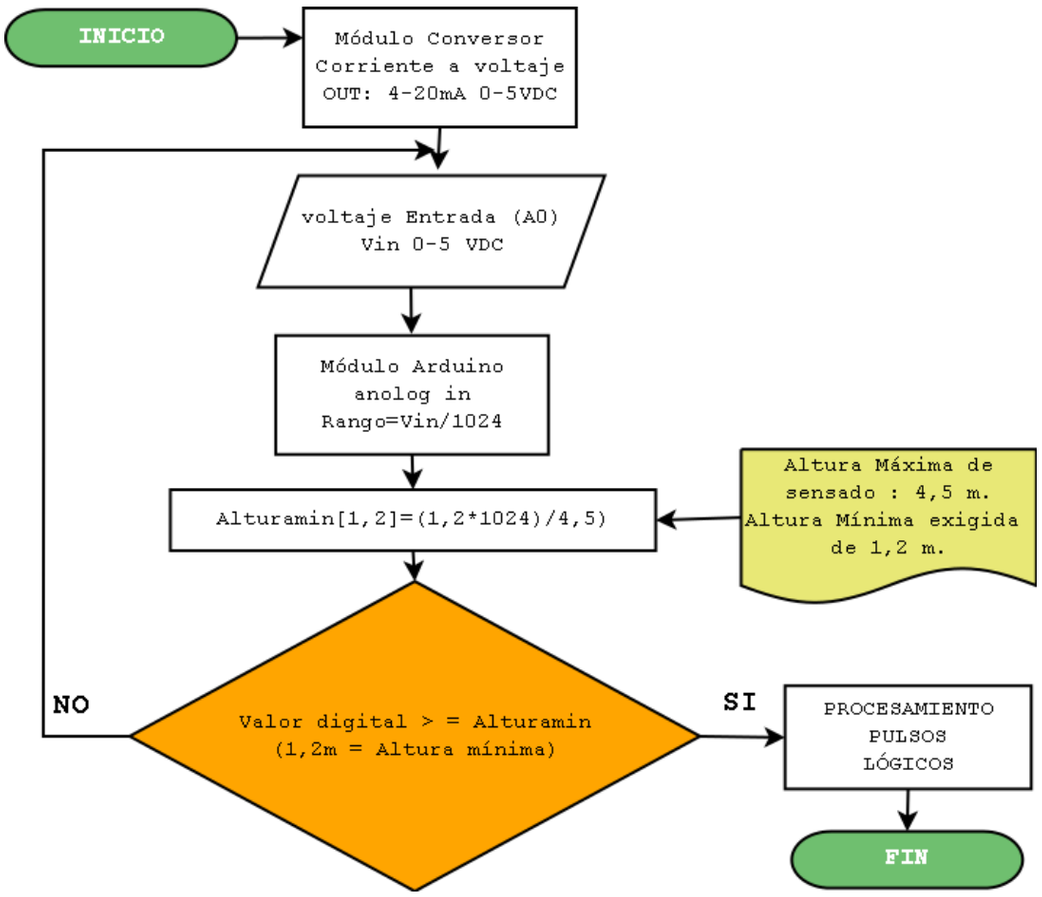


Fuente: Información recolectada por el autor

Figura 2-35: Comunicación entre módulo Zona N°3, módulo Zona N°4 y estación señalética variable

2.6.1.2 Lógica de control módulo detector congestión vehicular por zonas de sensado

Al momento del radar recibir los pulsos reflejado por el objeto este los calculas en proporción a la distancia sensada, posteriormente en la salida se presenta una señal análoga de 4 … 20 [mA], seguidamente la señal normalizada se convierte a voltaje continuo de 0-5 [Vdc] por medio del conversor de corriente a voltaje, para que Arduino pueda trabajar en dicha señal. Como anteriormente se señaló ingresa el voltaje por las entradas análogas que cuenta Arduino en este caso A0, se ajusta el parámetro altura con respecto al rango, el valor se condiciona de tal manera que el Arduino pueda discernir si existe presencia de vehículo en la zona de sensado o ausencia de este. La figura 2-36 representa la lógica de control empleada.



Fuente: Información recolectada por el autor

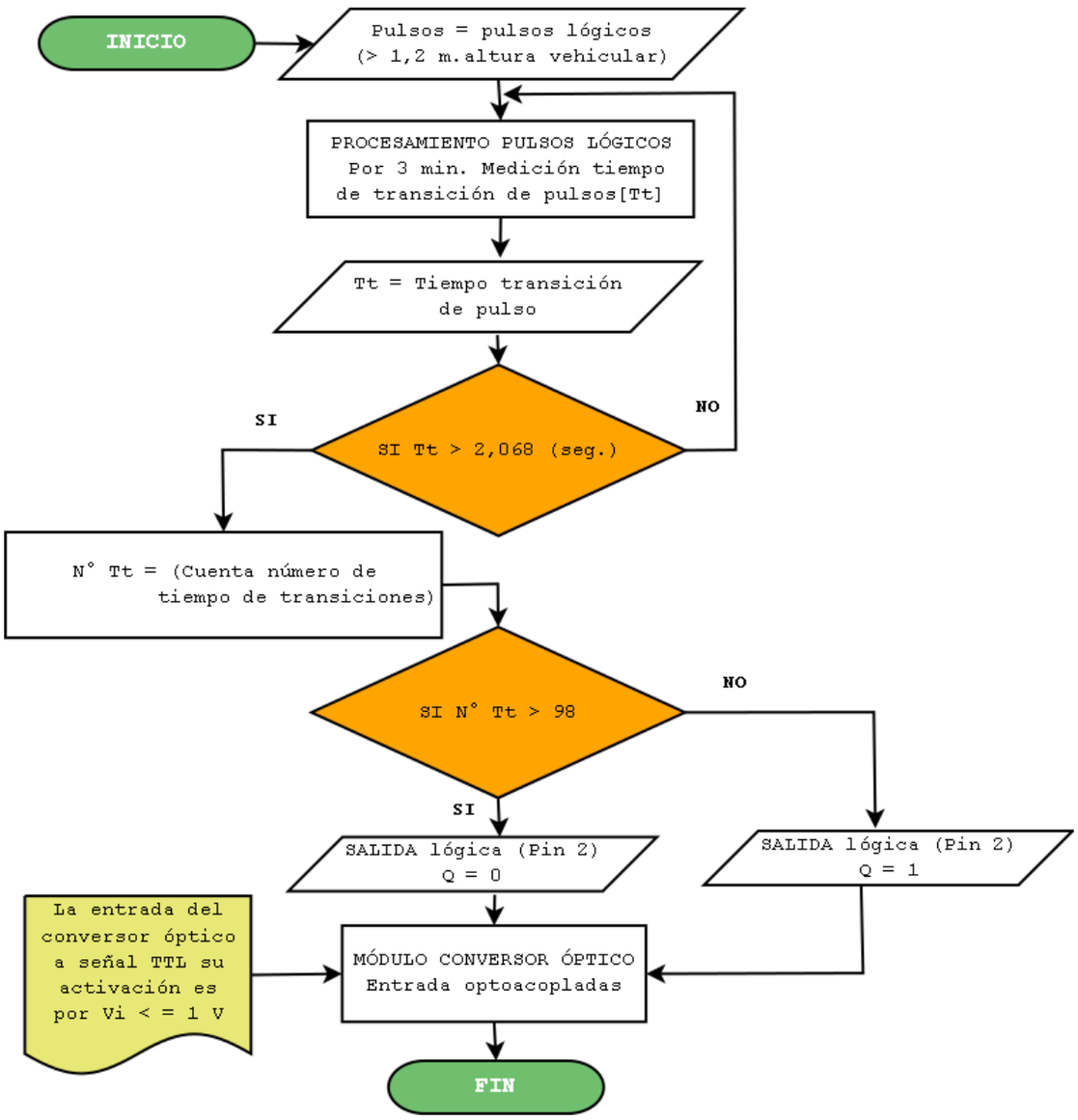
Figura 2-36: Lógica de sensado de acuerdo a los criterios de altura vehicular

Al realizar los algoritmos de presencia vehicular la variable de control ya trasformada en 1 y 0 lógicos, ingresa al bucle de procesamientos de pulsos lógicos, el bloque condiciona la duración de tiempo de transición Tt > 2,068 [s] entonces ingresa a un contador de pulsos este contador de pulsos operara bajo el siguiente criterio.

Si la concentración o densidad vehicular teórica es k =67,302[veh/km/carril] por consiguiente el flujo máximo vehicular es qm = 2,625 [veh/h], dado que los intervalos de procesamiento de transición de pulsos son de 3 [min] se tiene qm = 43,75 [veh/min], en efecto a intervalos de 3 minutos se tendrá un flujo de qm =131 [veh/intervalo (3min)] en este punto por diferentes fluctuaciones de flujo que se presentan en forma real no siempre se cumplirán dichos valores, ejemplo no todos los conductores toman una curva o pendiente con la misma velocidad es por eso que no todos los vehículos tendrán una tendencia a seguir un mismo patrón de velocidad, de igual manera se trabaja bajo un modelo de vehicular lineal que es una simplificación y aproximación de la realidad.

Se emplea las ¾ partes del qm a intervalos de 3 minutos, ya que, se está trabajando en el punto en donde el flujo es máximo y la velocidad media comienza a caer bruscamente en este caso ya se

estaría en situación de tráfico saturado por lo cual una manera de anticiparse a la congestión es adoptar un flujo inferior al límite máximo, por lo tanto adopta nuevo valor de qm =98[veh/intervalos de 3 minutos]. En la figura 2-37 se muestra la lógica de discernimiento de tráfico vehicular por zonas de sensado.



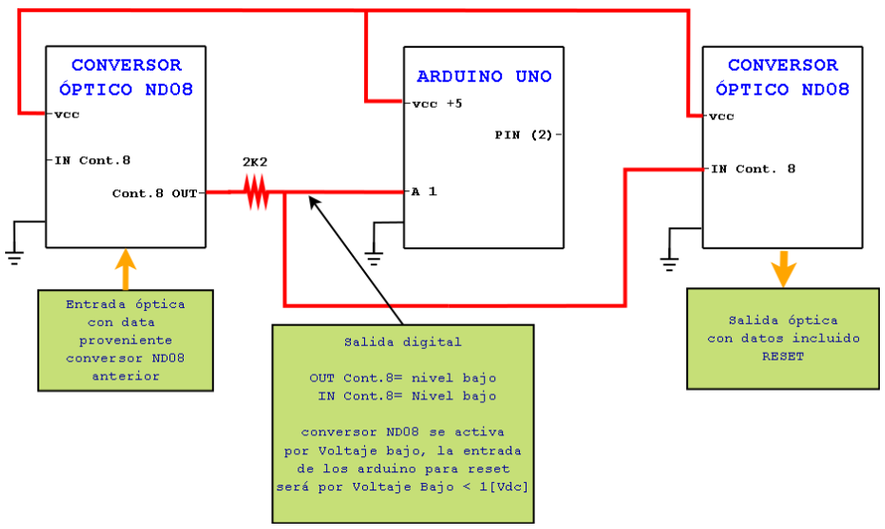
Fuente: Información recolectada por el autor

Figura 2-37: Lógica de sensado en fusión del tiempo de transición de pulso

Para las zonas de sensado N°1, N°2, N°3 y N°4 se sigue con la misma lógica.

- Sincronización de los módulos de sensado zonales:

Se cuenta con un modo de sincronización de todas la zonas de sensado, ya que, las zonas de sensado no pueden actuar asincrónicamente debido a los cambios constante de tráfico y dentro de los intervalos establecidos para lectura de datos, si existe algún desfase en la lectura del módulo coordinador nunca sensará la realidad, en este caso se realiza un reset general por software a todos los módulos Arduino en la etapa de sensado, para esto el módulo sensado N°1 envía un pulso alto en el pin A1 a todos los Arduino de la zona de sensado por medio de la comunicación óptica. La figura 2-38 representa la comunicación reset para la sincronización de los módulos de sensado zonales.



Fuente: Información recolectada por el autor

Figura 2-38: Comunicación señal Reset

Los módulos de la zonas mediante un bloque condicional “if” podrán resetearse al momento de ingresar un pulso bajo en el pin A1 de la tarjeta desarrollo de esa manera, el reset por software va estar condicionado por un intervalo de tiempo, este consta de 20 días por medio de un temporizador que tendrá el módulo de la zona N°1 de sensado. La función reset a utilizar <<void(*resetFunc)(void)=0>> , se puede activar dentro de cualquier bloque del VoidLoop <<resetFunc()>>.

2.6.1.3 Lógica de control módulo detector de congestión vehicular zona 4

El módulo detector de congestión vehicular de zonas actúa como coordinador con los diferentes módulos de sensado y con el módulo coordinador de señalética variable, en el caso de recibir data proveniente de las diferentes zonas de sensado y tener certeza que los datos recibidos pertenecen a una zona, se estructura la tabla 2-17 en donde se asigna diferentes direcciones para cada zona.

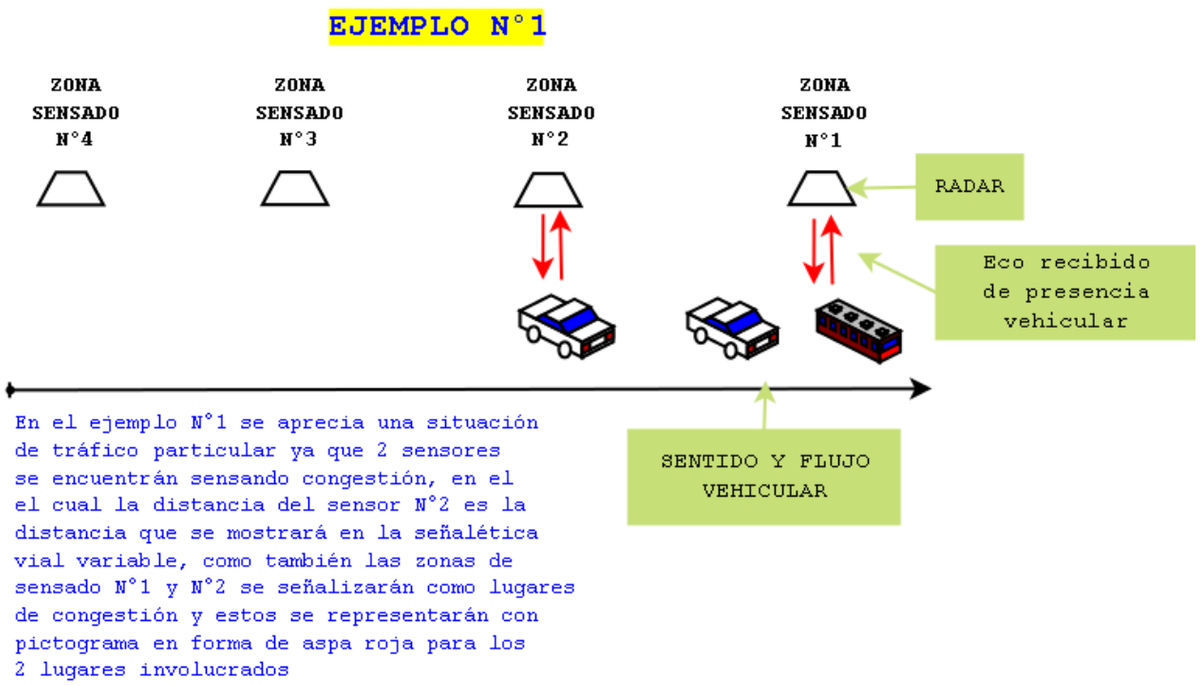
Tabla 2-17: Tabla de direcciones según zonas de sensado

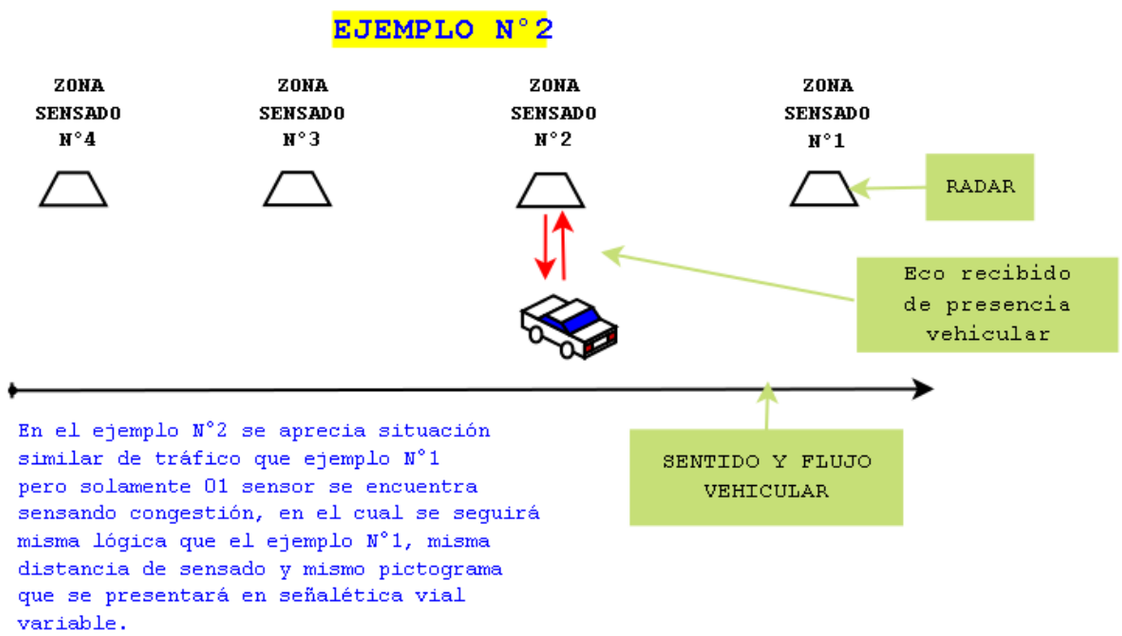
Zona sensado	Flujo vehicular saturado variable del tipo (int)	Flujo vehicular no saturado variable del tipo (int)
Zona 1	11	0
Zona 2	21	0
Zona 3	31	0
Zona 4	41	0

Fuente: Información recolectada por el autor

Mediante este tipo de direccionamiento el módulo detector de zonas de congestionamiento puede trabajar en los algoritmos, generar los discernimientos específicos de acuerdo a cada zona de sensado.

De la misma manera se parametriza distinta situaciones que pudieran ocurrir en las zonas de sensado, ejemplo figura 2-39.





Fuente: Información recolectada por el autor

Figura 2-39: Ejemplo de parametrizaciones con diferentes situaciones de tráfico vehicular

Se parametrizará con valores enteros las diferentes situaciones de tráfico que se presenta, como también las zonas de congestión, en el módulo detector de zonas de congestión vehicular.

Tabla 2-18: Identificación y clasificación de diferentes situaciones de transito que se pueden sensar

N° Patrones	Zonas con diferentes tipo de congestión vehicular				Parámetro que identifica diferentes situaciones de tráfico	Patrones con misma similitud de distancia
	Zona1	Zona2	Zona3	Zona4		
1	11	0	0	0	11	1
2	11	21	0	0	32	2
3	11	21	31	0	63	3
4	11	21	31	41	104	4
5	0	21	0	0	21	2
6	0	0	31	0	31	3
7	0	0	0	41	41	4
8	0	21	31	41	93	4
9	0	0	31	41	72	4
10	0	21	31	0	52	3
11	0	0	0	0	0	0

Casos de vehículos detenidos en zona de sensado N°1

Casos de vehículos detenidos en zona de sensado N°2

Casos de vehículos detenidos en zona de sensado N°3

Casos de vehículos detenidos en zona de sensado N°4

Sin detenciones vehicular en zonas de sensado

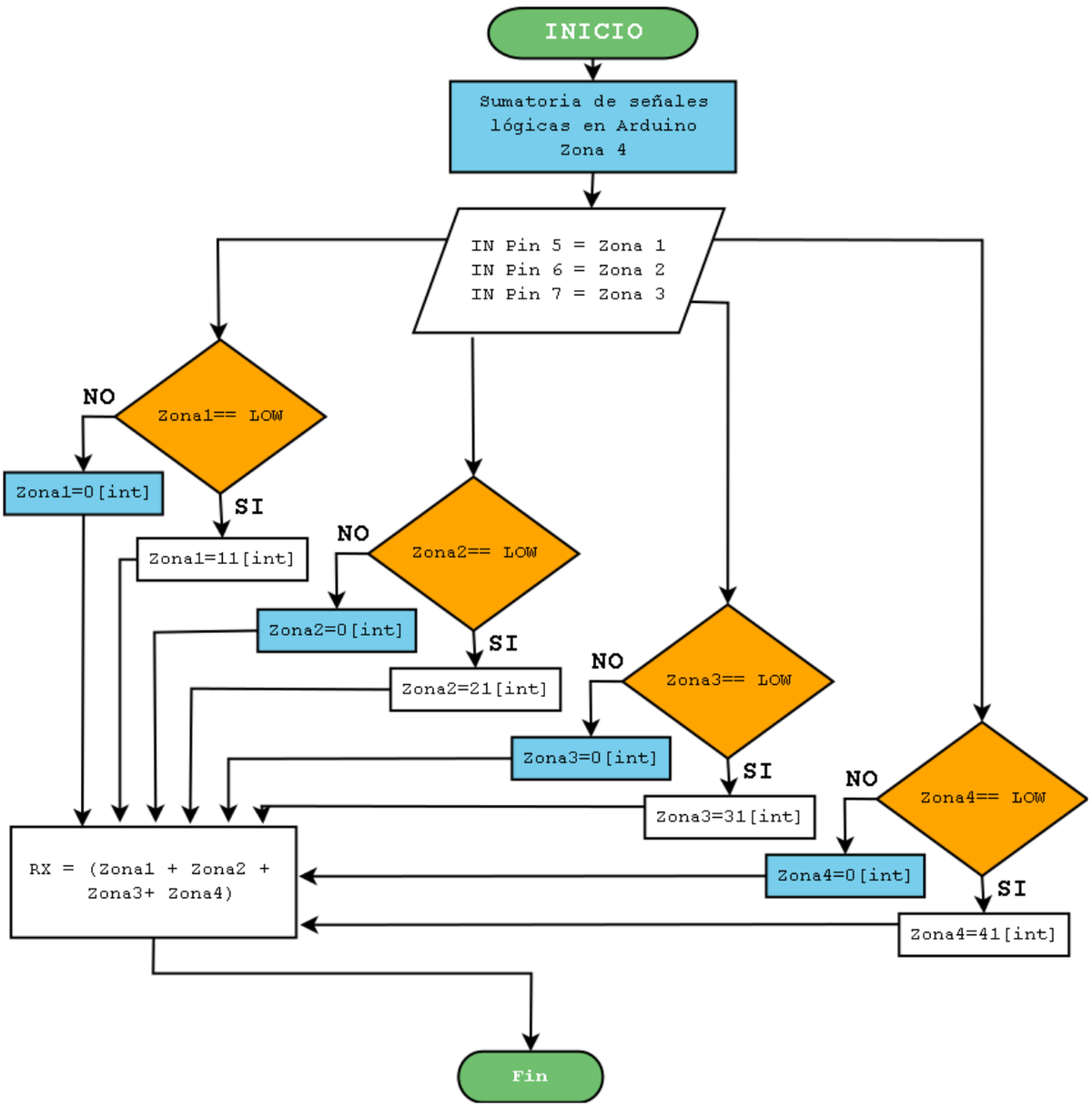
Fuente: Información recolectada por el autor

En la tabla 2-18 la columna "N° de patrones" describe las posibles situaciones de tránsito que se pueden presentar, ejemplo patrón N°7: Muestra que existe congestión en la zona de sensado N°4 para aquello, se pueden dar dos posibilidades válidas para que exista congestión solamente en dicha zona.

- Posibilidad N°1, existencia de vehículo detenido con falla mecánica;
- Posibilidad N°2, posibles choque en la zona de sensado;

El parámetro que identifica dicha situación es la suma de las demás zonas, en este caso como las demás zonas de sensado suman "0", el numero identificador de aquella situación es 41, también se agrupan los patrones de congestión vehicular en función de la misma distancia de sensado que presentan los caso con respecto a la distancia que se tiene con la señalética vial de mensaje variable. Esto quiere decir que, la señalética vial está arrojando en el ejemplo anterior que a 904 [m] existe congestión vehicular, esa misma distancia va marcar para los siguientes parámetros: 72, 93,104.

De esta forma se produce la clasificación de las diferentes situaciones de tráfico que se pueden presentar en el área de sensado.



Fuente: Información recolectada por el autor

Figura 2-40: Integración y clasificación de la variable de control de las cuatro zonas de sensado

De acuerdo con el diagrama de flujo figura 2-40 a cada zona se le asigna un valor entero y este se suma, dependiendo con el estado lógico que ingresa el resultado de la sumatoria es representada por la variable RX. Se cuentan con once casos posibles, estos se clasificarán según tabla 2-19.

Tabla 2-19: Clasificación de parámetros en función de las zonas de sensado

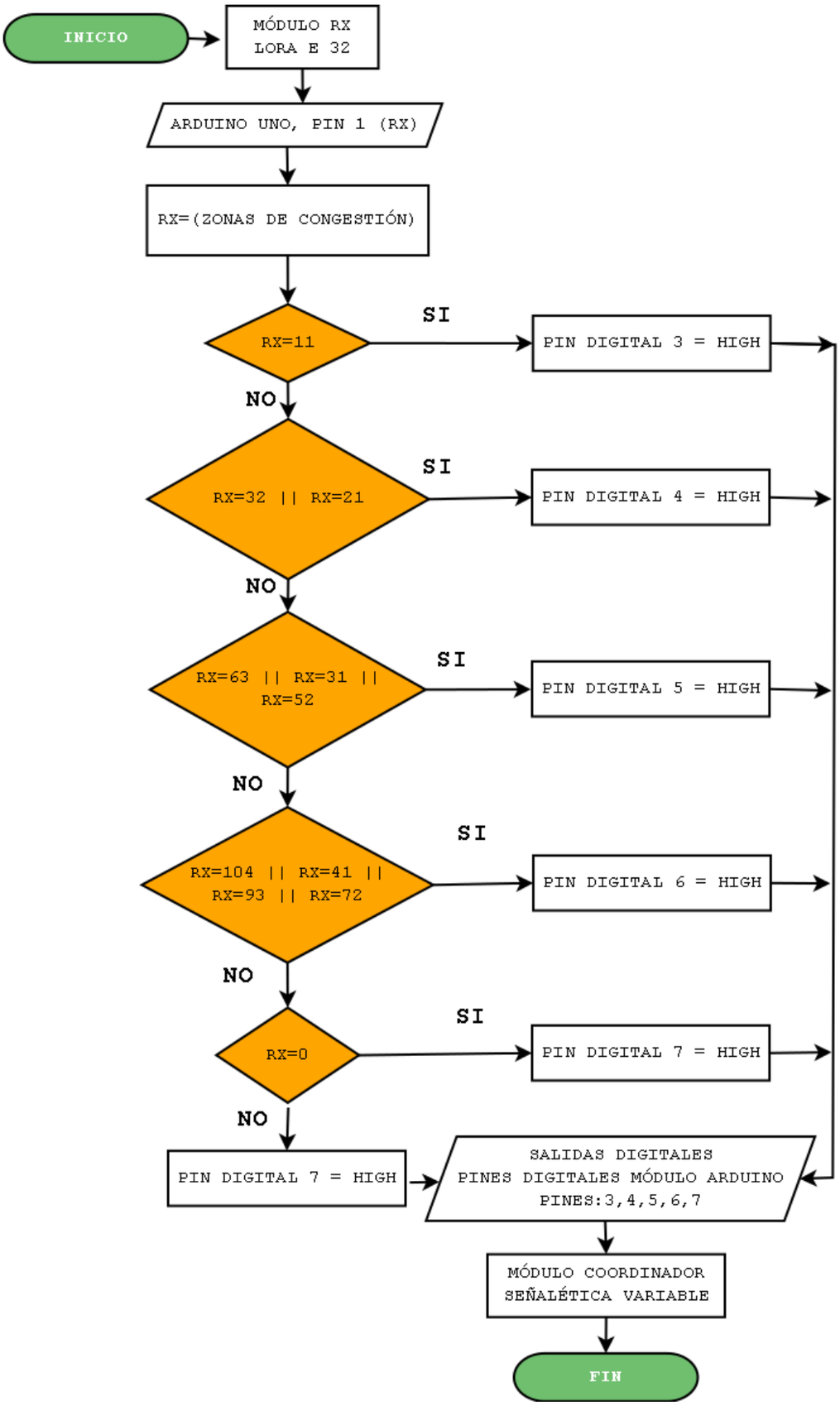
zonas	Grupos de parámetros con misma distancia de detención en las respectivas zonas
Zona N° 1	**11**
Zona N° 2	**21, 32,**
Zona N° 3	**31, 52, 63**
Zona N° 4	**41, 72, 93, 104**
Tráfico sin detenciones	**0**

Fuente: Información recolectada por el autor

2.6.1.4 Lógica de control módulo de discernimiento de zonas de congestión vehicular

La figura 2-41 representa el discernimiento de las zonas de sensado, de acuerdo a que valor tome la variable RX, esta variable se procesa de acuerdo a la siguiente lógica de control.

Se usa un bloque condicional “if” para condicionar la variable RX del tipo “int” que ingreso por el pin de RX del Arduino, se verifica si la condición es verdadera para los siguientes casos:



Fuente: Información recolectada por el autor

Figura 2-41: Clasificación y determinación de la zona de congestión

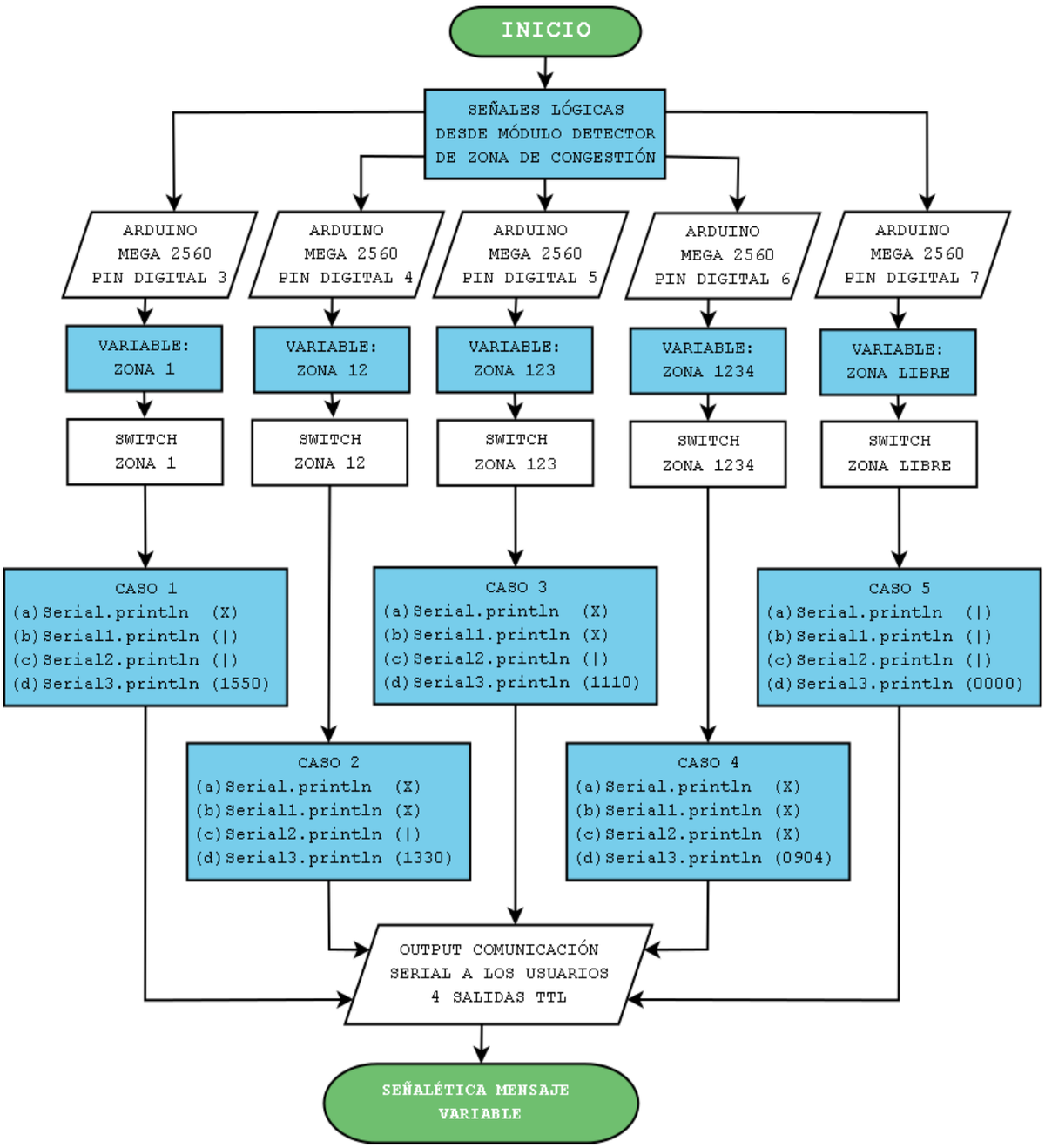
- RX=11. En caso de ingresar el número entero se tendrá una salida alta en el pin digital N° 3 del Arduino uno. Este tipo de entrada está indicando que se tiene congestión en la primera zona de sensado.
- RX=32 ó RX=21. En caso de ingresar cualquier número entero se tendrá una salida alta en el pin digital N° 4 del Arduino uno. Este tipo de entrada está indicando que se tiene congestión en la primera zona de sensado y la segunda zona de sensado.
- RX=63 ó RX=31 ó RX=52. En caso de ingresar cualquier número entero se tendrá una salida alta en el pin digital N° 5 del Arduino uno. Este tipo de entrada está indicando que se tiene congestión en la primera zona de sensado, segunda zona de sensado y la tercera zona de sensado.
- RX=104 ó RX=41 ó RX=93 ó RX=72. En caso de ingresar cualquier número entero se tendrá una salida alta en el pin digital N° 6 del Arduino uno. Este tipo de entrada está indicando que se tiene congestión en la primera zona de sensado, segunda zona de sensado, tercera zona de sensado y la cuarta zona de sensado.
- RX=0. En caso de ingresar el número 0 se tendrá una salida alta en el pin digital N° 7 del Arduino uno. Este tipo de entrada está indicando que no existe congestión vehicular en todas las zonas de sensado

En caso de que no se cumpla ninguna de las condiciones anteriores en el bloque “if”, se tendrá una salida alta en el ping N°7 del Arduino. Este tipo de entrada está indicando que no existe congestión vehicular en todas las zonas de sensado.

Todas las salidas son conducidas de forma alámbrica al Arduino mega 2560 que se encuentra en el módulo coordinador de señalética variable. La comunicación de estado de tráfico hacia al módulo es de forma serial con valores digitales.

2.6.1.5 Lógica de control módulo coordinador señalética variable

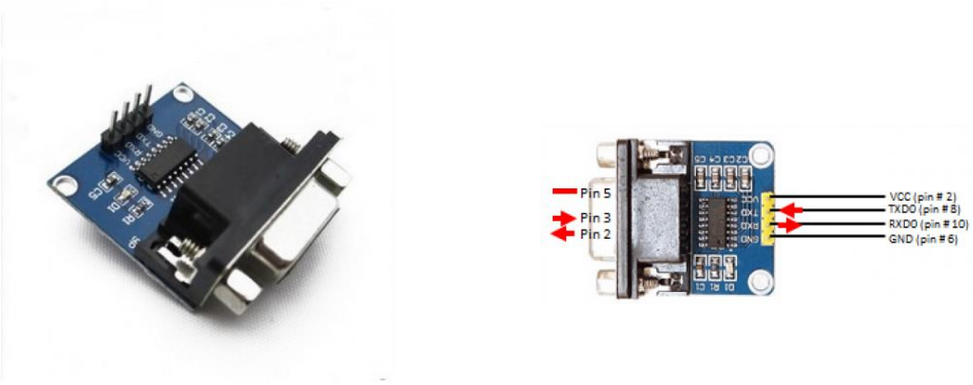
Una vez ingresado los estados lógicos al módulo control de display proveniente del módulo coordinador, se efectúa los siguientes algoritmos. Las señales analógicas provenientes del módulo detector de congestión vehicular ingresa a los diferentes bloques “switch” estos tienen las diferentes instrucciones para los usuarios finales dependiendo del estado lógico en que se encuentran. Figura 2-42.



Fuente: Información recolectada por el autor

Figura 2-42: Lógica de clasificación según estado de variable RX para ser proyectada en los diferentes módulos de SMV

La comunicación serial proveniente del módulo coordinador de señalética variable entregará datos seriales a 4 cuatro paneles, estos paneles se comunican por puerto RS-232 en el cual para que exista comunicación entre el panel variable y el módulo Arduino Mega 2560 se utilizará conversor de RS232 a TTL. La figura 2-43 representa conversor a utilizar.



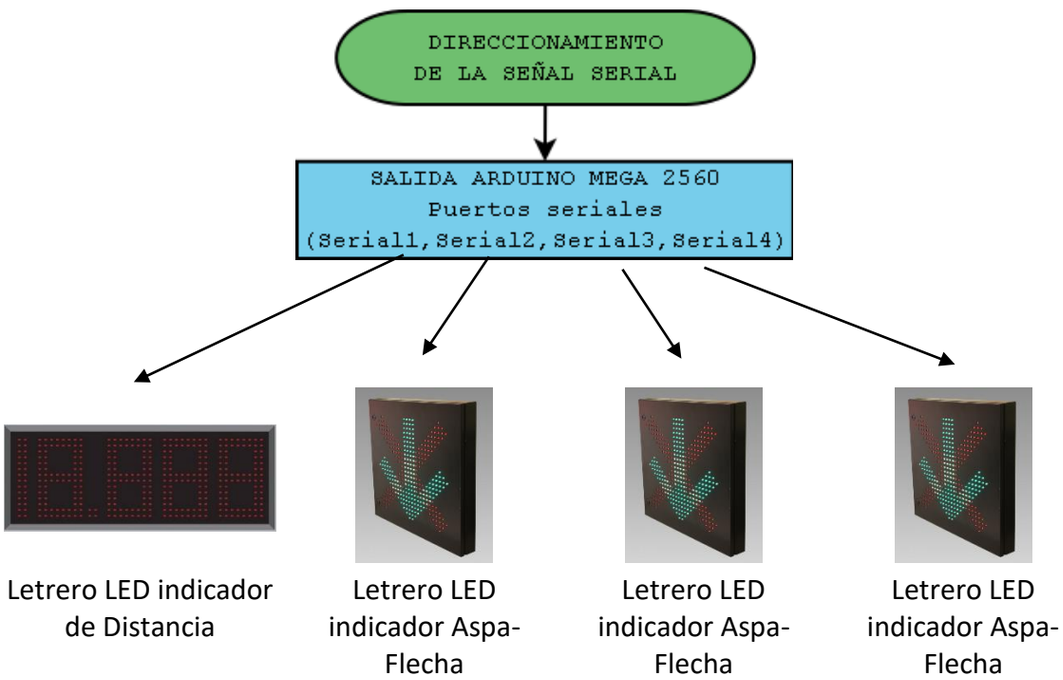
Conversor RS-232 **Distribución de Pines**

Fuente: https://altronics.cl/conv-rs232-ttl-female

Figura 2-43: Conversor RS-232 a TTL

Conversor de RS-232 a TTL con Conector DB9 Hembra, Voltaje de alimentación de 3,3 V a 5 V Salida TTL estándar.

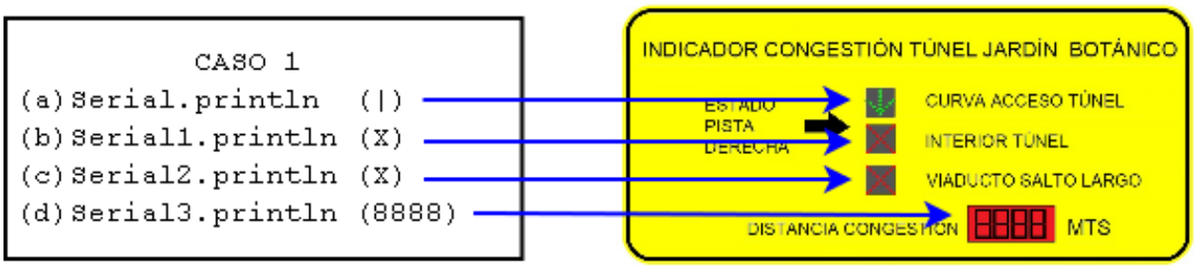
Posteriormente la comunicación se direcciona a los diferentes terminales de señalética tipo LED. Como se representa en la figura 2-44.



Fuente: Información recolectada por el autor

Figura 2-44: Direccionamiento de la variable de control a los usuarios finales

Las instrucciones por comunicación serial a los diferentes terminales estarán de la siguiente forma relacionada para los algoritmos de cada bloque switch case, como se representa en la figura 2-45.



Fuente: Información recolectada por el autor

Figura 2-45: Clasificación del envió de datos de los puertos seriales a los diferentes SMV.

En el caso de los criterios de distancia para ser presentada en pantalla LED de 4 dígitos, estas distancias son fijas y están de acuerdo a la distancia por la ruta 64 carril derecho sentido norte-sur desde las diferentes zonas de sensado hasta la señalética vial variable, como se muestra en la tabla 2-20.

Tabla 2-20: Distancias medidas desde las zonas de sensado hasta señalética vial variable.

Zonas	Distancia
Zona 1	1.550 m.
Zona 2	1.330 m.
Zona 3	1.110 m.
Zona 4	904 m.

Fuente: Información recolectada por el autor

Se cuenta con cuatro posibles casos de cambio de información en señalética vial variable:

- Caso 1: Se generará una alerta de condición de congestión vehicular en interfaz gráfica indicándose en el panel de mensaje variable LED del tipo ASPA-FLECHA un pictograma en forma de aspa de color roja y que cuenta con intermitencia, al lado derecho del panel LED se visualiza la siguiente leyenda “VIADUCTO SALTO LARGO” de igual manera se indica la distancia de congestionamiento en este caso corresponde 1.500 m.
  Para la leyenda “CURVA ACCESO TÚNEL” panel de mensajería variable indica un pictograma flecha de color verde esta indicación será fija.

Leyenda “INTERIOR TÚNEL panel de mensajería variable indica un pictograma flecha de color verde esta indicación es fija.

- Caso 2: Se genera una alerta de condición de congestión vehicular en interfaz gráfica indicándose en el panel de mensaje variable LED del tipo ASPA-FLECHA un pictograma en forma de aspa de color roja y que cuenta con intermitencia, al lado derecho del panel LED se visualiza la siguiente leyenda “INTERIOR TÚNEL” de igual manera se indica la distancia de congestionamiento en este caso corresponde 1.300 m.
  Para la leyenda “VIADUCTO SALTO LARGO” panel de mensajería variable indica un pictograma en forma de aspa de color roja y cuenta con intermitencia.
  Leyenda “CURVA ACCESO TÚNEL” panel de mensajería variable indica un pictograma flecha de color verde esta indicación es fija.

- Caso 3: Se genera una alerta de condición de congestión vehicular en interfaz gráfica indicándose en el panel de mensaje variable LED del tipo ASPA-FLECHA un pictograma en forma de aspa de color roja y que cuenta con intermitencia, al lado derecho del panel LED se visualizará la siguiente leyenda “INTERIOR TÚNEL” de igual manera se indica la distancia de congestionamiento en este caso corresponde 1.100 m. Para la leyenda “VIADUCTO SALTO LARGO” panel de mensajería variable indica un pictograma en forma de aspa de color roja y que cuenta con intermitencia. Leyenda “CURVA ACCESO TÚNEL” panel de mensajería variable indica un pictograma flecha de color verde esta indicación es fija.

- Caso 4: Se genera una alerta de condición de congestión vehicular en interfaz gráfica indicándose en el panel de mensaje variable LED del tipo ASPA-FLECHA un pictograma en forma de aspa de color roja y que cuenta con intermitencia, al lado derecho del panel LED se visualiza la siguiente leyenda “CURVA ACCESO TÚNEL” de igual manera se indica la distancia de congestionamiento en este caso corresponde 900 m. Para la leyenda “VIADUCTO SALTO LARGO” panel de mensajería variable indica un pictograma en forma de aspa de color roja y que cuenta con intermitencia. Leyenda “INTERIOR TÚNEL” panel de mensajería variable indica un pictograma en forma de aspa de color roja y que cuenta con intermitencia.

2.6.1.6 Lógica de transmisión de variable de control

Se detalla los diferentes medios de transmisión que utiliza la variable de control para ser visualizada por los usuarios.

- Transmisión inalámbrica

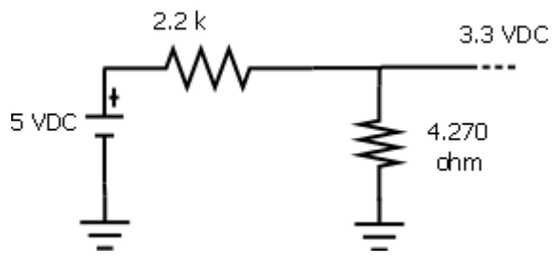
La transmisión inalámbrica se realiza por medio de la tarjeta desarrollo lora E 32-433T30 de 1 W de potencia. Conecta la zona de sensado N°4 con la estación coordinadora de datos, la distancia a línea vista es de 622,14 m, como se muestra en figura 2-46.

Fuente: Información recolectada por el autor

Figura 2-46: Distancia línea vista desde estación de sensado N°4 hasta señalética vial variable.

Funciones importante de operación, se alimenta con 3,3 a 5,2 Vdc se recomienda operar con la alimentación óptima de 5,0 Vdc.

El dispositivo opera con voltajes de comunicación TTL de 3,3 Vdc , en este caso se usa un divisor de tensión para cuando el Arduino le envié la Señal TTL al dispositivo LoRa E32 ,ya que, Arduino trabaja con márgenes de voltajes en sus salidas de TX y RX de 5 Vdc, como se muestra en figura 2-47.



Fuente: Información recolectada por el autor

Figura 2-47: Divisor de voltaje

Se usa resistencia de 2,2 kΩ y una resistencia de 4,270 kΩ. Para el ajuste de los parámetros del módulo transmisor LORA se utiliza un adaptador de USB a UART, ver figura 2-48.

Fuente: Página web https://es.aliexpress.com/

Figura 2-48: Conversor para módulo lora USB a UART

El conversor CP2102 facilita la comunicación entre una PC y un microcontrolador utilizando el protocolo USB. Es compatible con cualquier microcontrolador como Arduino, PIC, Atmel AVR, ESP8266, ESP32 y más. Funciona de forma similar a los conversores FTDI232 y PL2303HX, con la ventaja de tener un mejor precio y mayor soporte de drivers.

En el caso particular para el módulo loRa utiliza un jumper en donde se puede acceder a la configuración con mucho más rapidez sin necesitar una protoboard adicional para realizar la configuración.

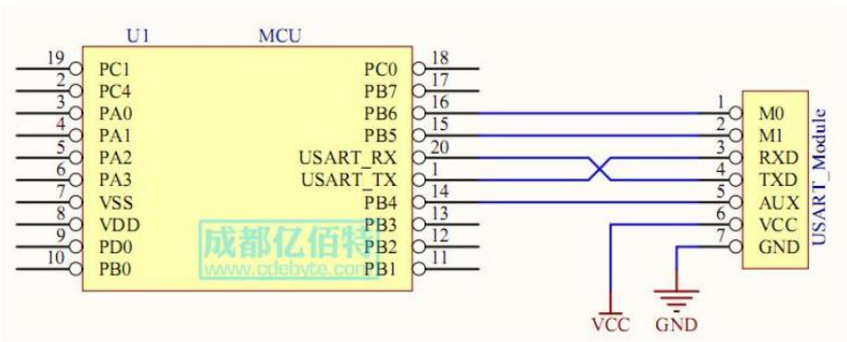
- Especificación USB 2.0 de velocidad completa de 12 Mbps
- Conector USB: USB tipo A
- Pines salida (TTL): +3,3V, RST, TXD, RXD, GND y + 5V
- Transceiver USB integrado, no requiere de resistencias externas
- Cristal oscilador integrado
- Regulador de voltaje de 3,3V interno
- Buffer de recepción de 576 Bytes
- Buffer de transmisión de 640 Bytes
- Temperatura de trabajo: -40° a 80°C
- Sistemas Operativos soportados: Windows 10, 8, Vista, 7, XP, 2000, 98SE y Linux 2.40(en adelante)
- Dimensiones: 21 mm x 16 mm

Para realizar la configuración del dispositivo E 32 LoRa tanto para el módulo transmisor como receptor, se comienza con instalar la aplicación de configurador que se encuentra en la página del fabricante www.cdebyte.com nombre de aplicación RF_Setting3.8.exe. La figura 2-49 representa el entorno de configuración.

Fuente: Manual de usuario E32_Usermanual_EN_v1.30.

Figura 2-49: Entorno de configuración para dispositivo LORA E 32

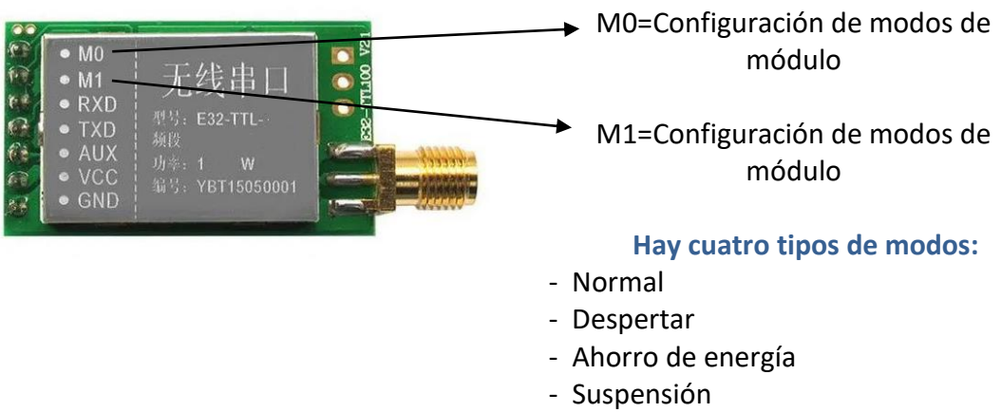
Posteriormente para configurar el módulo LORA E32 se tienen que realizar cambio de modo. Modo Sleep mode, es el modo para poder configurar los dispositivos y se logra tomando la salida y puenteándolas con un 1 lógico M1=01y M0=1. La figura 2-50 muestra la conexión de los pines del dispositivo LoRa con microcontrolador.



Fuente: Manual de usuario E32_Usermanual_EN_v1.30.

Figura 2-50: Conexión dispositivo LORA E 32, con microcontrolador.

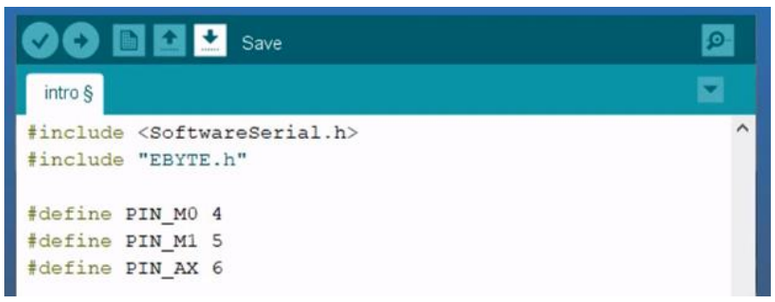
Se considera la siguiente configuración para los módulos, velocidad puerto serie (UartRate) es de 9600 bps, velocidad de trasmisión en el aire (AirRate) 2,4 kps, habilitar resistencia pull-up (IO Mode) si, potencia de salida (power) 30dBm, dirección (Address) 0, canal (channel) 23 para ambos dispositivos para que se puedan comunicar. Con esta configuración se obtiene el mayor alcance según el fabricante 8 km sin obstáculos. Una vez realizado la configuración con la aplicación se cambia el modo del transmisor en modo Normal cambiando los siguientes pines M1=0 y M0=0. Como se muestra la figura 2-51, en cambio el receptor se deja en modo (power-serving mode) modo a horro de energía.



Fuente: Manual de usuario E32_Usermanual_EN_v1.30.

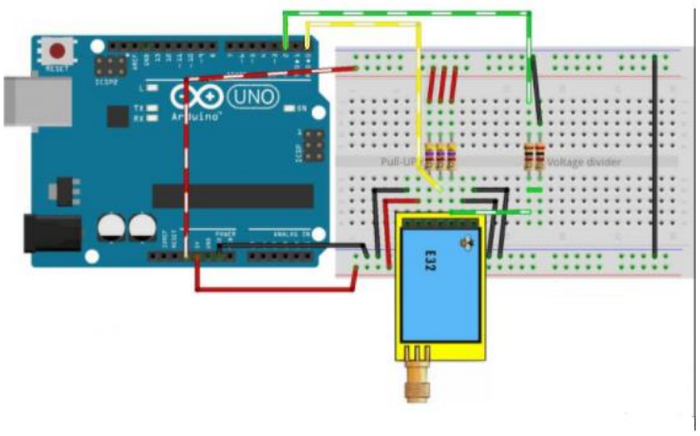
Figura 2-51: Conexión de salidas dispositivo LORA E 32

Luego se realiza el conexionado con el módulo Arduino, como se representa en la figura 2-53, para la trasmisión y recepción de módulo LORA E32 solo se baja la biblioteca (#includem"EBYTE.H") en el entorno de programación que cuenta Arduino "IDE Arduino ",representado en la figura 2-52.



Fuente: Información recolectada por el autor

Figura 2-52: Entorno IDE Arduino con biblioteca LoRa E32 cargada.



Fuente: Información recolectada por el autor

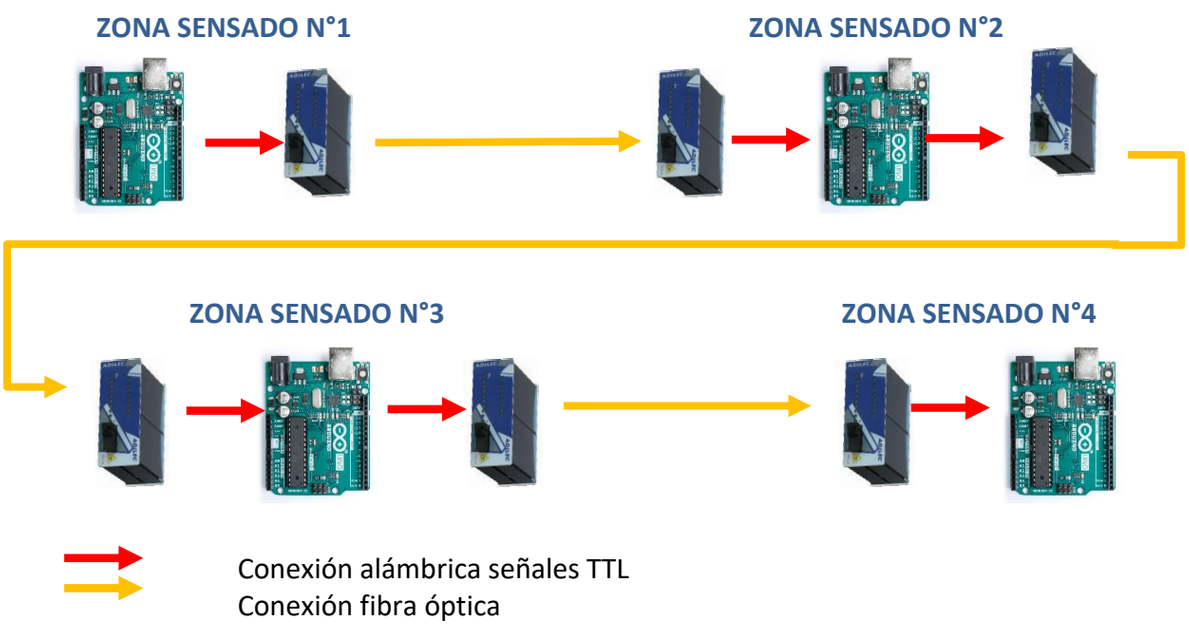
Figura 2-53: Conexión placa E32 LoRa con Arduino Uno.

Con estas parametrizaciones se logra una comunicación serial entre dos tarjeta de desarrollo LORA E 32, con un alcancé máximo de 8 km, de esa manera sobre dimensionando el alcance del dispositivo con respecto a la distancia real que se necesita transmitir que es de 622,14 m, se asegura un grado de certeza alto para la comunicación debido que la topografía del sector se encuentra con árboles y lomas acortando el alcance máximo efectivo con que cuenta el dispositivo.

❖ Transmisión vía óptica

Dada la topografía accidentada del lugar y la escasa posibilidad de realizar un enlace inalámbrico desde un extremo de la carretera e ingresar la señal por un túnel con curva y con tráfico vehicular constante, como lo es el enlace de la zona de sensado N°1 con la zona de sensado N°3 con dispositivo LORA E 32, se opta por un enlace de fibra óptica.

Se utiliza conversores ND08 descrito con anterioridad, en este caso se arregla la configuración de los conversores tanto en la entrada a una zona de sensado, como a la salida de la misma zona de sensado, ya que la fibra óptica una vez sesionada la reconexión de esta misma tiene que ser por medio de otro conversor. De esta forma se tendrá en la entrada de data hacia los Arduino de las zonas de sensado como en las salidas de los Arduinos de las zonas de sensado, tal situación se representan en la figura 2-54.

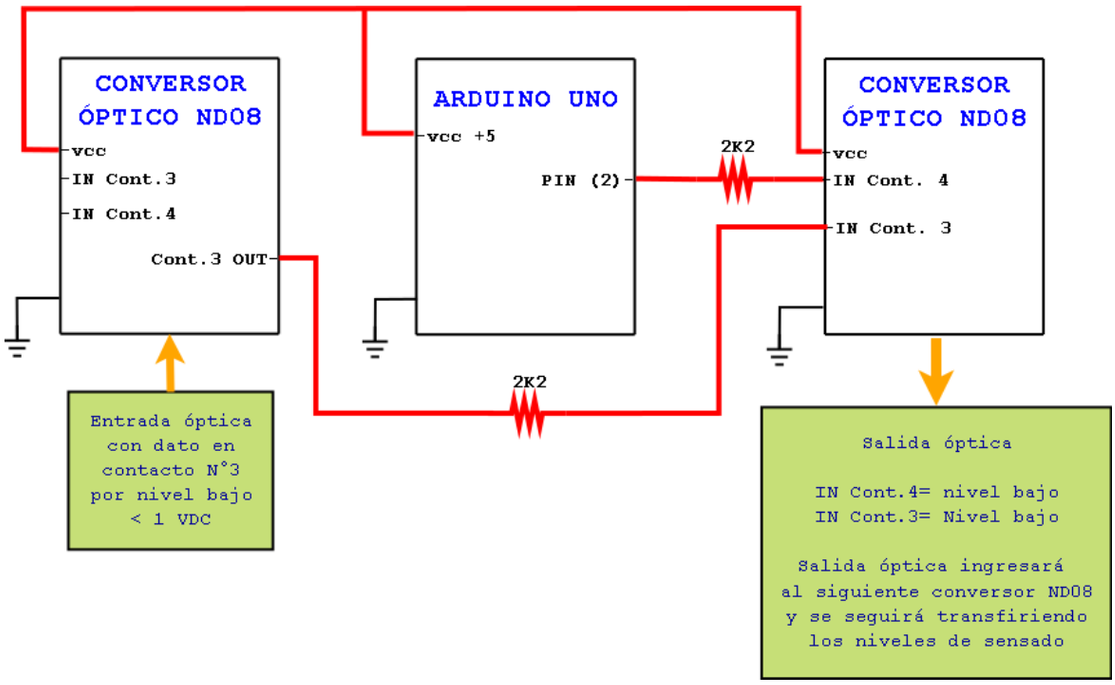


Fuente: Información recolectada por el autor

Figura 2-54: Transmisión de señal óptica por las diferentes zonas de sensado

La forma de transferir los datos desde los módulos Arduino, consiste en transferir un voltaje digital constantemente al módulo conversor óptico de tal manera que cuando exista un voltaje < = 1 Vdc este se active y comience a enviar datos por el contacto elegido con anterioridad, una vez activado uno de los contacto este se trasmite de forma óptica hasta llegar al conversor receptor presentando un contacto cerrado, este contacto se alimenta con la misma fuente de 5Vdc que se encuentra en el Arduino limitando la corriente de salida por medio de una resistencia de 2k2.

La figura 2-53 representa la transmisión de la variable de control por medio óptico a través de los conversores ND08.



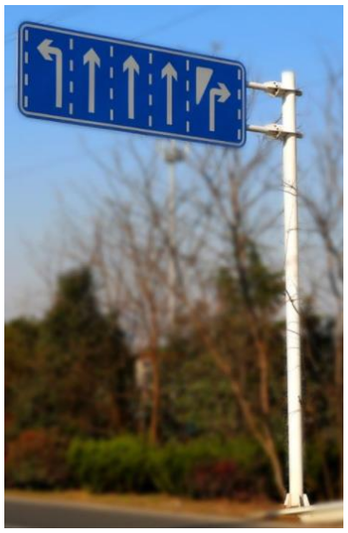
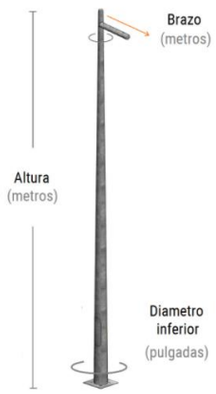
Fuente: Información recolectada por el autor

Figura 2-55: Transmisión de la variable de control por los diferentes terminales electrónicos

De esta forma se trasfiere la data de las cuatro estaciones de sensado por nivel de voltaje bajo >= 1 Vdc. En caso que no se registre sensado en alguna estación de monitoreo, la salida del conversor ND08 continuara con nivel de voltaje alto +Vcc y el conversor ND08 y en efecto el conversor presentará +Vcc en su respectiva salida, como se muestra en la figura 2-55.

2.6.2 Hardware (estructuración)

Se utiliza los siguientes elementos para canalizar las señales, fijar los respectivos módulos y señalética vial. La figura 2-56 muestras los principales elementos de uso del proyecto.

Nombre Genérico	Características	Imagen	Referencia
Caja estanca	Caja estanca acero inoxidable 300x400x120mm		https://rhona.cl/
Poste para letrero vial	1.Tubo de acero Q235 2.Salto caliente galvanizado 3.polvo de plástico pintado 3. poste de luz exterior de hierro fundido 4.fuerte resistente al viento 5. Material Generalmente Q345B / A572, límite elástico mínimo> = 345n / mm2, Q235 / A36, límite elástico mínimo> = 235n / mm2 6. Altura 6 m 7. brazo 3 m		http://www.my-steelpole.com/
Poste para fijación sensor	Poste cónico galvanizado con brazo 1. Altura 7 m. 2. Diámetro inferior 180” 3. Brazo 2 m		https://postemetal.cl/
Sistema de canalización	1. Conduit uso exterior 2. Ambos extremos roscados con hilo np 3. Galvanizado 4. ¾ x 3 m		https://rhona.cl/

Fuente: Información recolectada por el autor

Figura 2-56: Principales elementos que intervienen en el proyecto

2.6.2.1 Construcción general esquemática del proyecto

La figura 2-57 representa los principales elementos que requiere el sistema para alojar los dispositivos electrónicos, tanto en sus cajas estanca como en los postes.

Fuente: Información recolectada por el autor

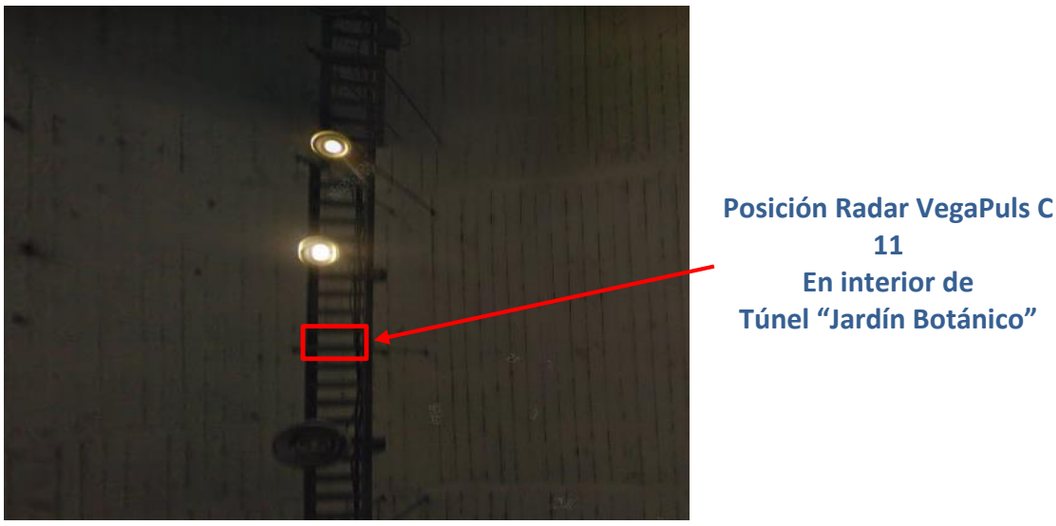
Figura 2-57: Diagrama Pictográfico de la configuración de los principales elementos que intervienen en el proyecto

Las cajas estancas se encuentran adosadas en los postes a una altura de 2,5 m para evitar vandalismo, el cable de transmisión de datos para trasmitir la señal normalizada de 4…20mA del radar VEGA PULS C 11, es de 15 m solo se utilizará las ¾ partes del largo total de cable.

Zona de sensado N° 1: Sensor Radar Vegapuls C 11 se encuentra en el brazo del poste a 2 m desde la base del poste y a una altura de 6 m, mientras tanto caja estanca de acceso de circuitería y tarjeta de control se encuentra a 2,5 m. de altura medida desde la base del poste, la altura de la caja es para evitar posible vandalismo

Zona de sensado N° 2: Sensor Radar Vegapuls C 11 se encuentra en el brazo del poste a 2 m desde la base del poste y a una altura de 6 m, mientras tanto caja estanca de acceso de circuitería y tarjeta de control se encuentra a 2,5 m de altura medida desde la base del poste, la altura de la caja es para evitar posible vandalismo

Zona de sensado N° 3: esta zona de sensado se encuentra en el interior de túnel “Jardín Botánico” el radar se adosará a las canaletas existentes en el interior del túnel, como se muestra en la figura 2-58.



Fuente: Información recolectada por el autor

Figura 2-58: Disposición radar Vegapuls c 11 en la zona de sensado N°3

En tanto la caja de acceso de circuitería y tarjeta de control de la zona de sensado N°3, se encuentra adosada en el acceso norte túnel “Jardín Botánico”. A una altura de 3 [m] desde la calzada, la altura de la caja es para evitar posible vandalismo, como se muestra en la figura 2-59.

Fuente: Información recolectada por el autor

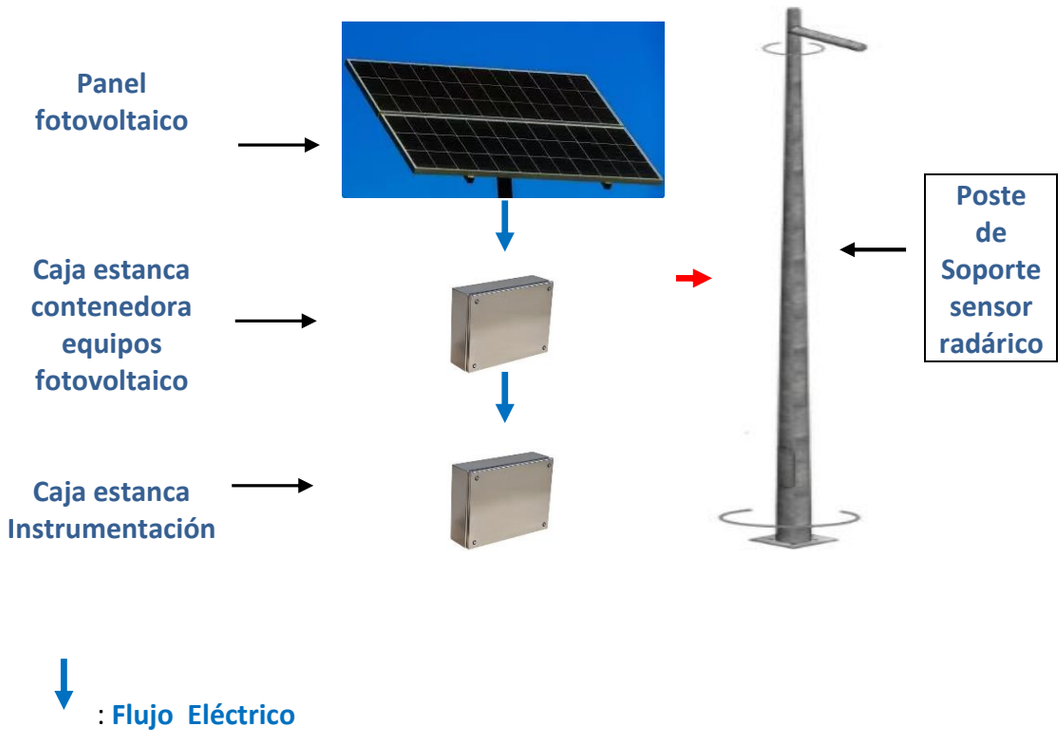
Figura 2-59: Disposición caja de instrumentación en la zona de sensado N°3

- Zona de sensado N° 4: Sensor Radar Vegapuls C 11 se encuentra en el brazo del poste a 2 m desde la base del poste y a una altura de 6m, mientras tanto caja estanca de acceso de circuitería y tarjeta de control se encuentra a 2,5 m de altura medida desde la base del poste, la altura de la caja es para evitar posible vandalismo

Las altura de las cajas se encuentran a una altura de acceso adecuada para la mantención de cualquier circuito de control, en caso que hubiera que recambiar algún componente como lo son las tarjetas de desarrollo Arduino, no se tendría la necesidad de cortar el tráfico en uno de los carriles, en cambio si hubiera que reemplazar el sensor del tipo radárico, posiblemente se tendría que cerrar un carril de la ruta- 64 momentáneamente.

2.6.2.2. Suministro eléctrico a los diferentes usuarios

Zona de sensado N°1:
Potencia eléctrica de consumo no supera los 10 [W] de potencia, por lo cual se alimenta a través de panel fotovoltaico de 500 [W peak] el panel ira montado sobre el poste con su respectiva caja estanca en donde contendrá la circuitería propia del panel, para posteriormente las señales de trabajo ingresarlas a la caja estanca de instrumentación.
Zona de sensado N°2:
Potencia eléctrica de consumo no supera los 10 [W] de potencia, por lo cual se alimenta a través de panel fotovoltaico de 500 [W peak] el panel ira montado sobre el poste y con su respectiva caja estanca en donde contiene la circuitería propia del panel, para posteriormente las señales de trabajo ingresarlas a la caja estanca de instrumentación. La figura 2-60 representa la distribución general de los elementos.



Fuente: Información recolectada por el autor

Figura 2-60: Disposición de panel fotovoltaico más panel de instrumentación en poste

Zona de sensado N°3:

Suministro eléctrico es extraído directamente de caja derivación de las bandeja de iluminación en el interior del túnel jardín botánico.

Zona de sensado N°4:

Suministro eléctrico es canalizado por medio de postes que se encuentran a orilla de la ruta 6 4, acceso norte “Túnel jardín botánico”. Figura 2-61 representa la canalización por medio de postes hasta estación N° 4 de sensado.

Fuente: Información recolectada por el autor

Figura 2-61: Postes en acceso norte túnel jardín botánico sentido norte-sur

Por medio de cable conductor de 14 AWG con portante para ser instalado en postes, dichos postes tienen una separación máxima de 45 [m], y se traslada 220 [Vac] con un consumo máximo de 14 [W].

Cálculo realizado para poder concluir diámetro de cable a utilizar.

$$\text{Sección}[mm^2] = \frac{2 * longitud * potencia\ activa}{56 * Caída\ tensión * 220}$$

Longitud: Largo máximo de la línea multiplicado por 2, ya que se considera como 01 línea monofásica para considerar trayecto de ida y vuelta.

Potencia Activa: Potencia activa que lleva la línea en [W].

[1/56]: Conductividad del cobre

Caída tensión: Es la tensión máxima que puede caer sobre la línea. Se define como porcentaje de la tensión nominal que utilices. Las Normas fijan esta cifra en forma porcentual se suele establecerse en un 3%. Luego si el voltaje es monofásico en 220 [Vac], la caída es = 0,03 X 220 = 6,6 [Vac]

Por lo tanto:

$$\text{Sección}[mm^2] = \frac{2 * 102[m] * 14[W]}{56 * 6{,}6[Vac] * 220[Vac]}$$

La sección transversal es de 0,035 [mm2], en efecto un cable de 22 AWG bastaría.

De igual manera por los mismos postes se canalizará la fibra óptica para poder transportar las variables medidas de las estaciones de sensado N°1. N°2, N°3.

Estación de señalética vial variable:
Suministro eléctrico es canalizado por medio de postes que se encuentran a orilla de la ruta 6 4, acceso norte túnel “Jardín Botánico”, como se muestra en la figura 2-62.

Fuente: Información recolectada por el autor

Figura 2-62: Distancia de poste de alumbrado público con poste de señalética vial variable del proyecto

Distancia medida del poste con líneas trifásicas al poste de señalética vial variable es de 19 [m], se alimenta directamente de poste, debido que el lugar no reúne los requisitos para poder implementar alimentación por medio de celda fotovoltaicas. Hasta el mediodía presenta luz directa el lugar y posteriormente presenta sombra debido a que la cara poniente de la ruta se encuentra con cerros y árboles.

CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN ECONÓMICA

3.1 EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO

La evaluación económica del proyecto se ejecutará en el marco de los costos y beneficio que adquiere la propuesta de señalética inteligente en el área de estudio "Túnel Jardín Botánico" de Viña del Mar, está evaluación económica está orientada para satisfacer la necesidad social que adquiere esta propuesta, en cuanto a los costos que tiene que desembolsar tanto el estado como sus involucrados ya que en el lugar registra una gran concentración de accidentes.
La evaluación de los costos de inversión está abocada para alguna administración pública del estado como también para privados. Los estudios se realizan en función de los costos económicos que conlleva cada siniestro de tránsito en Chile. Y los beneficios de realizar la propuesta tanto para usuarios de la ruta, como para el estado.

Para los cálculos se considera los siguientes indicadores económicos: UF en costo CLP $ 29.112,48, dólar en CLP $ 731,00 valores tomados 27 de enero 2021.

3.2 COSTOS ECONÓMICOS DE LOS SINIESTROS VIALES EN CHILE

Según la Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito CONASET, en estudio reciente se indica que el costo económico de los siniestros de tránsito en el informe de la OMS estima que para la mayoría de los gobiernos es de aproximadamente un 3% del PIB y podría llegar a un 5% en países de ingresos bajos, OMS 2018.
La OMS clasifica a Chile como país de "ingresos altos" (≥ US$12.745 per cápita. Chile PIB per cápita 2018=USD$15.935).
El 3% del PIB 2018 equivale a US$8.412 millones de dólares.

Los costos por accidentes de tránsito son valorados en base de tres componentes.
Costos directos:

- Daño a la propiedad privada y pública
- Costos médicos
- Costos administrativos: juzgados, policías y compañías de seguros

Costos indirectos:

- Costos por pérdida de productividad asociada a las víctimas: valor de bienes y servicios que habrían sido producidos de no suceder el accidente

Costo humano o valor intrínseco del riesgo:

- Valoriza conceptos tales como: Pérdida de calidad de vida, el dolor, la pena de familiares y amigos de las víctimas, perdida intrínseca del goce de la vida.

En la evaluación económica se centrara en la relación de costos sociales en función a lesionados en el marcos de los costos directos, los costos directos e indirectos mencionados, se cuantifican en base a estudios y análisis de "Metodología simplificada de estimación de beneficios sociales por disminución de accidentes en proyectos de vialidad interurbanas" emitido por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile.

3.2.1 Costo social total asociado a lesionados

Estos costos involucrados corresponden a la atención y tratamiento de las personas lesionadas en un accidente, fueron desagregados entres principales costos: costos de tratamiento; costos de rehabilitación y costos por pérdida de productividad.

En relación a los costos de tratamiento de lesionados, éstos son clasificados según la gravedad de sus lesiones de acuerdo con la categorización del Instituto Médico Legal, en:

• Leve;

• Menos Grave;

• Grave;

• Fatal;

Cada lesionado que ingresa en un centro hospitalario es catalogado por el médico legal en alguna de estas categorías. En el caso de una lesión fatal, ésta se considera el fallecimiento del lesionado hasta 24 horas después de ocurrido el accidente. Es decir, accidentados que fallecen a causa de sus lesiones en un plazo mayor al indicado, quedan clasificados en la base de datos como lesionados graves.

En base a métodos de estimación se establece precios unitarios a los diferentes niveles de gravedad. Para la estimación se toman los costos de atención urgencia, en este caso para cada nivel de gravedad de lesiones se determina la cantidad de prestaciones que recibe el paciente en urgencia, como también los costos de hospitalización, costos de rehabilitación y por ultimo costos por pérdida de productividad que corresponde a la pérdida social asociada a la ausencia laboral de los lesionados. Tabla 3-1 muestra los costos asociados a nivel de gravedad de las lesiones producto de los accidente de tránsito en Chile.

Estas estimaciones están basada en el Estudio: Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas. CIMA Ingeniería EIRL. Sept. 2007 y SIEC 2 de Carabineros. Actualizado y corregido por MIDEPLAN SECTRA 2011.

Tabla 3-1: Costos sociales asociados al nivel de gravedad en [UF]

Nivel de Gravedad	Tratamiento Lesionados	Gastos Administrativos	Capital Humano	Total
Leve	3,91	23,95	-	27,86
Menos Grave	11,36	24,99	-	36,34
Grave	84,99	48,53	-	133,52
Fatal	15,82	86,52	3.360,34	3.462,69

Fuente: Costo Social de los Siniestros de Tránsito en Chile 2018, Observatorio de datos Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito 2019.

3.2.2 Costos sociales totales de los siniestros de tránsito

Según costo social de los siniestros de tránsito en Chile 2018, del observatorio de datos Comisión Nacional de seguridad de Tránsito se cuantificaron los siguientes costos por accidentes de tránsito, según tabla 3-2.

Tabla 3-2: Costos sociales totales de los siniestros de tránsito ocurridos año 2018

Costo Social Total	[UF]	% del Costo	% PIB
Daños a vehículo	19.966.974,46	14%	0,30%
Asociados a lesionados	124.751.929,00	86%	1,86%
Total	144.718.903,46		
% PIB	2,09%		

Fuente: Costo Social de los Siniestros de Tránsito en Chile 2018, Observatorio de datos Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito 2019.

En la tabla 3-2 se presentan los costos sociales totales de los siniestros de tránsito producidos en el año 2018. Según este estudio en el año 2018 en Chile se generan 89.311 accidentes, de estos fallecen 1.507 personas, por lo que mueren 4 a 5 personas en la vía pública diariamente. Si se consideran los lesionados productos de los accidentes de tránsito a diarios que suceden en Chile esta cifra se eleva 158 personas por día.

Como se puede constatar los costos sociales por accidentes de tránsito cuesta un 2,09% del producto interno bruto (PIB).

Para efectos de estudio se trabaja solo con costos por lesiones que tiene una ponderación de un 86% sobre los costos medio sociales por daños a vehículos, se recopila antecedentes desde el año 2016 hasta el año 2020, en donde hubo existencia de accidentes en túnel "Jardín Botánico". La recolección de datos se efectúa por buscador "Google", para luego promediar los accidentes de tránsito por año, de esa manera estimar los costos anuales por accidente de tránsito que se incurren.

3.3 ACCIDENTES ANUALES EN RUTA 64 TÚNEL "JARDÍN BOTÁNICO"

La recolección de datos se efectuó en buscador "Google", las palabras utilizadas para lograr ubicar sucesos vinculantes años anteriores fueron: "Accidente de tránsito túnel jardín botánico 2016 (posteriormente se reemplaza el año por: 2017, 2018, 2019,2020)" y: "Accidente de tránsito túnel los gemelos 2016 (posteriormente se reemplaza el año por: 2017, 2018, 2019,2020)". La tabla 3-3 presenta la cantidad de accidentes anuales por nivel de lesionado.

Tabla 3-3: Recolección de accidentes en túnel Jardín botánico segregados por nivel de gravedad

	Tipo de lesionado			
Año	Leve	Menos Grave	Grave	Fatal
2016	3	7	2	8
2017	17	9	1	1
2018	1	1	1	0
2019	1	3	1	0
2020	9	4	1	0
Promedio	6,2	4,8	1,2	4,5

Fuente: Información recolectada por el autor

3.3.1 Cuantificación de costos en función de accidentes anuales que suceden en túnel jardín botánico

Se cuantifican los números de accidentes vehiculares por los costos sociales asociados a lesionados en UF, y los costos de administración según tabla 3-1.

Tabla 3.4: Cuantificación de costos en función al número de accidente por la ponderación de lesiones y trámites administrativos asociados.

		Tipo de lesionado			
		Leve	Menos grave	Grave	Fatal
Promedio de accidentes anuales desde 2016 hasta 2020.		6,2	4,8	1,2	4,5
Costos Asociados a Tratamiento de lesionado [UF].	Leve	3,91			
	Menos grave		11,36		
	Grave			84,99	
	Fatal				15,82
Costos Asociados a trámites administrativos de los lesionado [UF].	Leve	23,95			
	Menos grave		24,99		
	Grave			48,53	
	Fatal				86,52
Total en UF		172,73	174,48	160,22	460,53
Costo total en CPL [UF:29.112,48]		$5.028.515	$5.079.545	$4.664.401	$ 13.407.170

Fuente: Información recolectada por el autor

Según tabla 3-4, al sumar los costos totales se tiene un monto de $28.179.631, estos equivalen a los costos anuales que se gastan las identidades públicas por los siniestros de tránsito. Por lo tanto, obtenido los datos se calcula los costos totales de inversión, de la propuesta de señalética inteligente para regularización de tráfico vehicular en túnel jardín botánico.

3.4 COSTOS DE INVERSIÓN

Los costos de inversión corresponden aquellos costos que se incurre en la adquisición de los activos necesarios para poner el proyecto en funcionamiento, se desglosará en: Costo de adquisición de materiales y equipos, costo de mano de obra, costos de diseño y costos de imprevistos.

3.4.1 Costos de adquisición de materiales y equipos

Se efectúan cotizaciones con la finalidad de realizar un presupuesto asequible, cuidando la relación calidad-precio, de esa forma lograr desarrollar el proyecto de acuerdo a las necesidades que este presenta, como también cuantificar costos. La mayoría de las cotizaciones se efectuaron en el mercado nacional debido a los diferentes insumos y tecnologías que se requieren para el diseño del proyecto no obstantes algunos equipos electrónicos son cotizados en el extranjero, en efecto al costo neto se ha cuantificado al valor CIP.

La tabla 3-5 presenta las cotizaciones efectuadas para los diversos elementos del proyecto.

Tabla 3-5: Presupuesto para adquisición de elementos para el desarrollo del proyecto.

Elemento	unidad	Cantidad	Características	Precio Unitario	Total
Radar VEGAPULS C 11	U	4	Radar medidor de distancia. Rango máximo 8m, Banda W	$ 618.205	$ 2.472.820
Arduino uno	U	5	Placa desarrollo Arduino uno, AT Mega328	$ 6.765	$ 33.825
Arduino Mega 2560	U	1	Placa desarrollo arduino Mega 2560, AT Mega328, 54 pines digitales, 4 UARTs (Puertos seriales)	$10.490	$ 10.490
Conversor óptico a TTL,ND08	U	06	Conversor TTL/óptico, Bidireccional 8 canales.	$ 63.376	$ 380.256
Fibra óptica multimodo	m	670	Fibra óptica multimodo exterior con portante 1x 1,5 mm; 50-125, 4 fibras.	$534	$ 357.780
Transmisor Módulo LORA E32-868T30S	U	2	Módulo TX RX RF LoRa E32-433T30D 433MHz, 1W, 8000 m.	$ 14.990	$ 29.980
Conversor USB CP2102	U	1	Conversor USB para comunicación desde micro controlador a PC	$ 6.570	$ 6.570
Conversor corriente a voltaje	U	04	Conversor de 4… 20 ma a 0 – 5 Vdc	$ 3.600	$ 14.400
Resistencia 2,2 k Ohm	U	10	Resistencia MEtalfilm ¼ 1%	$ 180	$ 1.800
Cable 24 AWG	m	10	Cable de 24 AWG, 0.5mm, 300 V Max	$ 375	$ 3.750
Riel Din	m	2	Reil Din 7,5X35 mm X 2 mt.	$ 18.857	$ 37.714
Conector SC	U	01	Kit de 10 Conectores para fibra óptica multimodo, Modelo SC, 50/125	$ 7.864	$ 7.864
Señalética Vial	U	03	Panel mensaje variable LED Aspa-flecha	$ 126.000	$ 378.000

Tabla 3-5: Continuación					
Letrero LED	U	01	Panel Digital LED, 4 Segmentos de números.	$ 71.500	$ 71.500
Letrero vial	U	U	Confección de letrero vial	$ 280.000	$ 280.000
Caja Estanca de instrumentación	U	07	Caja acero inoxidable. 300x400x120 mm	$157.924	$ 1.105.468
Caja de conexiones	U	09	Caja derivación estanca 100x65x65	$ 1.626	$14.624
Poste soporte de señalética vial variable	U	01	Tubo de acero galvanizado de 4 m de brazo y 6 m de gálibo.	$2.192.552	$2.192.552
Poste soporte de censor rádarico	U	03	Tubo de acero galvanizado de 6 m. de altura y 2 m de brazo	$ 214.000	$ 640.000
Conduit Rigido	U	47	Conduit Rigido Galvanizado: Perfil redondo ¾” x 1mm de espesor de 6 m de largo	$ 4.490	$ 211.030
Kit panel fotovoltaico	U	02	Kit fotovoltaico de 500 [Wh], Bateria ciclo profundo de 100 [W/12V]	$263.670	$ 527.340
Fuente de poder	U	05	DR-15-12 Convertidor AC/DC 12V a 5W	$6.462	$ 32.310
Fuente de poder	U	02	DR-15-5 Convertidor AC/DC 5V a 12W	$6.462	$ 12.924
Fuente de poder	U	04	DR-120-24 Convertidor AC/DC 24V a 120W	$16.349	$ 65.396
Cable de poder	U	01	Rollo cable para acometida 2x22 AWG C/Portante, 250[m]	$ 53.753	$ 53.753
			Subtotal		**$ 8.514.635**
			Iva		**$ 1.617.781**
			Total		**$ 10.132.416**
			Total [UF]		**348,04**

Fuente: Información recolectada por el autor

Se tienen los costos de materiales para la implementación del diseño a estos se le deben agregar al listado de inversión: costos de mantención, costos mano de obra.

3.4.2 Costos de mano de obra

Se debe considerar los costos de mano de obra para la inversión inicial del sistema de señalética vial variable.

Observaciones objetivas:

- De la instalación de postes, se asume que la instalación de los postes se tiene que considerar 01 grúa, como también considerar 01 camión alza hombre.
- De la instalación de instrumentación y cableado, considerar nuevamente arrendar camión alza hombre para instalar la instrumentación del sistema y cableado, considerando también realizar tendido de cables por postes.
- De la puesta en marcha, se considera personal para ajuste del instrumental instalado y la realización de pruebas necesarias para que el sistema quede operando según estudio del proyecto.

Por lo tanto se segregan los costos por: Contrato de obra implementación y costos por faena de postación. La tabla 3.6 presenta los costos por faena de postación tanto de maquinaria, como mano de obra.

Tabla 3-6: Costos por faena de postación.

Unidad	Mano obra/maquinaria	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Total
Hora	Camión alza hombre	Camión con plataforma articulada	**4**	**$23.000**	**$ 92.000**
Hora	Camión Pluma	Camión pluma 6 toneladas, capacidad de Grúa: 6 [ton] al costado, extensión de 12 [m]	**8**	**$25.000**	**$200.000**
Hora	Maestro 1 era	Maestro montador de estructuras metálicas.	**32**	**$20.000**	**$ 640.000**
Hora	Ayudante	Ayudante montador de estructuras metálicas.	**32**	**$18.000**	**$ 576.000**
			Subtotal sin IVA		**$ 1.216.000**
			Subtotal + IVA		**$ 347.480**
			Total		**$ 1.563.480**
			Total [UF]		**53,70**

Fuente: Información recolectada por el autor

Instalación de instrumental y cableado:

En la mano de obra se necesita 02 técnico electrónico, 01 técnico electricista y 01 ingeniero electrónico para poder realizar la instalación del equipamiento electrónico y cableado de señales, se considera utilizar 01 camión con alza hombre.

Los contratos por mano de obra duran 02 meses, camioneta alza hombre se arrendara por 07 días de corrido desde el comienzo de la instalación de la instrumentación y cableado. La tabla 3-7 refleja los costos por mano de obra en función del tiempo de duración de faena.

Tabla 3-7: Costos por mano de obra.

Unidad	Mano obra/maquinaria	Descripción	cantidad	Precio unitario	Total
mes	Ingeniero electrónico	Jefe proyecto	02	$1.300.000	$2.600.000
mes	Técnico Electrónico Nivel Superior	Instalación y configuración de equipos	02	$900.000	$ 1.800.000
mes	Técnico Electrónico	Instalación de equipos	01	$800.000	$ 800.000
mes	Técnico Electricista	Cableado Instalación de equipos.	01	$800.000	$ 800.000
día	Camioneta Alza hombre	Instalación de equipamiento y verificación de fallas	7	$23.000	$161.000
			Subtotal sin IVA		**$ 6.000.000**
			Subtotal + IVA		**$ 191.590**
			Total		**$ 6.191.590**
			Total [UF]		**212,67**

Fuente: Información recolectada por el autor

3.4.3 Costos de imprevistos

Dado que el lugar de operación se encuentra afecto a accidentes vehiculares y congestión vehicular, se identifica y considera los aspectos del proyecto con más riesgos de sufrir desperfectos o demoras. Se cuantifican estos costos, posteriormente se suman y pasan a ser costos de imprevistos.

- Costos de faena por postación, se consideran en doblar las horas de trabajos ya que puede sufrir demoras debido a factores externos como son los accidentes de tránsito en ruta 64, esto da un costo de imprevistos de $1.563.480 que corresponde 53,70 UF.
- Costos por mano de obra, se considera la mitad del tiempo adicional en los costos de mano de obra y el arriendo de la camioneta alza hombre a 3,5 días, estos da un costo de imprevisto por mano de obra de $3.095.795 que corresponde a 106,33 UF
- Costos de materiales, se consideran $800.000 en costos de imprevistos de materiales.

De acuerdo con los aspectos del proyecto de sufrir un mayor riesgo en cuanto atraso o ausencia de materiales no cuantificado, se determina un costo total de imprevisto de $5.459.275 que corresponde a 187,52 UF.

3.4.3 Costos de diseño

Costo de diseño de proyecto, Valor HH $16.000 pesos, se trabaja 80 horas y se gasta en materiales para realización de diferentes ensayos y pruebas para el proyecto con un costo de $150.000.

Valor total de costo de diseño $1.430.000 que corresponde a 49,11 UF.

3.4.4 Costos de inversión

Se concluye que el costo total de la inversión es la suma entre costos de materiales, costo mano de obra, costos de diseño y costos de imprevisto, siendo:

$$Costo\ inversión = (costos\ materiales + costos\ mano\ de\ obra + costos\ diseño + costos\ de\ imprevisto)$$

$$Costo\ inversión = \$\ 10.132.416 + \$\ 7.755.070 + \$\ 1.430.000 + \$\ 5.459.275$$
$$Costo\ neto\ inversión = \$\ 24.776.761$$
$$Costo\ inversión = \$\ 29.484.345$$
$$Costo\ inversión\ [UF] = 1012{,}77$$

Con los costos de inversión se puede realizar un análisis para el retorno de la inversión de alguna identidad Pública que se interese por propuesta de señalética inteligente para la regularización de tráfico vehicular en túnel “Jardín Botánico” ruta 60 “Vía las Palmas”.

3.5 ANÁLISIS DE RECUPERACIÓN DE INVERSIÓN DE INSTALACIÓN DE SEÑALÉTICA VIAL INTELIGENTE EN FUNCIÓN DE LOS COSTOS POR ACCIDENTE DE TRÁNSITO

Los accidentes que se registran en acceso norte túnel jardín botánico como en la salida del acceso sur túnel jardín botánico de sentido norte – sur. Tiene costos para identidades públicas, estas cuantificaciones están sustentadas en base a diferentes análisis de estudios que se han efectuado por parte del ministerio de transporte y telecomunicaciones, división Planificación, Estudios e Inversiones.

Po lo tanto por los análisis anteriores efectuado en esta propuesta para los costos por distintas lesiones en accidentes vehiculares y los accidentes que se han producido en el sector arrojan un costo total anual de $ 28.179.631, cabe señalar que el aforo de accidente vehicular efectuado no considera todos los accidentes que ocurren durante un año , ya que las muestras tomadas solo fueran concedidas por internet, por lo tanto una gran cantidad de muestras de accidentes quedaron excluidas del estudio, esto concluye que los costos por accidente son bastantes mayores en dicha ruta.

Los beneficios sociales que pudiera brindar la propuesta de señalética inteligente autónoma están dados directamente por los ahorros producidos por la disminución de accidentes, ya sea por su disminución en cantidad y/o consecuencias. El punto es dimensionar la reducción de accidente que se espera que se generen de acuerdo a las medidas específicas de seguridad consideradas en el proyecto.

El ámbito de estas medidas cubre un amplio rango de alternativas, desde aquellas denominadas de bajo costo, como demarcación o señalización vertical, a obras viales de envergadura, como ensanche de túneles, cambios de pendiente o disminución de la fricción lateral. A ésta diversidad de medidas la propuesta está enmarcada en las denominadas de bajo costo.

Para realizar una cuantificación de los beneficios de la propuesta, se calcula en función a los factores de reducción de accidentes de tráfico con respecto a la implementaciones de seguridad que se efectúan en vías de tránsito vehicular, esto permite validar la propuesta en marco a la clasificación del proyecto, se entiende que al instalar un señalética cuyo objetivo es poder ayudar a conductores a pronosticar como están las condiciones de tráfico vehicular más adelante, no lo exime de sufrir algún accidente, es por eso que existen validaciones con tablas ponderadas de factores de reducción de accidentes según el tipo de medidas implementadas en la vía de tránsito vehicular.

Por consiguiente la propuesta de señalética inteligente autónoma, se clasifica según su tipo de medida en “Dispositivos para el control de velocidad”, esta tiene una ponderación máxima de reducción de accidentes de un 33% en caso de instalación de “Bandas alertadoras en intersecciones “, y una ponderación mínima de un 13% en “Señalización de velocidad recomendada antes de curvas” para los accidentes con lesionados según “Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas. CIMA Ingeniería EIRL. Sept 2007; en el Capítulo 6.”. En este caso por estar incluida la propuesta de señalética inteligente autónoma en el tipo de “medida de dispositivos para el control de la velocidad” se usará la media de las dos ponderaciones constatadas anteriormente ya que las dos ponderaciones están contenidas dentro del proyecto, su valor es de un 23%.

Teniendo un porcentaje de reducción de accidente de tránsito según tipo de medidas de seguridad implementadas en la vía de transito se puede cuantificar los costos de reducción anual que se

suscitarían en túnel “Jardín Botánico”, si los costos anuales de accidentes de tránsito asciende a $28.179.631 en función del números de accidente anuales, aplicando factor de reducción anual de accidente, que es de 23%, se tendría una reducción de costos social total por accidente con lesiones de $6.481.315 pesos anualmente que esto equivale a 222,63 [UF].

Se puede deducir que, al momento de alguna identidad pública quiera invertir en mejorar la seguridad vial en túnel “Jardín Botánico”, se puede calcular el periodo de recuperación de la inversión de acuerdo con el costo total del proyecto.

Por lo tanto se cuenta con costo de propuesta de $29.484.761 que esto equivale a 1012,77 [UF], los ingresos anuales en función de la reducción de los costos sociales por accidente son de $6.481.315 que esto equivale a 222,63 [UF].

Dados los cálculos y análisis anteriores se calcula el VAN y la TIR, mediantes estos indicadores financieros se puede analizar qué tan atractiva es la viabilidad del proyecto, estos cálculos se realizan con una proyección de cinco años y con una tasa de reducción de accidentabilidad del proyecto de un 23%, como se muestra en la tabla 3-8.

Tabla 3-8: Flujo de caja para un tasa de reducción de accidente de un 23% [UF]

		AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
-	Inversión	-1.013					
+	Costos sin proyecto		-967	-967	-967	-967	-967
-	Costos con Proyecto		-745	-745	-745	-745	-745
=	Flujo Neto de Caja	-1.013	222	222	222	222	222
	Flujo de caja corregido	-1.013	193	168	146	127	110
	Flujo de caja acumulado	-1.013	-820	-652	-506	-379	-269

TMAR	15%
VAN	**-269**
TIR	3 %
IVAN	-0,265
PAYBACK	>Año 5

Fuente: Información recolectada por el autor

Análisis de sensibilidad en donde se modifica la tasa de reducción de accidentabilidad de acuerdo a la validación de tablas ponderadas de factores de reducción de accidente según tipo de medidas implementadas en la vía de tránsito vehicular; hay que tener en cuenta que el censo de accidente

de tránsito en el túnel “Jardín Botánico” se excluyeron varios accidentes, puesto que la información se extrajo de internet y no muchas veces esta fuente refleja el número total de accidente ocurridos durante un periodo anual dentro de un lugar determinado. Se utiliza una tasa de descuento TMAR de 15%, la sensibilidad a la variable de reducción de accidentabilidad es de 33%, 25% y un 13%. La tabla 3-9 presenta el análisis de sensibilidad variando el porcentaje de disminución de accidentes de tránsito en función de la señalética propuesta.

Tabla 3-9: Variación de porcentaje de accidente en función de señalética vial preventiva

N° de casos	Variación del porcentaje de tasa de reducción de accidentes con proyecto	VAN	TIR	PAYBACK
CASO 1	33 %	53	17 %	Año 4
CASO 2	18 %	-433	-5 %	> Año 5
CASO 3	9%	-725	-23%	> Año 5

Fuente: Elaboración propia

El análisis financiero con una tasa de reducción de accidentabilidad del proyecto de un 23% por medio del indicador financiero VAN se puede apreciar que el VAN es negativo, eso demuestra que los flujos futuros del proyecto no son viables, como también la TIR está por debajo de la tasa de descuento, la recuperación de la inversión es mayor a 5 años. En torno al análisis se puede dilucidar que el proyecto no es viable.

En el análisis de sensibilidad con la variación de la tasa de porcentaje de reducción de accidentes de tránsito de un 33% se presenta un VAN positivo y una TIR por sobre la tasas de descuento, en este caso en particular si es viable en el proyecto, se puede señalar que estos resultados pueden ser coherente y tomar un cierto grado de protagonismo ya que el porcentaje de reducción de accidente de tránsito en uno de los criterios que toma en cuenta el proyecto de señalética de mensaje variable tiene un porcentaje de un 33% de reducción de accidentes de tránsito ya que la señalética cuenta con el criterio de reducción de velocidad en las tablas de ponderación. Los otros dos porcentaje restantes siguen demostrando según los indicadores financieros VAN y TIR que el proyecto no es viable.

Se concluye que le recuperación de la inversión son datos muy conservadores y como se comentó con anterioridad no refleja toda la tasa de accidente que se manifiesta anualmente en túnel jardín botánico si no que la cifra es mayor.

Cabe señalar que la estimación de costos por accidente el 34% de las víctimas de accidentes de tránsito requiere de algún grado de rehabilitación. Los costos por rehabilitación incluyen el conjunto de tratamientos del área salud que tienen como objetivo la reposición funcional de uno o más órganos de un accidentado y la posterior reinserción de éste en su entorno laboral y social. La recuperación laboral, permite que el accidentado recupere la capacidad de trabajo que poseía antes del accidente, existe un costo por pérdida de productividad que corresponde a la perdida social asociada a la ausencia laboral de los lesionados. Que si es ponderada dentro de los costos sociales por tipo de lesiones y en efecto es reflejada en los cálculos anteriores.

Lo que no se consideró en los cálculos anteriores son los costos de una muerte estadística. El enfoque que se estima para determinar el costo de un fallecido debido a un accidente de tránsito es el método de la pérdida de capital humano. Este enfoque no pretende dar valor a la vida humana sino sólo determinar una valoración de la pérdida de producción futura al fallecer una persona. Y este cálculo arroja un costo de capital humano de 3.360,34 [UF], la que no fue considerada, ya que, es un valor intrínseco dentro de los costos indirectos.

De igual forma se pueden observar otros costos indirectos que inciden directamente en los usuarios de la ruta 64 que transitan en las horas de los accidentes, por la gran congestión vehicular que estos accidentes producen, los usuarios se ven con un sobrecargo en sus cuentas mensuales de bencina, ya que, el consumo de combustible aumenta y como también la calidad de vida de los usuarios se ve deteriorada por las horas consumidas en las congestiones viales.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos propuestos para la evaluación de propuesta de señalética inteligente vial, se llevaron a cabo los puntos mencionados anteriormente.

A través del desarrollo de la propuesta se pudo constatar que al ser una ruta muy accidentada topográficamente, las trasmisiones de señales presentan un gran problema a la hora de plantear cual es el mejor método para una transmisión confiable de datos, los costos varían enormemente ya que al no poder utilizar solamente transmisión inalámbrica para poder condensar todas las señales provenientes de los sensores, los costos aumentan. De la misma manera no en todas las estaciones de sensado se pueden trabajar con energía fotovoltaica, puesto que en ciertos lugares escasamente incidiría la luz directa en los paneles fotovoltaicos, ya que, la ruta se desliza entre medios de cerros. De la misma manera el proyecto abarca dos tipos de alimentación eléctrica, para la alimentar los diferentes equipos del proyecto, como también los medios de transmisión de datos utiliza tres tipos de medios (inalámbrico, óptico y cableado), esto dificulta enormemente el proyecto debido a que se deben optar por diferentes tecnologías y sistemas de conversión para poder extraer la variable de control. De igual forma el proyecto tiene un bajo costo comparado con todos los beneficios que este incorporaría al momento de ser implementado.

En relación con los accidentes de tránsito vehicular la estimación del costo basada solamente en la pérdida de productividad (costo de capital humano), la experiencia internacional indica que esta cifra es una fracción menor del verdadero costo social que se genera por parte de un lesionado grave como, en especial, por una pérdida de vida, más allá de la pérdida de productividad. En general se reconoce que, detrás de los valores económicos de estos efectos sociales que generan los accidentes, hay juicios éticos o de valor, así como una relación directa con el “estado de riqueza” de un país. En tal sentido, los conceptos de dolor, pena y sufrimiento que generan lesiones graves y muertes, tanto para el afectado como para todo su grupo familiar y social, representan un valor social superior al incorporado en la estimación de beneficios.

Parece especialmente rescatable el hecho de que los análisis realizados de proyectos viales en que se ejecutaron medidas de seguridad, resultaron con una alta rentabilidad en cuanto accidentes vehiculares (23%). Es claramente recomendable aumentar el número de proyectos a nivel nacional dirigidos a identificar e implementar medidas específicas de seguridad, en que un gran número de ellas cuentan con un nivel de eficacia probada en términos de mejorar los niveles de seguridad vial.

Por último, este proyecto se puede aplicar en otras vías con la misma tipo problemática, estas reunirían factores similares al sector estudiado, curvas cerradas sin un alcance óptico visual, se

utilizaría la misma estructura y lógica de sensado, pero se adaptaría la trasmisión de datos dependiendo del lugar de entorno, de igual forma también se puede adaptar este tipo de proyecto a semáforos viales, para que estos cambien sus tiempo de alternancia de sus señales de acuerdo al flujo vehicular existente en la vías.

BIBLIOGRAFÍA

- Axel Rimbaud. Movimiento contra exceso de velocidad letal en Chile. Recopilación de datos de Siniestros de Tránsito chile 2010-2019. 01 de diciembre de 2020.

- CIMA Ingeniería EIRL. (2011). Análisis y definición de una metodología para la evaluación social de impactos de proyectos sobre la seguridad vial en rutas interurbanas. [En línea]. <http://www.sectra.gob.cl/biblioteca/detalle1.asp?mfn=1330> [consulta en línea 02 de enero 2021].

- CONASET (Comisión Nacional de Seguridad de tránsito). (2020). Normas de señales de tránsito. [En línea] <https://www.conaset.cl/manualsenalizacion/default.html> [consulta 15 octubre del 2020].

- CONASET (Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito). (2018). Costos social de los siniestros de tránsito en chile. [En línea] <https://www.conaset.cl/wp-content/uploads/2019/07/Costos-accidentes-2018.pdf> [Consulta en línea 30 de Diciembre 2020].

- CUAED (Coordinación de Universidad Abierta y Educación a Distancia). Fibra Óptica. [En líne]. <https://programas.cuaed.unam.mx/repositorio/moodle/pluginfile.php/869/mod_resource/content/7/fibraoptica_plantilla/index.html> [Consulta 5 enero 2020].

- Jaime Gibson. (Universidad de Chile División Ingeniería de Transporte). (2001). Teoría de Flujos Vehiculares Apuntes de Clases. [En línea]. <https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2008/2/CI73I/1/material_docente/bajar?id_material=203202> [Consulta 8 de noviembre 2020].

- Óscar Torrente Artero. Curso práctico de Formación. Arduino. Feb. 2013. ISSN 978-84-940725-0-5