

Universidad Católica de Santa María

**Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y
Formales**

Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica



**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PROTOTIPO DE ALARMA
Y PREVENCIÓN DE ACCIDENTES PARA TRANSITO EN ÁREA MINA A TAJO
ABIERTO”**

Tesis presentada por el
Bachiller:
Huarachi Machaca, Felipe

Para optar el Título Profesional
de: **Ingeniero Electrónico**

Asesor:
**Ing. Urrutia Espinoza, Mario
William**

Arequipa – Perú

2021

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA ELECTRONICA

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 24 de Junio del 2021

Dictamen: 002491-C-EPIE-2021

Visto el borrador del expediente 002491, presentado por:

2010150061 - HUARACHI MACHACA FELIPE

Titulado:

**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA PROTOTIPO DE ALARMA Y PREVENCION DE
ACCIDENTES PARA TRANSITO EN AREA MINA A TAJO ABIERTO**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**1692 - VALDIVIESO HERRERA DIANA ISABEL
DICTAMINADOR**



**1843 - URRUTIA ESPINOZA MARIO WILLIAM
DICTAMINADOR**



**2465 - ZEGARRA GAGO HENRY CHRISTIAN
DICTAMINADOR**



DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a mis padres por sus consejos y comprensión hacia mi persona, que me inculcaron los valores de perseverancia y honestidad, los cuales me permitieron alcanzar este objetivo profesional.



AGRADECIMIENTO



A mis padres Feliciano e Hilda, por el apoyo constante en los momentos difíciles. A mis familiares y amigos que colaboraron en la realización de la presente tesis.

De igual manera agradecer a mi asesor de tesis Ing. Mario Urrutia, por su apoyo incondicional, paciencia y disposición para la culminación del trabajo de tesis.

RESUMEN

Durante el desarrollo de los procesos de extracción y transporte de mineral ocurren numerosos incidentes de tránsito entre vehículos livianos y pesados, dichos incidentes generan problemas en la fluidez de circulación como retrasos en la producción del mineral, aplastamiento de vehículos livianos con consecuencias fatales en algunas ocasiones, esto es debido a la falta de visibilidad y puntos ciegos en los vehículos pesados y factores climáticos como polvo y lluvia.

En este trabajo de tesis se está proponiendo plantear un sistema prototipo que podrá minimizar los problemas suscitados por la circulación de diversos vehículos livianos y pesados en área mina.

El prototipo está conformado por dos conjuntos de equipos de control, una para los vehículos pesados (por vehículo pesado consta de una Tablet o laptop para el control y emisión de datos e interfaz de usuario, un Access Point para establecer una conexión inalámbrica entre vehículos pesados, livianos y un módulo GPS para establecer la posición), otro conjunto de equipos de control para vehículos livianos (por vehículos liviano consta de una Tablet o laptop para administrar los datos que llegan de los equipos pesados como ubicación, velocidad y un módulo de GPS para la ubicación), y un software el cual está diseñado en lenguaje gráfico LabVIEW, que administra los datos de posición y velocidad obtenidos de los módulos GPS de todos los vehículos pesados para luego ser distribuido a cada vehículo liviano mediante redes inalámbricas independientes generadas por el Access Point.

Este sistema es una alternativa viable para la optimización de la seguridad frente al sistema tradicional utilizando en la actualidad, debido a que permite alertar a cada usuario del vehículo pesado o liviano mediante una alarma sonora y visual la cercanía de cualquier otro vehículo a través del monitoreo local, con el fin de lograr mayor seguridad y minimizando accidentes en los vehículos livianos que no están dentro del sistema Distpach existente en área mina.

Palabras Claves:

Puntos ciegos de equipos, red inalámbrica, módulo GPS, control difuso, LabVIEW.

ABSTRACT

During the processes of extraction and transport of mineral happen many traffic incidents between light and heavy vehicles, these incidents cause problems in the flow of traffic such as delays in the production of mineral, flattening of light vehicles with fatal consequences on some occasions, this due to lack of visibility and blind spots in heavy vehicles and climatic factors such as dust rain.

In this thesis work, we are proposing a prototype system that can minimize the problems caused by the circulation of several light and heavy vehicles in the mine area.

This prototype is composed of two sets of control equipment, one for heavy vehicles (for heavy vehicles it consists of a tablet or laptop for control and data emission and user interface, an Access Point to establish a wireless connection between heavy and light vehicles, and GPS module to establish the position), another set of control equipment for light vehicles (for light vehicles it consists of a tablet or laptop to manage the data coming from heavy vehicles such as location, speed, and a GPS module for location), and a software which is designed in LabVIEW graphic language, which manages the position and speed data obtained from the GPS modules of all heavy vehicles to then be distributed to each light vehicle through independent wireless networks generated by the Access Point.

This system is a viable alternative in the optimization of safety compared to the traditional system currently used, because it allows alerting each user of the heavy or light vehicle through an audible and visual alarm of the proximity of any other vehicle through local monitoring, in order to achieve greater safety and minimize accidents in light vehicles that are not within the existing Distpach system in the mine area.

Keywords:

Blind point of equipment, Wireless network, GPS module, fuzzy control, LabVIEW.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de tesis tiene por objetivo proponer un sistema prototipo para prevención y alerta de accidentes de tránsito para vehículos livianos en área mina, con el fin de minimizar los puntos ciegos en los vehículos pesados mediante el intercambio de posición de cada vehículo en tránsito.

En la actualidad el monitoreo de vehículos pesados en área mina para el control y ubicación están dadas por el sistema de gestión de flota DISPATCH, que ayuda a optimizar el ciclo de transporte y a reducir los tiempos de inactividad de camiones de acarreo. Gracias a esta supervisión los operadores están informados o tienen conocimiento de la ubicación de cada pesado en toda el área de tajo de mina permitiendo un tránsito fluido y seguro entre estos vehículos.

Dicho sistema solo contempla equipos pesados, dejando de lado a vehículos livianos, debido a la gran cantidad y eventualidad de contratistas involucrados en trabajos puntuales, existen sistemas de detección de proximidad basados en cámaras y sensores para eliminar los puntos ciegos, ofrecidos por los fabricantes de maquinaria pesadas, pero solo alerta a los usuarios de vehículos pesados como camiones de acarreo y palas eléctricas e hidráulicas, sin considerar a los usuarios de vehículos livianos y en ciertos casos por factores climáticos ocasionan falsas alarmas. La deficiencia de alerta en los vehículos livianos es solucionada por el sistema.

Con el propósito de cumplir con los objetivos la presente tesis se ha organizado en 5 capítulos.

En el capítulo I, se presenta consideraciones generales donde se exponen las estadísticas que motivaron el desarrollo del proyecto, seguidamente se realiza la descripción del problema, justificación, objetivos, alcance, hipótesis, variables.

En el capítulo II, se encuentra el marco teórico que se requiere para poder desarrollar el sistema de prevención, desde la comunicación wifi, posicionamiento global, tránsito en área mina, distribución y control de datos mediante software.

En el capítulo III, se encuentra el estado del arte, donde se hace una recopilación de las diversas alternativas de solución presentes en la actualidad.

En el capítulo IV, se encuentra el desarrollo y diseño del sistema, una descripción de los equipos y módulos usados, así como la configuración del Access Point, la programación del controlador. Esto se logra a través del desarrollo de 3 etapas. En la etapa 1: se desarrolla la comunicación inalámbrica que se ha de implementar en el área dependiendo de la cobertura de acuerdo con el dimensionamiento requerido según las normas establecidas de tránsito en el reglamento general de tránsito de la unidad minera en este caso SMCV (Sociedad Minera Cerro Verde). En la etapa 2 se aborda el tema de ubicación mediante módulos GPS, la configuración e integración con el hardware y software para la implementación del sistema. Luego en la etapa 3 se desarrolla la integración por software del sistema mediante LabVIEW implementando un control con capacidad de utilizar múltiples variables, para el caso se utilizó un control difuso el cual nos permite mediante reglas de pertenencias, las variables como la velocidad y distancia establecer los diferentes tipos de alarmas en el sistema.

En el capítulo V, donde se encuentran las pruebas y resultados obtenidos.

INDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT.....	iv
INTRODUCCIÓN	v
INDICE	vii
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	1
1.1 CONSIDERACIONES GENERALES.....	1
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	1
1.3 JUSTIFICACIÓN	2
1.4 OBJETIVOS	3
1.4.1 Objetivo principal	3
1.4.2 Objetivo secundario	3
1.5 ALCANCE	4
1.6 HIPÓTESIS	4
1.6.1 Hipótesis principal	4
1.6.2 Hipótesis Secundaria.....	4
1.7 VARIABLES.....	4
1.7.1 Variables independientes	4
1.7.2 Variables dependientes	4
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	5
2.1 REDES INALÁMBRICAS	5
2.1.1 Tipos de redes inalámbricas:.....	5
2.1.2 Estándares IEEE 802.11	7
2.1.3 Bandas de frecuencias de las redes Wifi.....	12
2.1.4 Elementos básicos de una red	15
2.1.5 Configuraciones de red	17
2.1.6 Consideraciones para una red inalámbrica	19
2.1.7 Seguridad de las redes Wifi	20
2.1.8 Propagación de la señal.....	21
2.1.9 Modelos de propagación.....	22

2.2 SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL	27
2.2.1 Sistema Satelital o espacial.....	27
2.2.2 Sistema de control terrestre o control de operación.....	28
2.2.3 Sistema del Usuario	28
2.2.4 Funcionamiento del sistema GPS	29
2.2.5 GPS diferencial	32
2.2.6 Aplicaciones de los receptores GPS	33
2.2.7 Protocolo de comunicación:.....	33
2.3 SISTEMA DE CONTROL DIFUSO	37
2.3.1 Sistemas de control	37
2.3.2 Lógica difusa.....	38
2.3.3 Lógica difusa y sistemas de control.....	38
2.3.4 Conjuntos borrosos	39
2.3.5 Funciones de membresía.....	40
2.3.6 Operaciones borrosas.....	41
2.3.7 Fuzzificación.....	42
2.3.8 Reglas borrosas	43
2.3.9 Inferencia borrosa	44
2.3.10 Agregado.....	45
2.3.11 Defuzzificación.....	45
2.4 TRÁNSITO VEHICULAR EN ÁREA MINA	48
2.4.1 Clasificación de vehículos y equipos.....	48
2.4.2 Equipamiento de seguridad para transitar en mina	50
2.4.3 Características de la carretera de acarreo.....	51
2.4.4 Salidas de emergencia.....	52
2.4.5 Prioridad vehicular y derecho de paso	52
2.4.6 Límites de velocidad.....	53
2.4.7 Señales de bocinas	53
2.4.8 Radios de trabajo	53
2.4.9 Áreas de carguío	54
2.4.10 Acercamiento a los equipos y estacionamiento en mina	55
2.4.11 Distancia a seguir a los camiones de acarreo.....	55

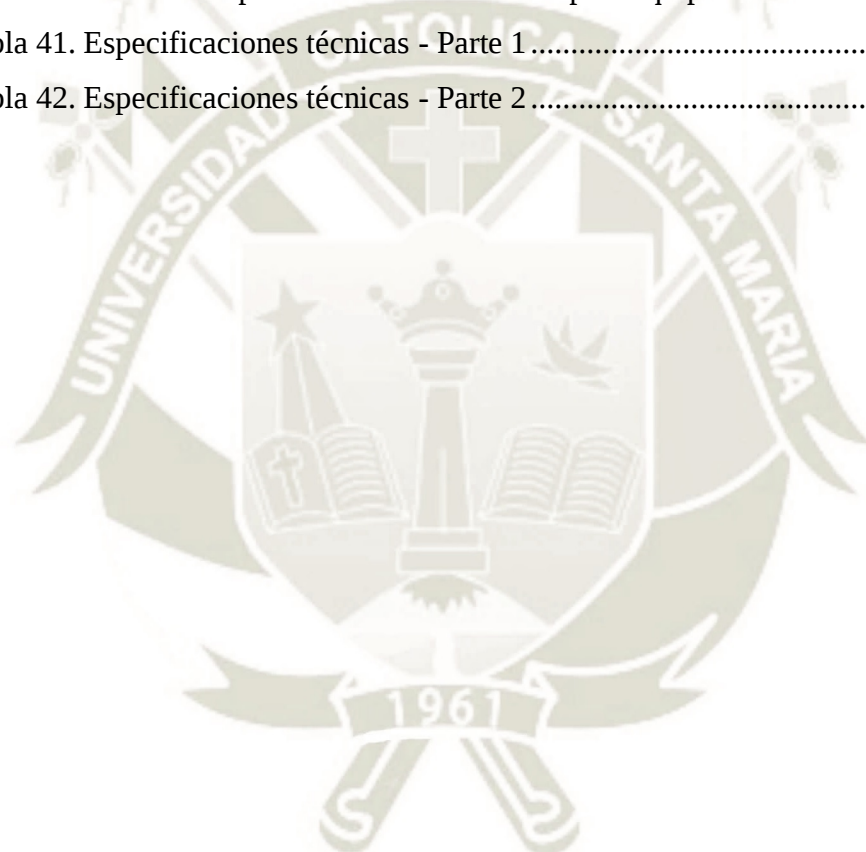
2.4.12	Procedimiento para adelantar camiones de acarreo	56
2.5	SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN – LABVIEW	57
2.5.1	Entorno.....	57
2.5.2	Software	58
CAPÍTULO III ESTADO DEL ARTE.....		60
3.1	SISTEMAS BASADOS EN RADARES Y CÁMARAS.....	60
3.2	SISTEMAS DE DETECCIÓN DE EQUIPOS ELABORADOS	61
3.2.1	Caterpillar - Minestar.....	61
3.2.2	GE Mining Technology	62
3.2.3	SAFEmine.....	62
3.2.4	PreView – Preco Electronics	63
3.2.5	Mine Alert – Modular Mining Systems.....	63
3.3	CONSIDERACIONES ACERCA DE LOS SISTEMAS DE PROXIMIDAD EXPUESTOS.....	64
CAPÍTULO IV DISEÑO DEL SISTEMA DE PREVENCIÓN DE ACCIDENTES		66
4.1	ETAPA I: REDES MOVILES – WIFI.....	66
4.1.1	Funcionamiento de la red Wifi	66
4.1.2	Características de la red	66
4.1.3	Análisis de cobertura de redes inalámbricas	66
4.1.4	Consideraciones de cobertura de red para el prototipo.	68
4.1.5	Dispositivos a usar para la implementación del prototipo	69
4.1.6	Integración de la etapa de Red – Wifi.....	78
4.2	ETAPA II: UBICACIÓN Y POSICIONAMIENTO MEDIANTE GPS	78
4.2.1	Funcionamiento del módulo GPS	78
4.2.2	Dispositivos a usar en la etapa de ubicación y posicionamiento	78
4.2.3	Integración de la etapa de posicionamiento global	89
4.3	ETAPA III: PROGRAMACIÓN E INTEGRACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL	89
4.3.1	Programas de uso general	89
4.3.2	Diseño de control fuzzy del sistema	124
4.3.3	Integración del sistema de control	131
CAPÍTULO V PRUEBAS Y RESULTADOS		136

5.1 PRUEBAS DE RED Y CONECTIVIDAD	136
5.1.1 Red de equipos pesados (Pala eléctrica – Camión de acarreo).....	136
5.1.2 Conectividad de Equipos (vehículos livianos – camiones de acarreo)...	139
5.2 PRUEBAS DE POSICIONAMIENTO.	139
5.3 PRUEBAS DE RECEPCIÓN Y CONTROL DE DATOS	144
5.3.1 Pruebas del sistema en vehículos livianos:	144
5.3.2 Pruebas del sistema en Equipos pesado (Pala, camión de acarreo):	146
5.3.3 Prueba del sistema en conjunto.....	149
5.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	155
CAPÍTULO VI COSTOS Y PRESUPUESTOS	156
6.1 HARDWARE Y SOFTWARE PARA EQUIPOS PESADOS	156
6.2 HARDWARE PARA EQUIPOS LIVIANOS.....	156
6.3 COSTOS DEL SISTEMA CON EQUIPOS PARA INSTALACIÓN	157
CAPÍTULO VII REQUERIMIENTOS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	158
7.1 REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DE LOS EQUIPOS A USAR EN LOS VEHÍCULOS.....	158
7.1.1 Requerimiento mínimo para equipos pesados:	158
7.1.2 Requerimiento mínimo para equipos livianos:	159
7.2 TABLA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PROTOTIPO.	161
CONCLUSIONES	163
RECOMENDACIONES.....	164
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	165
ANEXOS	170
Anexo 1: Programas y subprogramas del sistema	170
Anexo 2: Hoja de datos de equipos	214

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparativa de Tecnologías inalámbricas.	7
Tabla 2. Características principales del protocolo 802.11b	8
Tabla 3. Velocidad vs Distancia en 802.11b	8
Tabla 4. Características principales del protocolo 802.11a	9
Tabla 5. Velocidad vs Distancia en 802.11a.....	9
Tabla 6. Características principales del protocolo 802.11g.....	10
Tabla 7. Velocidad vs Distancia 802.11g	10
Tabla 8. Estándares IEEE 802.11	12
Tabla 9. Banda de frecuencia 5 GHz.	14
Tabla 10. Valores típicos de perdidas en el modelo COST 231 de paredes múltiples. ..	23
Tabla 11. Valores de n para diferentes ambientes.	26
Tabla 12. Definición de los cuatro métodos de inferencia más populares.	45
Tabla 13. Radios de trabajos de Equipos y vehículos.....	54
Tabla 14. Distancia mínima entre vehículos livianos y equipos pesados.	55
Tabla 15. Valores de nivel de señal.	67
Tabla 16. Valores de señal calculados hasta 100 m.....	67
Tabla 17: Características del Modem/AP	70
Tabla 18. Rango de valores de direcciones IP's.	73
Tabla 19. Prioridad de conexión a Redes inalámbricas WIFI.	74
Tabla 20. Creación de los nombres de red.....	74
Tabla 21. Configuración principal para modem-AP.....	75
Tabla 22. Características de Patch Cord.	77
Tabla 23. Características de Estación de control.	77
Tabla 24. Características de módulo CP2102.	79
Tabla 25. Características del módulo u blox NEO 6M GPS.	82
Tabla 26. Características de la estación de control para el módulo GPS.....	87
Tabla 27: Descripción de datos en el formato	98
Tabla 28. Equivalencia de datos para la Frecuencia.	99
Tabla 29. Variables a reemplazar en plantilla.....	117
Tabla 30. Valores máximos y mínimos de distancia.	126
Tabla 31. Valores máximos y mínimos de velocidad.	126

Tabla 32. Valores máximos y mínimos de alarma.....	127
Tabla 33. Valores máximos y mínimos de peligro.	128
Tabla 34. Conjunto de reglas difusas para el controlador.....	129
Tabla 35. Valores de nivel de señal para el Punto de Acceso (TP-Link).	136
Tabla 36. Puntos de muestra de GPS.	143
Tabla 37. Costo de implementación de prototipo de sistema para equipos pesados. ...	156
Tabla 38. Costo de implementación de prototipo de sistema para equipos livianos. ...	156
Tabla 39. Costo de implementación del sistema para equipos pesados.....	157
Tabla 40. Costo de implementación del sistema para equipos livianos.....	157
Tabla 41. Especificaciones técnicas - Parte 1	161
Tabla 42. Especificaciones técnicas - Parte 2	162



INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Canales en la banda de 2.4 GHz.....	12
Figura 2. Relación de canales en el espectro de 5 GHz.	13
Figura 3. Modo AD-HOC.....	17
Figura 4. Modo infraestructura.	18
Figura 5. Modo infraestructura - Varios AP's.	18
Figura 6. Roaming entre dos zonas de cobertura.....	19
Figura 7. Constelación de satelites Navstar.	27
Figura 8. Mapa de Estaciones terrestres.	28
Figura 9. Código pseudoaleatorio de tiempo GPS.....	30
Figura 10. Sistema de Coordenadas GPS para el satélite y la estación receptora.	30
Figura 11. Ubicación de la estación receptora con respecto a un satélite.....	31
Figura 12. Ubicación de la estación receptora respecto a dos satélites.	31
Figura 13. Ubicación de la estación receptora respecto a tres satélites.	32
Figura 14. Ejemplo de subconjuntos borrosos para el conjunto velocidad.....	39
Figura 15. Operaciones básicas sobre conjuntos.	42
Figura 16. Fuzzificación de una variable.....	42
Figura 17. Representación gráfica de los distintos métodos de defuzzificación del Fuzzy Logic Toolbox de Matlab para sistemas tipo Mamdani.	47
Figura 18. Etapas para la toma de decisión.	48
Figura 19. Vehículos livianos.	49
Figura 20. Equipo auxiliar - tractor oruga.	49
Figura 21. Camión de acarreo.....	50
Figura 22. Sección típica de vía de acarreo – pulgadas.	51
Figura 23. Escape lateral de via de acarreo.....	52
Figura 24. Panel de control – LabVIEW.	57
Figura 25. Diagrama de bloques – LabVIEW.	58
Figura 26. Integración del software y hardware.	59
Figura 27. Disposición del radar de detección en equipo pesado.	60
Figura 28. Sistema SAFEmine en acción.	63
Figura 29. Sistema PreView - detección de personas.	63
Figura 30. Sistema Mine Alert - detección de vehículos.	64

Figura 31. Cobertura, distancia segura de redes inalámbricas.....	66
Figura 32: Nivel de señal en función de la distancia	68
Figura 33. Tabla de conversión de nivel de señal expresado en porcentaje a -dBm.	69
Figura 34. Modem/AP TP-Link usado en el prototipo.	70
Figura 35. Radio de área de trabajo de acuerdo a la longitud de Equipo.	71
Figura 36. Distancia segura de seguimiento a camión de acarreo.	71
Figura 37. Área de cobertura de red Wifi para pala eléctrica.	73
Figura 38. Área de cobertura de red Wifi para camión de acarreo.	74
Figura 39. Cambio al estándar IEEE 802.11g	75
Figura 40. Cambio de nombre de la red Wifi y el tipo de protocolo de seguridad.....	75
Figura 41. Configuración de clave de red y encriptación.	76
Figura 42. Configuración del servicio DHCP.....	76
Figura 43. Patch cord.	76
Figura 44. Estación de control de red wifi.....	77
Figura 45. Esquema de conexión entre Estación y AP.	78
Figura 46. Diagrama de funcionamiento de Módulo GPS.....	78
Figura 47. Módulo CP2102.	79
Figura 48. Descarga del controlador del módulo CP2102.....	79
Figura 49. Instalador del controlador CP2102.....	80
Figura 50. Inicio de instalación de controlador.	80
Figura 51. Fin de instalación de controlador.	81
Figura 52. Verificación de correcta instalación de controlador.....	81
Figura 53. Módulo NEO 6M GPS.	82
Figura 54. Página Web de descarga del software.	83
Figura 55. Programa de U-Center para módulos GPS.....	83
Figura 56. Conexión de módulo en el puerto asignado.	84
Figura 57. Cambio en el modo de navegación.....	84
Figura 58. Configuración de sentencias y baudaje.	85
Figura 59. Configuración del periodo.....	85
Figura 60. Ventana para guardar los cambios.....	85
Figura 61. Datos obtenidos por el programa del módulo GPS.	86
Figura 62. Ubicación de acuerdo a los datos del GPS.	87

Figura 63. Estación de control para módulo GPS.....	87
Figura 64. Módulo GPS N° 1.....	88
Figura 65. Módulo GPS N° 2.....	88
Figura 66. Cubierta de protección de módulos GPS.....	88
Figura 67. Esquema de adquisición de datos de módulo GPS.....	89
Figura 68. Diagrama de flujo del programa comunicación USB-GPS.....	90
Figura 69. Diagrama de flujo - Programa de adquisición de datos GPS.	91
Figura 70. Diagrama de flujo - Subprograma procesado de NMEA.	92
Figura 71. Diagrama de flujo – Subprograma conversión de coordenadas.....	93
Figura 72. Diagrama de flujo - Subprograma de interpretación fecha y hora.	93
Figura 73. Diagrama de flujo - Permanencia de valor.....	94
Figura 74. Diagrama de flujo del programa de servidor de datos – Parte A.	95
Figura 75. Diagrama de flujo del programa de servidor de datos – Parte B.....	96
Figura 76. Diagrama de flujo - programa de envío y control de datos servidor.	97
Figura 77. Formato de trama de datos para envío y recepción.	98
Figura 78. Diagrama de flujo - envío de datos.	98
Figura 79. Normalización de valores para la frecuencia de sonido.	99
Figura 80. Normalización de valores para el número de ciclos.....	100
Figura 81. Diagrama de flujo – subprograma convertidor de señal.....	100
Figura 82. Diagrama de flujo - Programa de recepción, gráfico y ubicación de equipos.	101
Figura 83. Diagrama de flujo- Subprograma de recepción de datos.....	102
Figura 84. Distancia entre coordenadas - fórmula haversine.....	104
Figura 85. Distancia entre 2 puntos aplicando Google maps.....	104
Figura 86. Diagrama de flujo - subprograma de cálculo de coordenadas.....	105
Figura 87. Diagrama de flujo - subprograma de ploteo de coordenadas.	106
Figura 88. Diagrama de flujo - Subprograma de escala de gráfico.	106
Figura 89. Interface de gráfico y ubicación de coordenadas – LabVIEW.....	107
Figura 90. Diagrama de flujo - Programa de alarma del sistema.....	108
Figura 91. Diagrama de flujo - Programa de apagado del sistema.	109
Figura 92. Diagrama de flujo - Programa de detección de redes y conexión Parte A. .	110
Figura 93. Diagrama de flujo - Programa de detección de redes y conexión Parte B. .	111

Figura 94. Selección de redes inalámbricas de interés.	112
Figura 95. Diagrama de flujo - subprograma de detección de redes.	112
Figura 96. Diagrama de flujo - subprograma de presencia de pala.	113
Figura 97. Diagrama de flujo - subprograma de presencia de camiones.	114
Figura 98. Diagrama de flujo - subprograma de red estable.	115
Figura 99. Diagrama de flujo - subprograma de obtención de dirección IP.	116
Figura 100. Diagrama de flujo - subprograma de rango de dirección IP.	117
Figura 101. Formato de plantilla xml.	118
Figura 102. Diagrama de flujo - subprograma de generación de archivo XML.	118
Figura 103. Diagrama de flujo - subprograma de conexión a red.	119
Figura 104. Diagrama de flujo - subprograma de desconexión de red.	120
Figura 105. Diagrama de flujo - programa de lectura de datos / cliente.	121
Figura 106. Diagrama de flujo - subprograma de agrupamiento de datos.	122
Figura 107. Diagrama de flujo - Programa de envío y control de datos / cliente.	123
Figura 108. Distancia mínima segura para Pala Eléctrica.	124
Figura 109. Distancia mínima segura para camión de acarreo.	125
Figura 110. Radio de visión de camión de acarreo.	125
Figura 111. Variables de entrada – Distancia.	126
Figura 112. Variables de entrada – Velocidad.	127
Figura 113. Variable de salida – Alarma.	128
Figura 114. Variable de salida – Peligro.	128
Figura 115. Reglas difusas - Fuzzy System Designer.	130
Figura 116. Resultado de simulación del controlador con mínimas variables.	130
Figura 117. Resultado de simulación del controlador con máximas variables.	131
Figura 118. Diagrama de bloques - subsistema para equipos pesados.	132
Figura 119. Esquema de equipos para subsistema de prevención – Equipos pesados.	132
Figura 120. Panel frontal para subsistema de prevención de accidentes – Equipos pesados.	133
Figura 121. Diagrama de bloques - Subsistema para equipos livianos.	134
Figura 122. Esquema de equipos para subsistema de prevención - Equipos livianos.	134
Figura 123. Panel frontal para subsistema de prevención de accidentes – Equipos livianos.	135

Figura 124. Nivel de señal y latencia a 5m.	137
Figura 125. Nivel de señal y latencia a 10m.	137
Figura 126. Nivel de señal y latencia a 15 m.	137
Figura 127. Nivel de señal y latencia a 20 m.	138
Figura 128. Nivel de señal y latencia a 25 m.	138
Figura 129. Redes Wi-Fi detectadas.	139
Figura 130. Red de Camión de acarreo detectada.....	139
Figura 131. Toma de coordenadas 1.	140
Figura 132. Toma de coordenadas 2.	140
Figura 133. Toma de coordenadas 3.	141
Figura 134. Toma de coordenadas 4.	141
Figura 135. Toma de coordenadas 5.	142
Figura 136. Toma de coordenadas 6.	142
Figura 137. Ubicación de puntos de muestra en mapa.	143
Figura 138. Ventana de ingreso de datos para equipos livianos.	144
Figura 139. Ventana de ubicación de equipos – Equipo liviano.....	145
Figura 140. Ventana de información detallada - Equipo liviano.	146
Figura 141. Ventana de ingreso de datos para equipo pesado.	147
Figura 142. Ventana de ubicación de equipos - Equipo pesado.	148
Figura 143. Ventana de información detallada - Equipo pesado.	148
Figura 144. Prueba del sistema N°01 - Pala_12.	149
Figura 145. Prueba del sistema N°01 - MNTO_03.	150
Figura 146. Verificación de distancia entre puntos – N° 01.....	150
Figura 147. Prueba del sistema N°02 - PALA_12.....	151
Figura 148. Prueba del sistema N°02 - MNTO_03.	152
Figura 149. Verificación de distancia entre puntos - N° 02.....	152
Figura 150. Prueba del sistema N°03 - PALA_12.....	153
Figura 151. Prueba del sistema N°03 - MNTO_03.	154
Figura 152. Verificación de distancia entre puntos N°03.	154

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Durante el proceso de acarreo y transporte los equipos pesados transitan cerca de vehículos livianos, vehículos pesados y equipos auxiliares, la interacción de los equipos ocasiona accidentes de tránsito. De acuerdo con las estadísticas emitidas por Osinergmin estos accidentes son más frecuentes.

Según el Análisis Estadístico de Seguridad y Compendio Ilustrativo de Accidentes en el Sector de Mediana Minería y Gran Minería – 2018 publicados por el organismo supervisor de la inversión en energía y minería (OSINERGMIN), durante el año 2018 las empresas mineras de la mediana y gran minería han reportado 19 eventos con 23 víctimas (accidentes mortales) ocurridos en diferentes unidades mineras, 7 accidentes mortales (30.4 %) corresponden a choques contra o atrapado en golpes por vehículo motorizado (tránsito vehicular), 5 accidentes mortales (21.7 %) corresponde por desprendimiento de rocas, 4 accidentes mortales (17.4 %) corresponde por exposición, o contacto por inhalación con gases tóxicos / asfixiantes (ventilación deficiente), los cuales solo las 3 causas representan el 69.5 % del total reportado [1].

Recientemente en el boletín estadístico de la Gerencia de Supervisión Minera 2019 emitido por OSINERGMIN se reportaron un 67% de accidentes vinculados al tránsito vehicular [2].

En muchos de los casos el principal factor es la poca visibilidad de los camiones de acarreo y palas, así como la velocidad. Al presentarse la limitación de la visibilidad, al conducir un equipo de gran tonelaje, se deja toda la responsabilidad al operador, apoyado en elementos estáticos como espejos que no eliminan los puntos ciegos, a pesar de poseer la radio de comunicación que es usada para procesos de operaciones mina.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El ingreso de un equipo liviano a área mina requiere de implementos de seguridad instalados en la unidad como pértiga de seguridad, radiotransmisor y letrero de

identificación de la unidad, dichos implementos constituyen el actual sistema de prevención de accidentes de los equipos livianos frente a los equipos pesados.

Los implementos usados por los equipos livianos no advierten de manera eficiente de su presencia a los equipos pesados, debido a poca visibilidad de los operadores y los puntos ciegos de los equipos pesados, una vez que el operador ingresa a la cabina, es posible que no vea si otro equipo liviano o una persona caminando entra en uno de sus puntos ciegos, lo cual genera riesgos de seguridad. Cuando los operadores de los equipos tienen más información sobre su ambiente de trabajo, pueden manejar las máquinas de forma más segura [3].

Actualmente existen sistemas basados en cámaras y radares que entregan información importante al operador, dichos sistemas funcionan bajo determinadas condiciones, por ejemplos las cámaras sufren pérdida de visión por el polvo generado, la lluvia o neblina condiciones ambientales en el área de extracción, así como los radares.

Otra forma de indicar la presencia de vehículos livianos (camionetas, furgones, etc.) a los operadores de equipos pesados (camiones de acarreo, palas eléctricas, etc.) es por mensaje vía radial, pero el denso tráfico vía radio provoca que el operador no escuche el mensaje.

La solución que se plantea con el presente proyecto de tesis propone una alternativa frente al actual sistema de prevención, optimizando la seguridad y el flujo de tránsito en área. Si bien el sistema no impide la ocurrencia de un accidente si puede reducir considerablemente la tasa de incidentes y accidentes.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Los accidentes que involucran camiones de acarreo y que derivan en aplastamientos de camionetas, choques en maniobras de acuatamiento, etc. Repercuten en el proceso productivo teniendo un coste derivado por el accidente.

Los costos derivados de la ocurrencia de accidentes, se pueden dividir en:

- Costos humanos, que están constituidos por el dolor, sufrimiento, la invalidez resultante, las muertes y en definitiva todo el daño que sufre las personas.

- Costos económicos, formado por todos los gastos y pérdidas que origina el accidente, gastos por pérdidas de horas de trabajo (detención de procesos productivos), la asistencia médica a las lesiones, rotura o deterioro de materiales y equipos.

Los sistemas de prevención de colisión planteados hoy en día, solo ofrecen información a los conductores de equipos pesados, omitiendo a los conductores de vehículos livianos contribuyendo a la ocurrencia de accidentes.

La presente tesis permitirá brindar información a los conductores de equipos livianos como equipos pesados, sobre la posición de cada equipo conectado a la red inalámbrica reduciendo la probabilidad de la ocurrencia de un accidente, así como las consecuencias mencionadas anteriormente y mejorar el tráfico en las vías del tajo.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo principal

Diseñar e implementar un sistema prototipo de prevención y alerta de accidentes de tránsito en área mina, basado en comunicación inalámbrica y controlada por lógica difusa.

1.4.2 Objetivo secundario

- Implementar redes inalámbricas locales independientes, en la banda de 2.4 GHz para la comunicación e intercambio de datos entre vehículos pesados y livianos.
- Diseñar un software de control y administración de datos, basado en lógica difusa el cual nos permite hacer uso de varias variables de entrada y salidas, dando como resultado las ubicaciones de cada equipo conectado en la red local.
- Implementar en cada vehículo liviano y pesado un equipo interfaz humano-máquina (HMI – laptop o Tablet) no invasivo, que permitirá conocer a los conductores la posición de los equipos alrededor del área y visualización de alarmas.
- Implementar un sistema de prevención de accidentes de instalación fácil en vehículos livianos cuya presencia en área mina no sea constante.

1.5 ALCANCE

La tesis presentada propone un sistema factible para un tránsito seguro para la operación minera Sociedad Minera Cerro Verde de tajo abierto. Este sistema ayudará a gestionar una mayor fluidez en las unidades vehiculares.

El sistema contribuirá de forma activa y de manera no invasiva, a una mejor conducción, así como permitirá conocer el estado de la unidad vehicular mejorando la seguridad en área mina.

1.6 HIPÓTESIS

1.6.1 Hipótesis principal

Dada la problemática que se origina en equipos pesados por los puntos ciegos es posible maximizar el rango de visibilidad del operador de los equipos pesados (camiones de acarreo, palas eléctricas, etc.), a través de una comunicación inalámbrica entre unidades en el área de trabajo.

1.6.2 Hipótesis Secundaria

Es posible reducir el número de incidentes o accidentes en el área mina, mediante la comunicación activa entre las unidades vehiculares y los equipos pesados ubicados en una misma área de trabajo.

1.7 VARIABLES

1.7.1 Variables independientes

Distancia mínima segura entre equipos de acuerdo con la velocidad y ubicación.

1.7.2 Variables dependientes

- Estabilidad de comunicación inalámbrica.
- Intercambio de datos entre equipos pesados y livianos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 REDES INALÁMBRICAS

Las redes inalámbricas de carácter libre, están diseñadas para operar en bandas de frecuencia para las que no se necesita licencia de uso, las bandas de 2.4 GHz y de 5 GHz. Pero dichas bandas de frecuencias son utilizadas por distintas tecnologías (Wifi, Bluetooth, etc.) causando problemas de interferencias. Las redes inalámbricas permiten ser instaladas en áreas complicadas donde se pueden conectar gran cantidad de dispositivos y en lugares donde resulta dificultoso su implementación [3].

Clasificación de acuerdo a su alcance:

2.1.1 Tipos de redes inalámbricas:

2.1.1.1 Redes inalámbricas de área personal o WPAN (Wireless Personal Area Network)

Son redes que comúnmente cubren distancias del orden de los 10 m como máximo, la finalidad de estas redes es la comunicación entre cualquier dispositivo personal (ordenador, impresora) con sus periféricos, así como permitir una comunicación directa a corta distancia entre los dispositivos. Una conexión basada en una WPAN involucra muy poca o nula infraestructura.

Algunas tecnologías que utilizan este tipo de redes son Bluetooth, DECT y los infrarrojos [4].

Esta comunicación de dispositivos peer-to-peer normalmente no requiere de altos índices de transmisión de datos [5].

2.1.1.2 Redes inalámbricas de área local o WLAN (Wireless Local Area Network)

Redes enfocadas para crear un entorno de red local entre ordenadores o terminales situados en una misma área [4].

Redes que cubren distancias entre 10 – 100 metros con una menor potencia de transmisión que a menudo permite el uso de bandas de frecuencia sin licencia [5].

Características:

- **Movilidad:** Permite transmitir información en tiempo real en cualquier lugar a cualquier usuario.
- **Facilidad de instalación:** Al no usar cables se evitan obras mejorando el aspecto y permitiendo el acceso a usuarios temporales de la red.
- **Flexibilidad:** Llegar donde el cable no puede, superando el mayor número de obstáculos.
- **Escalabilidad:** Las redes inalámbricas pueden ser configuradas en una variedad de topologías para satisfacer las necesidades de las instalaciones y aplicaciones específicas [5].

2.1.1.3 Redes inalámbricas de área metropolitana (Wireless Metropolitan Area Network)

Estas redes cubren el área de una ciudad o entorno metropolitano. Tienen una cobertura de 4 a 10 kilómetros [4]. Las WMAN se basan en el estándar IEEE 802.16, dichas redes ofrecen una velocidad total efectiva de 1 a 10 Mbps.

La mejor red inalámbrica de área metropolitana es WIMAX, que puede alcanzar una velocidad aproximada de 70 Mbps en un radio de varios kilómetros [5].

2.1.1.4 Redes inalámbricas de área global o WWAN (Wireless Wide Area Network)

Redes inalámbricas de área extensa, sistemas basados en la tecnología celular y tienen la posibilidad de cubrir un país entero. La tecnología WWAN se conoce también como sistemas de segunda generación (2G), de tercera generación (3G), de cuarta generación (4G) o los actuales sistemas (5G) [4].

Tabla 1. Comparativa de Tecnologías inalámbricas.

Tipo de red	WWAN (Wireless Wide Area Network)	WMAN (Wireless Metropolitan Area Network)	WLAN (Wireless Local Area Network)	WPAN (Wireless Personal Area Network)
Estándar	GSM/GPRS/U MTS	IEEE 802.16	IEEE 802.11	IEEE 802.15
Denominación/ Certificación	2G/3G	WiMAX	Wifi	Bluetooth, Zigbee
Velocidad	9.6/170/2000 Kb/s	15-134 Mb/s	1-2-11-54-300 Mb/s – 1 Gb/s	721 Kb/s
Frecuencia	0.9/1.8/2.1 GHz	2-66 GHz	2,4 y 5 GHz Infrarrojos	2.4 GHz
Rango	Limitado por células (máx.35 Km por célula)	1.6-50 Km	30-150 m	10 m
Técnica radio	Varias	Varias	FHSS, DSSS, OFDM	FHSS
Itinerancia (Roaming)	Si	Si (802.16e)	Si	No
Equivalente a:	Conexión. teléf. (modem)	ADSL, CATV	LAN	Cables de conexión

Fuente: M. Moreno Martin, Análisis diseño y despliegue de una red Wifi en Santillana del Mar (2015).

2.1.2 Estándares IEEE 802.11

La familia de estándares de redes WLAN IEEE 802.11 ha sido la causa de la incorporación y el desarrollo rápido de las redes WLAN en el mercado [4].

2.1.2.1 IEEE 802.11b

El estándar 802.11b funciona en la banda de frecuencia de 2.4 GHz, alcanza una velocidad de 11 Mbps, trabaja con DSSS a nivel de capa física e implementa a nivel de capa de enlace el “Acceso múltiple por detección de portadora con evitación de colisiones (CSMA/CA) [5].

Tabla 2. Características principales del protocolo 802.11b

Características	
Publicada	1999
Velocidad	1, 2, 5.5, 11 Mbps
Modulación	DSSS
Banda de frecuencia	2.4 GHz
Canal de operación	1.6 y 11,

Fuente: Julyeth J. Barbosa, Daniel F. Orjuela, Diseño de la red inalámbrica Wifi para la empresa PROCIBERNETICA (2010).

Tabla 3. Velocidad vs Distancia en 802.11b

Velocidad	Rango (Ambiente cerrado)	Rango (Aire libre)
11 Mbit/s	50 m	200 m
5.5 Mbit/s	75 m	300 m
2 Mbit/s	100 m	400 m
1 Mbit/s	150 m	500 m

Fuente: Julyeth J. Barbosa, Daniel F. Orjuela, Diseño de la red inalámbrica Wifi para la empresa PROCIBERNETICA (2010).

2.1.2.2 IEEE 802.11a

Trabaja en la banda de 5GHz, y utilizar la técnica OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) con 52 subportadoras. Este estándar tiene doce canales sin solapa, 8 para red inalámbrica y 4 para conexiones punto a punto [4].

La gran ventaja es que se consiguen velocidades de 54 Mbps, llegando a alcanzar los 72 y 108 Mbps [5].

Tabla 4. Características principales del protocolo 802.11a

Características	
Publicada	1999
Velocidad	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps
Modulación	OFDM
Banda de frecuencia	5.0 GHz
Canal de operación	Cada banda tiene 4 canales

Fuente: Julyeth J. Barbosa, Daniel F. Orjuela, Diseño de la red inalámbrica Wifi para la empresa PROCIBERNETICA (2010).

Tabla 5. Velocidad vs Distancia en 802.11a

Velocidad	Rango
54 Mbit/s	10 m
48 Mbit/s	17 m
36 Mbit/s	25 m
24 Mbit/s	30 m
12 Mbit/s	50 m
6 Mbit/s	70 m

Fuente: Julyeth J. Barbosa, Daniel F. Orjuela, Diseño de la red inalámbrica Wifi para la empresa PROCIBERNETICA (2010).

2.1.2.3 IEEE 802.11g

El estándar 802.11g provee de mayor ancho de banda, con una velocidad hasta de 54 Mbps. Sin embargo, los puntos de acceso que soportan el estándar 802.11b necesitan una mejora de hardware para poder soportar el estándar 802.11g, pues pertenece a una técnica de modulación totalmente distinta [5].

Es compatible con el protocolo 802.11b y 802.11a cambiando la configuración de los equipos. Esto es debido a que 802.11g, puede operar con las tecnologías OFDM y DSSS [4].

Tabla 6. Características principales del protocolo 802.11g

Características	
Publicada	Junio 2003
Velocidad	1, 2, 5.5, 11 Mbps con DSSS 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps con OFDM
Modulación	DSSS y OFDM
Banda de frecuencia	2.4 GHz
Canal de operación	1, 6 y 11

Fuente: Julyeth J. Barbosa, Daniel F. Orjuela, Diseño de la red inalámbrica Wifi para la empresa PROCIBERNETICA (2010).

Tabla 7. Velocidad vs Distancia 802.11g

Velocidad	Rango (Ambiente cerrado)	Rango (Aire libre)
54 Mbit/s	27 m	75 m
48 Mbit/s	29 m	100 m
36 Mbit/s	30 m	120 m
24 Mbit/s	42 m	140 m
18 Mbit/s	55 m	180 m
12 Mbit/s	64 m	250 m
9 Mbit/s	75 m	350 m
6 Mbit/s	90 m	400 m

Fuente: Julyeth J. Barbosa, Daniel F. Orjuela, Diseño de la red inalámbrica Wifi para la empresa PROCIBERNETICA (2010).

2.1.2.4 IEEE 802.11n

La base de su funcionamiento es la incorporación de varias antenas que permiten utilizar varios canales para enviar y recibir datos simultáneamente, mejorando de forma sustancial la señal recibida por el receptor y multiplicándose de esta forma el ancho de banda utilizando. Esto es lo que se conoce como la tecnología MIMO (Multiple Input Multiple Output) [4].

Cambios relevantes como:

- **Incremento del canal de transmisión:** Usa canales con un ancho de banda de 20 MHz y 40 MHz. Un canal de 40 MHz está formado por una combinación de dos canales de 20 MHz adyacentes. La unión de canales aumenta la velocidad de transmisión de datos debido a que la velocidad de transmisión de datos es directamente proporcional al ancho de banda [4].
- **Alta tasa de modulación:** El estándar 802.11n usa la modulación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) que divide un canal de transmisión en varios subcanales, teniendo cada subcanal su propia subportadora que transporta información independientemente de las otras portadoras.

El aumento de ancho de banda de los canales de 802.11n a 40 MHz proporciona más portadoras, traducándose en un aumento de la velocidad de transmisión de hasta 600 Mbps [4].

- **Reducción de cabeceras (intervalo de guarda):** Se utiliza para asegurarse de que no interfieran las diferentes transmisiones entre ellas [4].

2.1.2.5 IEEE 802.ac

Mejora de la norma 802.11n desarrollado entre 2012 y 2013, permite unas tasas de transferencia de 1 Gbps en la banda de 5 GHz, un ancho de banda hasta 160 MHz, hasta ocho flujos MIMO y modulación de alta densidad [4].

Tabla 8. Estándares IEEE 802.11

Protocolo	Año	Frecuencia	Ancho de banda	Velocidad (típica)	Velocidad máxima	Alcance interior	Alcance exterior
802.11b	1999	2.4 GHz	20 MHz	6.5 Mbps	11 Mbps	~100 m	~200 m
802.11a	1999	5 GHz	20 MHz	25 Mbps	54 Mbps	~70 m	~70 m
802.11g	2003	2.4 GHz	20 MHz	25 Mbps	54 Mbps	~38 m	~140 m
802.11n	2009	2.4-5 GHz	20 – 40 MHz	200 Mbps	600 Mbps	~70 m	~250 m
802.11ac	2012	5 GHz	20,40,50, 160 MHz	-	>1 Gbps	~70 m	~250 m

Fuente: M. Moreno Martin, *Análisis diseño y despliegue de una red Wifi en Santillana del Mar* (2015).

2.1.3 Bandas de frecuencias de las redes Wifi

2.1.3.1 Banda 2.4 GHz

El ancho de banda por canal en la banda de 2.4 GHz es de 22 MHz y la separación entre ellos es de 5 MHz. Esto hace que se produzca un solapamiento de todos los canales con sus adyacentes [5].

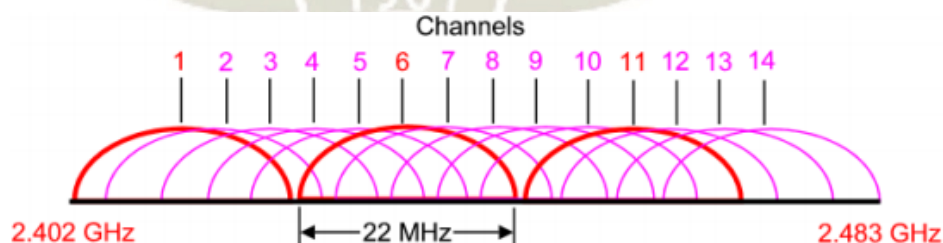


Figura 1. Canales en la banda de 2.4 GHz.

Fuente: M. Moreno Martin, *Análisis diseño y despliegue de una red Wifi en Santillana del Mar* (2015).

Por lo tanto, la configuración de los Access Point (AP) se debe configurar en canales más separados.

2.1.3.2 Banda 5 GHz

La banda de 5 GHz está conformada por 4 bandas de frecuencias únicas y un total de 23 canales de 20 MHz que no se superponen, esta banda de 5 GHz ofrece mucha más capacidad espectral para las redes Wifi.

Esto facilita una mayor separación entre puntos de acceso que operan en el mismo canal y permiten un mejor plan de reutilización de frecuencias [6].

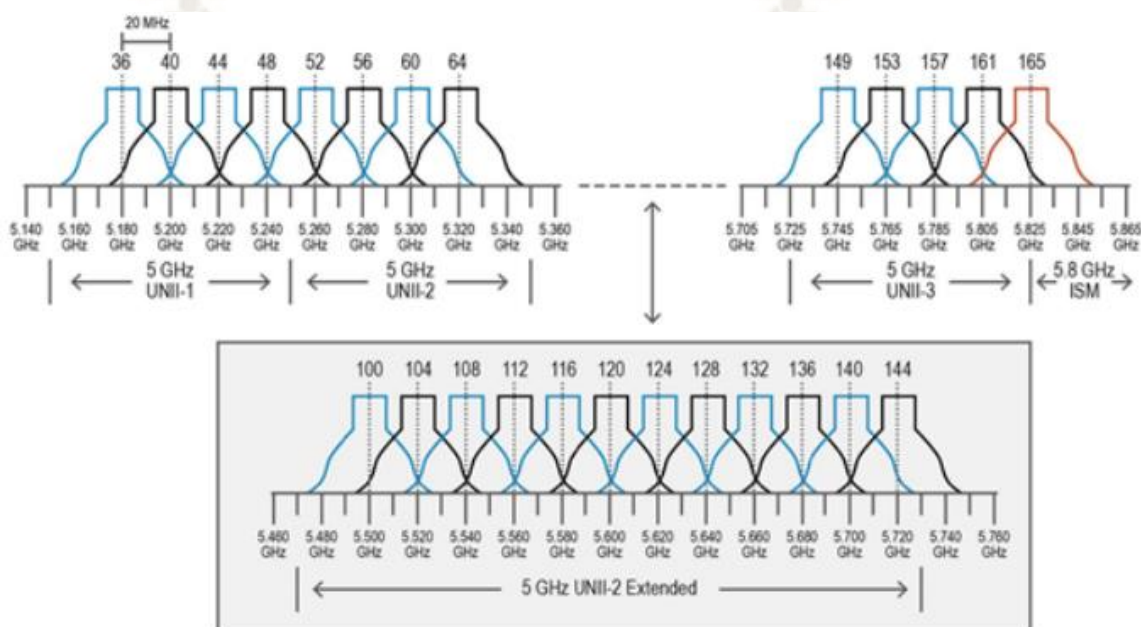


Figura 2. Relación de canales en el espectro de 5 GHz.

Fuente: Hometech, Como diseñar una red Wifi (2019).

La banda de 5 GHz dispone de un mayor ancho de banda que la de 2.4 GHz y presenta un menor nivel de interferencia, ya que en la banda de 5GHz existen menos servicios. Los canales tienen un ancho de banda de 16.6 MHz y están separados 20 MHz. El espectro de ningún canal se solapa [4].

Tabla 9. Banda de frecuencia 5 GHz.

Banda de frecuencia (MHz)	Número canal	Frecuencia Central	CNAF
5150-5250	36	5180	Si
	40	5200	Si
	44	5220	Si
	48	5240	Si
5250-5350	52	5260	Si
	56	5280	Si
	60	5300	Si
	64	5320	Si
5470-5725	100	5500	Si
	104	5520	Si
	108	5540	Si
	112	5560	Si
	116	5580	Si
	120	5600	Si
	124	5620	Si
	128	5640	Si
	132	5660	Si
	136	5680	Si
5725-5825	140	5700	Si
	149	5745	Si
	153	5785	Si
	157	5785	Si
	161	5805	Si

Fuente: M. Moreno Martin, *Análisis diseño y despliegue de una red Wifi en Santillana del Mar* (2015).

2.1.3.3 Consideraciones

Para el solapamiento los dispositivos Wireless usan dos tipos diferentes de estrategias para resolverlos.

2.1.3.3.1 FH o FHHS (Espectro expandido por salto de frecuencia)

Esta técnica consiste en dividir la banda de frecuencia en una serie de canales e r transmitiendo la información saltando de un canal a otro de acuerdo con un patrón de saltos (Hopping code). El orden en los saltos en frecuencia se determina según una secuencia pseudoaleatoria almacenada en unas tablas que tiene que ser conocido tanto por el emisor como por el receptor. El máximo tiempo que se debe

permanecer en cada frecuencia es de 400 ms, es decir, pasado ese tiempo se cambia la frecuencia de emisión y se sigue transmitiendo a otra frecuencia. Esta técnica utiliza la zona de los 2.4 GHz, organizada en 79 canales con un ancho de banda de 1 MHz cada uno. La técnica FHSS sería equivalente a una multiplexación en frecuencia [4].

2.1.3.3.2 DS o DSSS (Espectro ensanchado por secuencia directa)

Esta técnica genera un patrón de bits redundante para cada uno de los bits que componen la señal. Se basa en sustituir cada bit de información por cada secuencia de bits conocida como código de chips (chipping code). Estos códigos de chips permiten a los receptores eliminar por filtrado las señales que no utilizan la misma secuencia de bits, como el ruido y las interferencias. Cuanto mayor sea este patrón de bits, mayor será la resistencia de la señal a las interferencias. El estándar IEEE 802.11 recomienda un tamaño de 11 bits, pero el óptimo es de 100. Aunque parte de la señal de transmisión se vea afectada por las interferencias, en recepción es necesario realizar el proceso inverso para obtener la información original [4].

2.1.4 Elementos básicos de una red

2.1.4.1 Punto de Acceso (Access Point, AP)

Dispositivo que gestiona la información transmitida y hace llegar al destino, por medio de ondas de radiofrecuencia (RF) recibe información de diferentes dispositivos y la transmite a través del cable al servidor de la red cableada o viceversa [5].

Tipos de Puntos de Acceso:

- **Puntos de Acceso Básicos:** Fáciles de configurar y gestionar, económicos y no presentan mayores problemas de compatibilidad entre fabricantes.
- **Puntos de Acceso Robustos:** Incorporan funciones adicionales de gestión y seguridad como, firewall y filtrado de tráfico, ajuste de potencia, administración de recursos de radiofrecuencia, etc. Estos equipos son comunes en implementaciones a nivel empresarial [5].

Consideraciones a tener en cuenta:

- **Estándares de trabajo:** Compatibilidad de estándares que soporta el punto de acceso.
- **Potencia de transmisión:** Factor importante para garantizar la mayor zona de cobertura. Los equipos actuales garantizan una potencia de 18 mili vatios a 200 mili vatios.
- **Equipos para interiores o exteriores:** De acuerdo con el área de cobertura y a las necesidades de la aplicación [5].

2.1.4.2 Antenas:

La velocidad de transmisión de una conexión inalámbrica depende del nivel de potencia del punto de Acceso y de la sensibilidad del dispositivo receptor. Para incrementar la velocidad de transmisión se debe incluir una o varias antenas de ganancia, de esta forma la potencia y la calidad de la señal mejoran considerablemente [5].

Tipo de antenas

- **Omnidireccionales:** Transmiten en todas las direcciones en un radio de 360 grados, por lo que su alcance es generalmente menor que otros tipos de antenas.
- **Direccionables:** Transmiten en una dirección determinada, de esta manera su haz potente y su alcance es mayor. Principalmente utilizadas en conexiones punto a punto.
- **Sectoriales:** Transmiten en una dirección, pero no tan enfocadas como antenas directivas, su alcance es mayor que las antenas omnidireccionales [5].

2.1.4.3 Adaptadores inalámbricos:

Son fundamentalmente unas estaciones de radio, se encargan de comunicarse con otros adaptadores (modo ad hoc) o con un punto de acceso (modo infraestructura)

para mantener a los dispositivos que están conectados dentro de la red inalámbrica a la que se asocie [4].

2.1.5 Configuraciones de red

Las redes inalámbricas Wifi admiten dos tipos de configuraciones desde el punto de vista del tipo de equipamiento [4].

2.1.5.1 Modo Ad hoc:

Configuración en la cual solo se necesita disponer de tarjetas o dispositivos inalámbricos Wifi en cualquier equipo susceptible de ser conectado a la red. La red ad hoc no depende de una infraestructura preexistente, como routers (redes cableadas) o de puntos de acceso (redes inalámbricas). Este tipo de red permite la adhesión de nuevos dispositivos, con el solo hecho de estar en el rango de alcance de un nodo ya perteneciente a la red establecida.

El inconveniente de este tipo de redes radica en el número de saltos que debe recorrer la información antes de llegar a su destino, cuantos más saltos, mayor es el tiempo que tarda en llegar la información a su destino y aumenta la probabilidad de que la información se corrompa con cada salto [4].

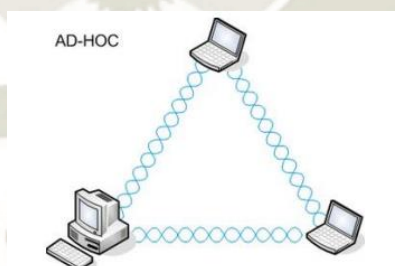


Figura 3. Modo AD-HOC.

Fuente: M. Moreno Martin, Análisis diseño y despliegue de una red Wifi en Santillana del Mar (2015).

2.1.5.2 Modo infraestructura:

Además de las tarjetas Wifi se necesita disponer de un Punto de Acceso (AP). Cada estación informática se conecta a un punto de acceso a través de un enlace

inalámbrico, la configuración formada por el punto de acceso y las estaciones ubicadas dentro del área de cobertura se llama conjunto de servicio básico o BSS.

Estos forman una célula, cada BSS se identifica a través de un BSSID que en modo infraestructura corresponde al punto de acceso de la dirección MAC [4].

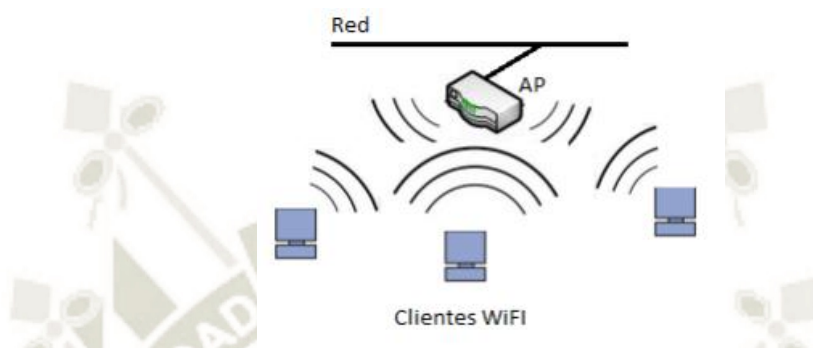


Figura 4. Modo infraestructura.

Fuente: M. Moreno Martin, Análisis diseño y despliegue de una red Wifi en Santillana del Mar (2015).

Es posible vincular varios puntos de acceso juntos (BSS) con una conexión llamada sistema de distribución (SD) para formar un conjunto de servicio extendido o ESS. Un ESS se identifica a través de un ESSID (Identificador del conjunto de servicio extendido), a menudo abreviado como SSID, que muestra el nombre de la red [4].

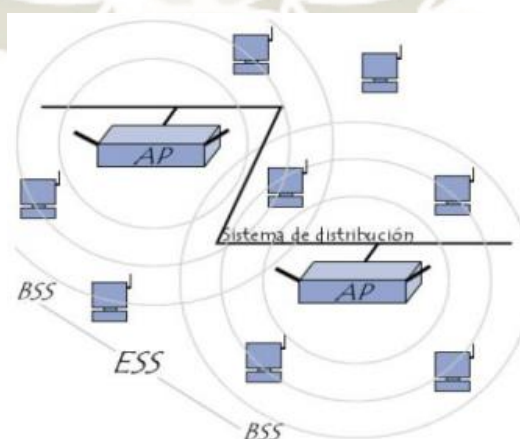


Figura 5. Modo infraestructura - Varios AP's.

Fuente: M. Moreno Martin, Análisis diseño y despliegue de una red Wifi en Santillana del Mar (2015).

2.1.6 Consideraciones para una red inalámbrica

2.1.6.1 Pérdidas de señal:

Las ondas de radiofrecuencia (RF) transmitidas por las redes inalámbricas son atenuadas e interferidas por diversos obstáculos y ruidos. A medida que una estación móvil se va alejando de un punto de Acceso la potencia de la señal y velocidad de transmisión van decreciendo [5].

Factores de atenuación e interferencia más importantes:

- Tipo de construcción del área o edificio.
- Dispositivos inalámbricos como teléfonos y equipos bluetooth.
- Elementos metálicos como puertas y armarios.
- Microondas.
- Humedad ambiental [5].

2.1.6.2 Roaming:

El roaming es la capacidad de una estación móvil de desplazarse físicamente sin perder comunicación. Para permitir la itinerancia o roaming a los usuarios móviles es necesario colocar los Puntos de Acceso de tal manera que exista una superposición (overlapping) de aproximadamente el 15 % entre los diversos radios de cobertura [4].

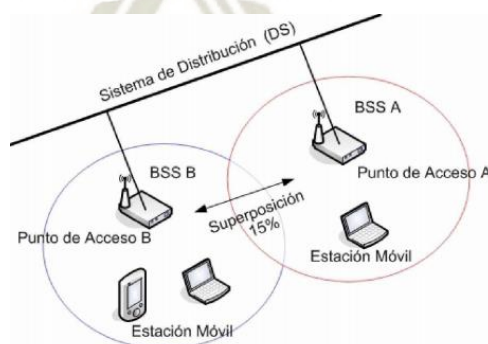


Figura 6. Roaming entre dos zonas de cobertura.

Fuente: Julyeth J. Barbosa, Daniel F. Orjuela, Diseño de la red inalámbrica Wifi para la empresa PROCIBERNETICA (2010).

2.1.6.3 Capacidad y cobertura:

Los usuarios conectados a un Punto de Acceso deben compartir la capacidad de datos, a mayor número de usuarios conectados menor será la capacidad disponible para cada uno.

Cuanto más fuerte es la señal de radiofrecuencia de un Punto de Acceso mayor será el área de cobertura. El diseño de una red Wifi consiste en definir microceldas que permiten una mayor cobertura que con una celda grande [4].

El alcance de la señal de una red Wifi dependerá de:

- Potencia de emisión del Punto de Acceso.
- Ganancia del dispositivo Wifi del usuario inalámbrico.
- Obstáculos y pérdidas de señal [5].

2.1.7 Seguridad de las redes Wifi

La seguridad de las redes Wifi, puede ser comprometida en dos aspectos: autenticación y cifrado. Los mecanismos de autenticación se emplean para identificar un usuario ante un punto de acceso y viceversa, mientras que los mecanismos de cifrado aseguran que no sea posible decodificar el tráfico de usuario [4].

Los protocolos del nivel de enlace desarrollados específicamente para dotarlas de seguridad son:

2.1.7.1 WEP (Wired Equivalent Privacy):

Es el mecanismo de cifrado básico opcional definido en el estándar IEEE 802.11. Utiliza el algoritmo de cifrado RC4 (Riverst Cipher 4), para cifrar todos los datos que se intercambian entre los clientes y el punto de acceso.

RC4 consiste en generar una clave de forma pseudoaleatoria que tiene la misma longitud que el texto original. A esta clave y al texto original se le aplica la operación lógica XOR, obteniendo como resultado un texto cifrado. La clave pseudoaleatoria se genera utilizando una clave secreta que define el propio usuario

con una longitud de 40 o 104 bits y un vector de inicialización de 24 bits que lo genera aleatoriamente el sistema para cada trama [7].

2.1.7.2 WPA (Wire Protect Access):

Este protocolo implementa mejoras sobre el protocolo WEP:

- Autenticación del usuario mediante el IEEE 802.1x (control de acceso a red basada en puertos).
- Soluciona la debilidad del vector inicialización de WEP mediante la inclusión de vectores de doble longitud (48 bits).
- Utiliza un intercambio dinámico de claves mediante el protocolo TKIP (Temporal Key Integrity Protocol).
- El algoritmo de cifrado utilizado por WPA sigue siendo RC4 como en WEP, pero para comprobar la integridad de los mensajes, se cambió el código de detección de errores CRC-32 por uno nuevo llamado MIC (Message Integrity Code) [7].

2.1.7.3 WPA2:

Incluye el intercambio dinámico de la clave, un cifrado mucho más fuerte, y la autenticación de usuario, añadiendo las mejoras siguientes:

Nuevo algoritmo de cifrado AES (Advanced Encryption Standard), se trata de un algoritmo de cifrado de bloque simétrico. Utiliza el protocolo CCMP (Counter Mode with Cipher Block Chaining Message Authentication Code Protocol) para asegurar la integridad y la autenticidad de los mensajes [7].

2.1.8 Propagación de la señal

La propagación de las señales RF es influida por cientos de factores como paredes, suelo, obstáculos varios y el ruido en el ambiente que tienden a reflejar la señal, esto dificulta el proceso de demodulación haciendo que las características del canal varíen dinámicamente con el tiempo.

Estos factores dificultan el cálculo de un rango para el alcance máximo del área de cobertura. Visto de otra forma, una vez que la señal ha sido transmitida viaja por el aire hasta alcanzar al receptor, durante el viaje, la señal va perdiendo potencia debido a dos factores: la propagación de la señal y los obstáculos que se encuentran en su camino [8].

2.1.9 Modelos de propagación

Los modelos de propagación predicen la pérdida por trayectoria que una señal de RF pueda tener entre una estación base y un receptor sea móvil o fijo. La ventaja de modelar radio canales teniendo en cuenta las características de la trayectoria entre Transmisor (Tx) y Receptor (Rx), es conocer la viabilidad de los proyectos y permite decidir cómo y en donde debemos colocar los Access Point (AP) para generar las células de cobertura utilizando la misma frecuencia en un área común sin causar interferencia entre ellos.

La mayoría de los modelos de propagación toman en cuenta transmisiones al aire libre, diferentes aplicaciones sobre diferentes terrenos condiciones ambientales y algunos a situaciones específicas y no toman en cuenta la propagación en espacios interiores, es importante resaltar que ningún modelo puede satisfacer todas las situaciones ambientales, la mayoría de ellos predicen las pérdidas por trayectoria promedio [8].

2.1.9.1 Modelo COST 231 de paredes múltiples

Este modelo permite estimar la pérdida en la trayectoria, así como la pérdida en el espacio libre, las pérdidas introducidas por las paredes y pisos que tiene que atravesar la señal en la trayectoria directa entre Tx y Rx [8].

El modelo está definido por la fórmula 2.1.

$$L = L_{FS} + L_c + \sum K_{wi} L_{wi} + n^{\left(\frac{n+1}{(n+2)-b}\right)} * L_f \quad (2.1)$$

Donde:

L_{FS} = Pérdida en el espacio libre entre Tx y Rx.

L_c = Constante de pérdida.

K_{wi} = Número de paredes penetradas tipo i.

L_{wi} = Pérdidas en las paredes tipo i.

L_f = Pérdidas entre pisos adyacentes.

n = Número de pisos penetrados.

b = Constante empírica.

Nota 1: L_c normalmente es igual a 37 dB.

Nota 2: $n = 4$ para la mayoría de los ambientes.

Cuando se desee realizar el cálculo para un ambiente muy difícil “ n ” puede ser igual a 3.

A continuación, se presentan los valores típicos de las pérdidas contempladas en el modelo.

Tabla 10. Valores típicos de pérdidas en el modelo COST 231 de paredes múltiples.

Tipo de pérdida	Descripción	Valor (dB)
L_f	Tipos de pisos para oficinas Concreto reforzado Piso delgado < 30 cm Mosaicos y/o azulejos	18.3
L_{w1}	Paredes internas delgadas Plafón Paredes con muchas ventanas	3.4
L_{w2}	Paredes internas gruesas Concreto y/o ladrillo	6.9

Fuente: M. Arguello, J. Mata, I. Navarrete, *Propuesta de análisis y diseño de la red inalámbrica en la DCYC del instituto Politécnico Nacional (2009)*.

Sustituyendo valores de la fórmula 2.1

$$L(R) = 37 + 30\log(R) + 18.3n^{\left(\frac{n+1}{(n+2)-0.46}\right)} \quad (2.2)$$

Donde:

R =Distancia entre Tx y Rx en metros.

n =Cantidad de pisos en la trayectoria.

Cuando solo nos interesa calcular la propagación en una sola área interior sin paredes que la dividan la parte de penetración entre paredes y pisos pueden eliminarse quedando como sigue:

$$L(R) = 37 + 30\log(R)dB \quad (2.3)$$

2.1.9.2 Modelo de propagación en espacio libre

Este modelo puede ser utilizado en el diseño de WLANs en lugares donde no existen obstáculos, tales como áreas verdes, bibliotecas, salas de estar, etc. Se utiliza cuando entre el Tx y Rx hay una línea de vista clara, y por lo tanto la potencia recibida disminuye en función de la distancia entre Tx y Rx a medida que aumenta la distancia disminuye la potencia [8].

Este modelo esta dado por la ecuación de Friss:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \quad (2.4)$$

Donde:

$P_r(d)$ =Potencia recibida.

P_t =Potencia transmitida.

A_t o G_t =Ganancia de la antena Tx (cantidad adimensional).

A_r o G_r =Ganancia de la antena Rx.

L =Factor de pérdidas no relacionado con la propagación.

λ =longitud de onda.

La pérdida en la trayectoria representa la atenuación de la señal, medida en dB la ecuación 2.4 nos hace ver que la potencia de la señal es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre Tx y Rx. Se pueden mencionar otros parámetros como la ganancia de la antena, cuya ecuación está dada por:

$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} \quad (2.5)$$

La apertura efectiva de la antena A_e está relacionada directamente con el tamaño de la antena y λ que es la longitud de onda. Las pérdidas por trayectoria en un sistema son regularmente de las antenas, lo cual provoca tener una ecuación más sencilla:

$$L_p(dB) = 20 \log d + 20 \log f - 10 \log G_t - 10 \log G_r - 147.55 \text{ dB} \quad (2.6)$$

Cuando se excluyen las ganancias de las antenas, se toma una ganancia unitaria para el sistema con lo que la ecuación queda de la siguiente manera.

$$P_L(dB) = 10 \log \left(\frac{P_t}{P_r} \right) = -10 \log \left(\frac{\lambda^2}{(4\lambda)^2 \cdot d^2} \right) \quad (2.7)$$

Cuando la potencia recibida a una distancia (d_0 = distancia de referencia) es conocida, la siguiente ecuación puede usarse para encontrar la potencia a una distancia mucho mayor:

$$P_r(d) = P_r(d_0) + 20 \log \left(\frac{d_0}{d} \right) \quad (2.8)$$

Esta ecuación puede convertirse para calcular la pérdida en la trayectoria:

$$P(d) = P(d_0) + 20 \log \left(\frac{d_0}{d} \right) \quad (2.9)$$

La ecuación del modelo de Friss solo es válida para predecir valores de la potencia recibida (P_r) para valores de distancia que se encuentran en la región de far-field de la antena transmisora.

La región far-field o región de Fraunhofer se define como la distancia más lejana de la distancia d_t la cual se relaciona con la dimensión mayor de la apertura numérica de la antena transmisora y con la longitud de onda de la señal portadora [8].

2.1.9.3 Expresión matemática de pérdidas de potencia empírica

Para el modelado matemático de las pérdidas de potencia en la propagación, se aplica la expresión matemática logarítmica que describe de manera general la atenuación de potencia en el espacio libre con una variable aleatoria x_σ , la cual

incluye la atenuación de la señal en entornos abiertos debido a pequeños obstáculos:

$$L(d) = Lf(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + x_\sigma \quad (2.10)$$

Se puede observar en la ecuación la presencia de una potencia de referencia $Lf(d_0)$, esta corresponde a la potencia medida a un metro de distancia del AP, y sirve de referencia para calcular la atenuación [9].

Donde:

$L(d)$ = Potencia en función a la distancia.

$Lf(d_0)$ = Representa la potencia de referencia del enlace en dB cuando el receptor-transmisor está a una distancia de 1 metro ($d_0 = 1$).

d/d_0 = Establece la distancia entre receptor y transmisor.

n = Representa las pérdidas en el enlace por el medio ambiente.

x_σ : es un proceso aleatorio siguiendo una ley log-normal y de desviación o dependiente del entorno que representa el grado de desvanecimiento de nivel de potencia (shadow fading) presente en el medio ambiente en dB y donde se incluye el factor de densidad poblacional.

Tabla 11. Valores de n para diferentes ambientes.

Medio ambiente	Valor de perdida n
Espacio libre	2
Radio celular de área urbana	2.7 – 3.5
Radio celular shadowed urban	3 – 5
Línea de visión de edificaciones	1.6 – 1.8
Obstrucción por edificación	4 – 6
Obstrucción por fabricas	2 – 3

Fuente: J. Marín Alfonso, *Modelo de propagación empírico para predicción de pérdidas de potencia en señales inalámbricas bajo el estándar IEEE 802.11B/G (2009)*.

2.2 SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es un sistema compuesto por una red de satélites, radio bases terrestres y receptores GPS [10], que permiten determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona, un vehículo o una nave [11].

Sistemas principales:

- Sistema satelital o espacial.
- Sistema de control terrestre.
- Sistema del usuario [10].

2.2.1 Sistema Satelital o espacial

El sistema satelital es una constelación de 24 satélites denominada NAVSTAR que gira alrededor de la tierra en seis planos orbitales a unos 60° entre sí, con cuatro satélites en cada plano. Existe 21 satélites activos y 3 de reserva, en caso de falla de un satélite, uno de los de reserva puede ocupar lugar.

Los satélites Navstar no son geosíncronos, giran en torno a la tierra en órbitas circulares inclinadas. El ángulo de elevación en el nodo ascendente es 55° con respecto al plano ecuatorial. La elevación promedio de un Navstar es de unos 20200 Km sobre la tierra. Estos satélites tardan aproximadamente 12 horas en una revolución [10].

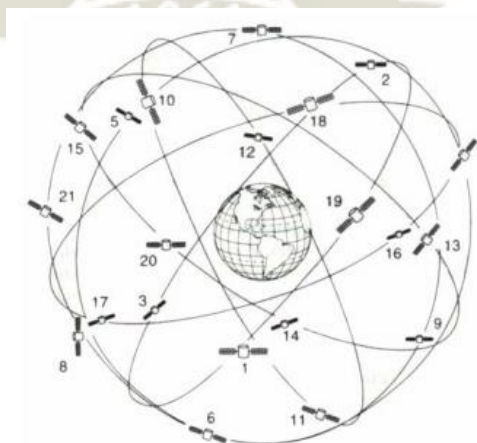


Figura 7. Constelación de satelites Navstar.

Fuente: C. Martínez Mozo, Adquisición de la posición de un vehículo utilizando GPS (2004).

2.2.2 Sistema de control terrestre o control de operación

El sistema de control de operación, incluye las estaciones monitoras terrestres fijas que se encuentran ubicadas en todo el mundo. Las estaciones monitoras no son más que receptores GPS que rastrean los satélites cuando pasan sobre ellas y acumulan datos de telemetría y efemérides (conocimiento preciso de la órbita de los satélites) de los mismos.

Esta información se transmite a una Estación de Control Maestro donde se procesa y determina si la posición real del satélite es igual a la calculada por el GPS [10].



Figura 8. Mapa de Estaciones terrestres.

Fuente: T. Giménez, M. Ros, *Sistema de posicionamiento global* (2010).

2.2.3 Sistema del Usuario

El sistema de usuario GPS consiste en todos los receptores GPS y la comunidad de usuarios. Los receptores GPS convierten las señales recibidas de los vehículos espaciales en estimaciones de posición, velocidad y tiempo [10].

Partes de las que consta un GPS:

- Antena con preamplificador.
- Sección de radiofrecuencia o canal.
- Microprocesador para reducción, almacenamiento y procesamiento de datos.
- Oscilador de precisión para la generación de los códigos pseudoaleatorios utilizados en la medición del tiempo de viaje de la señal.

- Fuente de energía eléctrica.
- Interfaces del usuario (pantalla, teclado de comandos).
- Memoria de almacenamiento [11].

2.2.4 Funcionamiento del sistema GPS

El sistema GPS funciona determinando cuanto tiempo tarda una señal de radio transmitida de un satélite en llegar al receptor en tierra y, con ese tiempo, calcula la distancia entre el satélite y el receptor de la estación terrestre. Las ondas de radio viajan a $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ si un receptor puede determinar con exactitud donde comenzó un satélite a mandar un mensaje de radio, y exactamente cuando recibió el mensaje, puede determinar el tiempo de propagación (retardo) [10].

A partir del tiempo de propagación, el receptor puede determinar la distancia entre él y el satélite, con la ecuación:

$$d = vxt \quad (2.11)$$

Donde:

d = distancia entre el satélite y el receptor (metros).

v = velocidad ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$).

t = tiempo de propagación (segundos).

El objetivo es determinar con exactitud cuando salió la señal de sincronización del satélite. Para determinar, el transmisor del satélite y el receptor de la estación terrestre producen códigos idénticos de sincronización (pseudoaleatorios) exactamente al mismo tiempo.

Cada satélite transmite en forma continua su código de sincronización precisa. Después de haber recibido un código de sincronización, un receptor solo lo compara con su propio código, producido en forma local, para determinar el tiempo de propagación. La diferencia de tiempo multiplicado por la velocidad de la señal de radio determina la distancia al satélite [10].

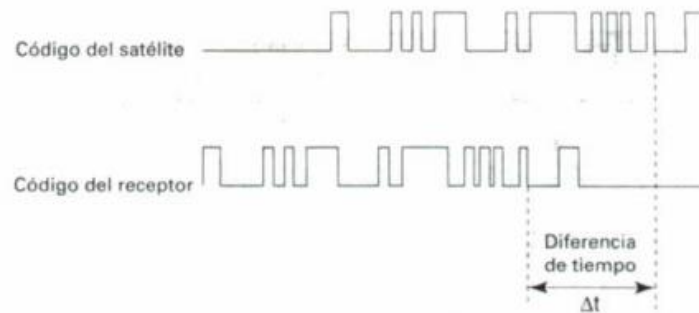


Figura 9. Código pseudoaleatorio de tiempo GPS.

Fuente: C. Martínez Mozo, *Adquisición de la posición de un vehículo utilizando GPS* (2004).

Para que un receptor en tierra determine su longitud y latitud, debe recibir señales de tres o más satélites, debido a que se tiene tres incógnitas X, Y y Z que son las coordenadas que determinan la posición del receptor. Cada satélite envía al receptor su propio código pseudoaleatorio de sincronización (PRN) y su localización. La ubicación de un satélite se describe con un sistema tridimensional de coordenadas en relación con el centro de la tierra [10].

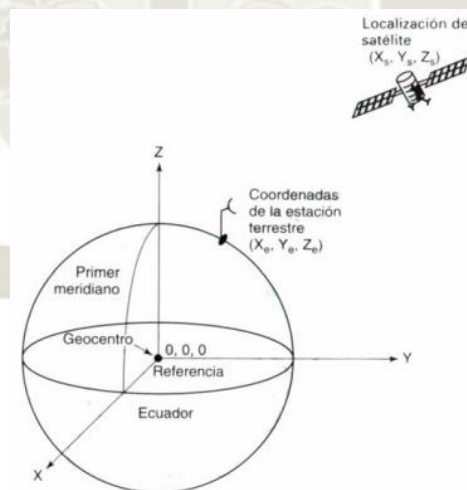


Figura 10. Sistema de Coordenadas GPS para el satélite y la estación receptora.

Fuente: C. Martínez Mozo, *Adquisición de la posición de un vehículo utilizando GPS* (2004).

El centro de la tierra es el punto de referencia y sus coordenadas son 0,0,0. Así, cada satélite tiene sus coordenadas X_s, Y_s, Z_s , que determinan su lugar con respecto al geocentro.

Sin embargo, las coordenadas de los satélites se deben actualizar en forma continua, ya que varían cuando los satélites recorren sus órbitas.

También, el lugar de una estación terrestre tiene coordenadas tridimensionales, $X_e Y_e Z_e$ referidas al centro de la tierra.

Si una estación terrestre receptora conoce la ubicación de un solo satélite y la distancia entre el satélite y ella, sabe que debe estar en algún lugar de una esfera imaginaria centrada en el satélite y con un radio igual a la distancia del satélite al receptor [10].

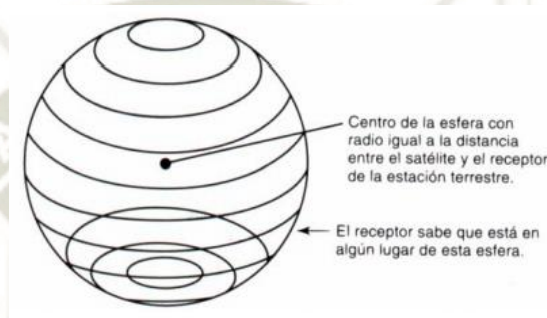


Figura 11. Ubicación de la estación receptora con respecto a un satélite.

Fuente: C. Martínez Mozo, Adquisición de la posición de un vehículo utilizando GPS (2004).

Si el receptor conoce el lugar de dos satélites, y sus distancias al receptor, sabe que su lugar está en algún del círculo formado por la intersección de las dos esferas.

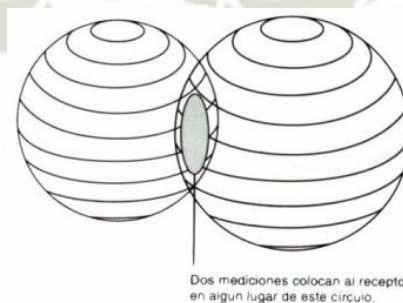


Figura 12. Ubicación de la estación receptora respecto a dos satélites.

Fuente: C. Martínez Mozo, Adquisición de la posición de un vehículo utilizando GPS (2004).

Si se conoce la ubicación y la distancia de un tercer satélite, el receptor puede ubicar su posición en uno de los dos lugares posibles en el espacio.

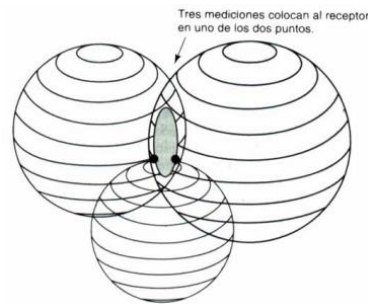


Figura 13. Ubicación de la estación receptora respecto a tres satélites.

Fuente: C. Martínez Mozo, Adquisición de la posición de un vehículo utilizando GPS (2004).

Los receptores GPS pueden determinar, en general, cuál es el punto correcto de ubicación porque el otro suele tener coordenadas que apuntar a un lugar que se encuentra fuera de la tierra [10].

2.2.5 GPS diferencial

El GPS diferencial hace todavía más exacto al GPS normal, el GPS diferencial funciona anulando la mayoría de los errores naturales y artificiales que se filtran en las mediciones normales GPS. La inexactitud de las señales del GPS se debe a una diversidad de fuentes, como los desplazamientos del reloj del satélite, órbitas imperfectas y variaciones en la atmósfera terrestre.

En el GPS diferencial, un segundo receptor se coloca en un lugar cuya posición exacta se conoce, calcula su posición a partir de los datos del satélite y a continuación la compara con su posición conocida. La diferencia entre las posiciones calculadas y conocida es el error de la señal GPS. El GPS diferencial solo es práctico donde se puede dejar en forma permanentemente un receptor [10].

Las fuentes de errores en el GPS:

- **Errores en los satélites:** causados por los errores en el reloj, errores en la posición difundida y errores orbitales en un satélite.
- **Errores atmosféricos:** se generan debido a que la propagación de la señal radio a través de la troposfera y ionosfera provoca retardos de la señal.

- **Errores multitrayectoria:** se producen cuando la señal que llega a la antena del GPS no es directa, sino reflejada, debido a la obstrucción de edificios, árboles, montañas, etc.
- **Errores en el receptor:** provocados por el ruido electrónico generado por las fuentes externas e internas al receptor o por errores en el reloj mismo.
- **Disponibilidad Selectiva:** error intencionado aportado por el Departamento de defensa de los Estados Unidos para evitar que usuarios no autorizados disponga de un posicionamiento muy preciso y utilicen esta tecnología en su contra [10].

2.2.6 Aplicaciones de los receptores GPS

Los receptores GPS tienen una gran variedad de aplicaciones:

- **Posicionamiento:** El GPS es el primer sistema de posicionamiento que ofrece una localización altamente precisa en cualquier punto, hora y condición climática del planeta.
- **Navegación:** El GPS determina la posición exacta en la que se encuentra alguien o algo, pero a veces es importante conocer cómo es que se puede llegar a un determinado sitio, a esto se le llama navegación.
- **Diseminación de la hora:** La sincronización de relojes con el fin de tener una hora exacta y controlar vuelos en los aeropuertos, entre otras actividades que requieren una sincronización estricta del tiempo.
- **Cartografía:** La realización de mapas digitales con el fin de ubicar la posición exacta de calles, centros comerciales, parques, estaciones de policías, bosques, etc.
- **Topografía:** La representación gráfica, a través de un mapa digital, de los accidentes geográficos de la superficie terrestre como son; montañas, mesetas, valles, etcétera [10].

2.2.7 Protocolo de comunicación:

2.2.7.1 Protocolo NMEA - 0183

El protocolo NMEA (Standard For Interfacing Marine Electronic Devices) fue desarrollado por la Nacional Marine Electronic Asociación como un estándar para

la navegación. Esta norma soporta la transmisión en solo sentido desde un único emisor a uno o varios receptores [12].

Los datos transmitidos están codificados en formato ASCII de 7 bits y transmitidas en tramas, entre las tramas que entregan los receptores GPS podemos encontrar las siguientes:

- **GGA** - datos de corrección esenciales que proporcionan datos de localización y exactitud en 3D [12].

\$ GPGGA, 123519,4807.038, N, 01131.000, E, 1,08,0,9,545.4, M, 46,9, M ^ {47}

Dónde:

- Sistema de posicionamiento global GGA Fix Data.
- 123519 Ficha hecha a las 12:35:19 UTC.
- 4807.038, N Latitud 48 grados 07.038 'N.
- 01131.000, E Longitud 11 grados 31.000 'E.
- 1 calidad de la fijación:
 - 0 = Inválido.
 - 1 = Fijación GPS (SPS).
 - 2 = Ajuste DGPS.
 - 3 = Corrección de PPS.
 - 4 = Cinemática en tiempo real.
 - 5 = Floating RTK.
 - 6 = Estimado (cuenta muerta).
 - 7 = Modo de entrada manual.
 - 8 = Modo de simulación.
- 08 Número de satélites que están siendo rastreados.
- 0.9 Dilución horizontal de la posición.
- 545.4, M Altitud, Metros, por encima del nivel medio del mar.
- 46.9, M Altura del geoide (nivel medio del mar) por encima de WGS84.
- (Campo vacío) en segundos desde la última actualización DGPS.
- (Campo vacío) Número de identificación de la estación DGPS.
- 47 los datos de la suma de comprobación, comienza siempre con * [12].

- **GSA** - GPS DOP y satélites activos. Esta sentencia proporciona detalles sobre la naturaleza de la corrección. Incluye los números de los satélites que se utilizan en la solución actual y el DOP (dilución de precisión) es una indicación del efecto de la geometría del satélite sobre la exactitud de la corrección. Es un número sin unidad donde más pequeño es mejor. Para los arreglos en 3D usando 4 satélites, se consideraría que un 1,0 sería un número perfecto, sin embargo, para soluciones sobre determinadas es posible ver números por debajo de 1.0 [12].

\$ GPGSA, A, 3,04,05,, 09,12 ,, 24 ,,,, 2,5,1,3,2,1 * 39

Dónde:

- Estado del satélite GSA.
 - A Selección automática de fijación 2D o 3D (M = manual).
 - 3 fijar 3D - los valores incluyen:
 - 1 = no fijar.
 - 2 = fijación 2D.
 - 3 = Solución 3D.
 - 04,05 ... PRN de los satélites utilizados para la fijación (espacio para 12)
 - 2,5 PDOP (dilución de precisión).
 - 1.3 Dilución horizontal de precisión (HDOP).
 - 2.1 Dilución vertical de precisión (VDOP).
 - 39 los datos de la suma de comprobación, comienza siempre con * [12].
- **GSV** - Satélites a la vista, muestra datos sobre los satélites que la unidad podría encontrar en función de su máscara de visualización y datos de almanaque. También muestra la capacidad actual para rastrear estos datos. Tenga en cuenta que una oración GSV solo puede proporcionar datos de hasta 4 satélites y, por lo tanto, puede ser necesario que haya 3 oraciones para la información completa. Es razonable que la sentencia GSV contenga más satélites que GGA podría indicar, ya que GSV puede incluir satélites que no se usan como parte de la solución. No es un requisito que las oraciones GSV aparecen todas en secuencia. Para evitar sobrecargar el ancho de banda de datos algunos receptores pueden colocar las diversas oraciones en muestras totalmente diferentes, ya que cada oración identifica cuál es [12].

\$ GPGSV, 2,1,08,01,40,083,46,02,17,308,41,12,07,344,39,14,22,228,45 * 75

Dónde:

- GSV Satélites en vista.
 - 2 Número de frases para los datos completos.
 - 1 oración 1 de 2.
 - 08 Número de satélites a la vista.
 - 01 Número de satélites PRN.
 - 40 Elevación, grados.
 - 083 Azimut, grados.
 - 46 SNR - más alto es mejor.
 - Hasta 4 satélites por oración.
 - 75 los datos de la suma de comprobación, comienza siempre con * [12].
- **RMC** - NMEA tiene su propia versión de los datos esenciales de gps pvt (posición, velocidad, tiempo). Se llama RMC, el mínimo recomendado, que se verá similar a [12].

\$ GPRMC, 123519, A, 4807.038, N, 01131.000, E, 022.4.084.4.230394.003.1, W
* 6A

Dónde:

- RMC Recomendó la sentencia mínima C.
- 123519 Ficha hecha a las 12:35:19 UTC.
- A Estado A = activo o V = vacío.
- 4807.038, N Latitud 48 grados 07.038 'N.
- 01131.000, E Longitud 11 grados 31.000 'E.
- 022.4 Velocidad sobre el suelo en nudos.
- 084.4 Ángulo de la pista en grados Verdadero.
- 230394 Fecha - 23 de marzo de 1994.
- 003.1, W Variación magnética.
- 6A Los datos de la suma de comprobación, empiezan siempre con * [12].

- **GLL** - La latitud y longitud geográficas son una reserva de datos de Loran y algunas unidades viejas no pueden enviar la información activa del tiempo y de los datos si están emulando datos de Loran. Si un GPS está emulando datos de Loran pueden usar el prefijo LC Loran en lugar de GP [12].

\$ GPGLL, 4916,45, N, 12311,12, W, 225444, A, * 1D

Dónde:

- GLL Posición geográfica, latitud y longitud.
- 4916.46, N Latitud 49 grados. 16,45 min. Norte.
- 12311.12, W Longitud 123 grados. 11,12 min. Oeste.
- 225444 Arreglo tomado a las 22:54:44 UTC.
- Un Data Active o V (void).
- Datos de suma de comprobación 1D [12].
- **VTG** - Velocity hecho bueno. El receptor de gps puede usar el prefijo LC en lugar de GP si está emulando la salida de Loran [12].

\$ GPVTG, 054,7, T, 034,4, M, 005,5, N, 010,2, K * 48

dónde:

- Velocidad VTG Track buena y baja.
- 054.7, T Pista verdadera buena (grados).
- 034.4, M Pista magnética hecha bien.
- 005.5, N Velocidad de tierra, nudos.
- 010.2, K Velocidad del suelo, Kilómetros por hora.
- 48 Checksum [12].

2.3 SISTEMA DE CONTROL DIFUSO

2.3.1 Sistemas de control

El control automático surge para liberar al hombre de tareas repetitivas, donde la complejidad del sistema a controlar es elevada o la operación es riesgosa. El control manual llevado a cabo por personas que conocen el proceso a controlar y saben cómo debe ser el resultado de su control, en la industria, estas personas cuentan con experiencia

y conocimiento suficiente para cumplir con los objetivos de control. Este concepto de experiencia o base de conocimiento es muy importante en sistemas de control difuso [13].

2.3.2 Lógica difusa

El concepto de lógica difusa está asociado con la manera en que las personas perciben el medio, por ejemplo, ideas relacionadas con la altura de una persona, velocidad con la que se mueve un objeto, la temperatura dominante en una habitación, cotidianamente se formulan de manera ambigua y depende de quien percibe el efecto físico o químico, será su enunciado acerca de tal fenómeno.

Una persona puede ser alta o baja, algo puede moverse rápido o lento, una temperatura puede ser baja o moderada o alta, se dice que estas afirmaciones acerca de una variable son ambiguas porque rápido, bajo, alto son afirmaciones del observador, y estas pueden variar de un observador a otro. Uno se puede preguntar cuándo algo es frío o caliente, que tan baja es la temperatura cuando decimos frío, o que tan alta es cuando decimos caliente.

Los conjuntos difusos definen justamente estas ambigüedades, y son una extensión de la teoría clásica de conjuntos, donde un elemento pertenece o no a un conjunto, tal elemento tiene solo 2 posibilidades, pertenecer o no, un elemento es bi-valuado y no se definen ambigüedades. Con conjuntos difusos se intenta modelar la ambigüedad con la que se percibe una variable. Los conjuntos difusos son la base para la lógica difusa, con los conjuntos difusos se realizan afirmaciones lógicas del tipo si-entonces, definiéndose estas con Lógica Difusa [13].

2.3.3 Lógica difusa y sistemas de control.

La incorporación de lógica difusa a los sistemas de control da lugar a lo que llamaremos sistemas de control difuso. Dentro de los sistemas de control se encuentran dos grandes áreas, el modelado o identificación y el control propiamente dicho o control directo.

Se trata de determinar de manera lógica que se debe hacer para lograr los objetivos de control de mejor manera posible a partir de una base de conocimiento proporcionada por un operador humano, sin esta base no es posible desarrollar una aplicación y que esta

funcione de manera correcta. Se utiliza el conocimiento y experiencia de un operador humano para construir un controlador que emule el comportamiento de tal persona.

Comparado con el control tradicional, el control difuso tiene dos ventajas prácticas, una es que el modelo matemático del proceso a controlar no es requerido y otra es que se obtiene un controlador no lineal desarrollado empíricamente sin complicaciones matemáticas, en realidad los desarrollos matemáticos de este tema todavía están en su infancia [13].

2.3.4 Conjuntos borrosos

Los conjuntos clásicos tienen limitaciones, se define un universo de discurso que contiene a conjuntos cuyos bordes están bien definidos, un elemento puede o no pertenecer a cierto conjunto, algo es verdadero o falso, no se definen situaciones intermedias.

Los conjuntos borrosos son una extensión de los clásicos, donde se añade una función de pertenencia, definida esta como un número real entre 0 y 1. Así se introduce el concepto de conjunto o subconjunto borroso y se asocia a un determinado valor lingüístico, definido por una palabra o etiqueta lingüística, donde esta es el nombre del conjunto o subconjunto. Por cada conjunto se define una función de pertenencia o membresía denominada $\mu_A(x)$, indica el grado en que la variable x está incluida en el concepto representado por la etiqueta A ($0 \leq \mu_A(x) \leq 1$), si esta función toma el valor 0 significa que tal valor de x no está incluido en A y si toma el valor 1 el correspondiente valor de x está absolutamente incluido en A [13].

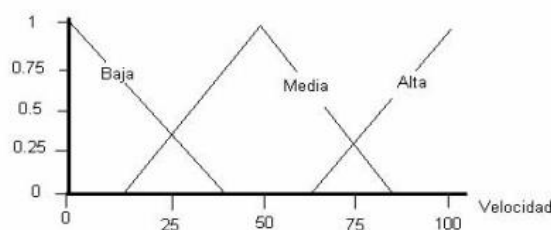


Figura 14. Ejemplo de subconjuntos borrosos para el conjunto velocidad.

Fuente: C. De los Ríos, *Evaluación de estructuras y medios de ajustes de reguladores PID-Difusos* (2004).

En la Figura 14 se puede apreciar un ejemplo donde el conjunto velocidad (con variable x) está subdividido en 3 subconjuntos {Baja, Meda, Alta}, con sus respectivas funciones de membresía $\{\mu_{Baja}(x) \mu_{Media}(x) \mu_{Alta}(x)\}$ [13].

Definición. Sea X una colección de objetos, expresados en forma genérica por x . Entonces, un conjunto difuso A en X , se define como un conjunto de pares ordenados.

$$A = \{(x, \mu_A(x)) / x \in X\}$$

Donde $\mu_A(x)$ es una función de pertenencia cuya etiqueta es A y su dominio es x .

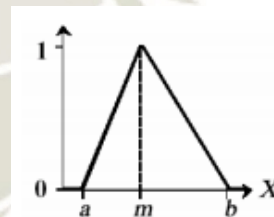
2.3.5 Funciones de membresía

Las funciones de membresía representan el grado de pertenencia de un elemento a un subconjunto definido por una etiqueta.

Existe una gran variedad de formas para las funciones de membresía, las más comunes son del tipo trapezoidal, triangular, singleton, S [13].

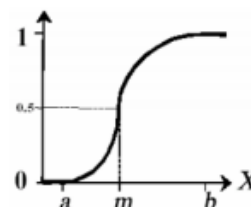
Forma triangular:

$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ (x-a)/(m-a) & \text{si } x \in (a, m] \\ (b-x)/(b-m) & \text{si } x \in (m, b) \\ 1 & \text{si } x \geq b \end{cases}$$



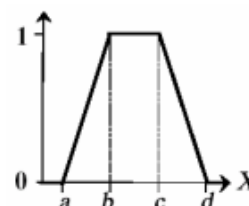
Forma S:

$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ 2\left\{\frac{x-a}{b-a}\right\}^2 & \text{si } x \in (a, m] \\ 1 - 2\left\{\frac{x-a}{b-a}\right\}^2 & \text{si } x \in (m, b) \\ 1 & \text{si } x \geq b \end{cases}$$



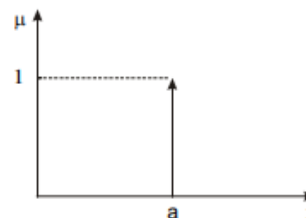
Forma Trapezoidal:

$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } (x \leq a) \text{ o } (x \geq d) \\ (x-a)/(b-a) & \text{si } x \in (a, b] \\ 1 & \text{si } x \in (b, c) \\ (d-x)/(d-c) & \text{si } x \in (c, d) \end{cases}$$



Forma Singleton:

$$A(x) = \begin{cases} 1 & x = a \\ 0 & x \neq a \end{cases}$$



2.3.6 Operaciones borrosas

A los subconjuntos se les puede aplicar determinados operadores o bien se puede realizar operaciones entre ellos. Al aplicar un operador sobre un solo conjunto se obtendrá otro conjunto, lo mismo sucede cuando se realiza una operación entre conjuntos.

Las operaciones lógicas se utilizan en controladores y modelos difusos, son necesarias en la evaluación del antecedente de reglas.

Se definen a continuación 3 operaciones básicas a realizar sobre conjuntos, estas operaciones son complemento, unión e intersección. Sean las etiquetas A y B las que identifican a dos conjuntos borrosos asociados a una variable lingüística x, las operaciones se definen [13].

- Complemento $\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$
- Unión OR de Zadeh (máx.) $\mu_{A \cup B}(x) = \max [\mu_A(x), \mu_B(x)]$
- Intersección AND de Zadeh (min) $\mu_{A \cap B}(x) = \min [\mu_A(x), \mu_B(x)]$

Otras definiciones que son utilizadas:

- Operador AND del producto $\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \times \mu_B(x)$
- Operador OR de Lukasiewicz $\mu_{A \cup B}(x) = \max[\mu_A(x) + \mu_B(x), 1]$

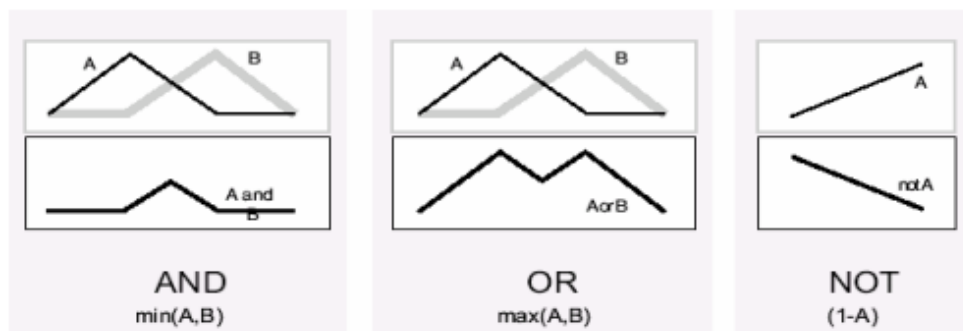


Figura 15. Operaciones básicas sobre conjuntos.

Fuente: C. De los Ríos, Evaluación de estructuras y medios de ajustes de reguladores
PID-Difusos (2004)

2.3.7 Fuzzificación

Esta operación se realiza en todo instante de tiempo, es la puerta de entrada al sistema de inferencia difusa. Es un procedimiento matemático en el que se convierte un elemento del universo de discurso (variable medida del proceso) en un valor en cada función de membresía a las cuales pertenece [13].

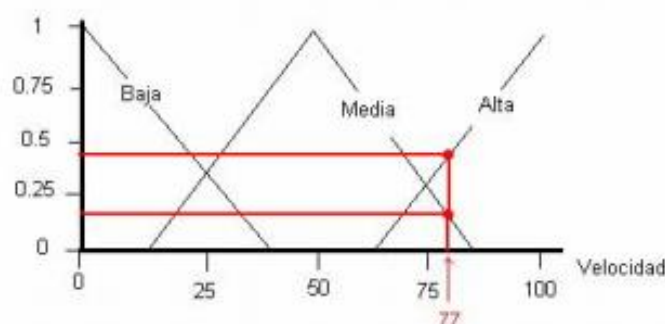


Figura 16. Fuzzificación de una variable.

Fuente: C. De los Ríos, Evaluación de estructuras y medios de ajustes de reguladores
PID-Difusos (2004).

De la figura 16 obtenemos los siguientes datos:

$$\mu_{Alta}(77) = 0.45, \mu_{Media}(77) = 0.20, \mu_{Baja}(77) = 0.00$$

Los datos 0.45, 0.20 y 0.00 son valores de las funciones que representan a las variables censadas del proceso.

2.3.8 Reglas borrosas

Los controladores difusos usan reglas, estas combinan uno o más conjuntos borrosos de entrada llamados antecedentes o premisas y le asocian un conjunto borroso de salida llamado consecuente o consecuencia. A estas reglas se les llama reglas borrosas o difusas o fuzzy rules. Son afirmaciones del tipo SI-ENTONCES. Los conjuntos borrosos del antecedente se asocian mediante operaciones lógicas borrosas AND, OR, etc.

Las reglas borrosas son proposiciones que permiten expresar el conocimiento que se dispone sobre la relación entre antecedentes y consecuentes. Para expresar este conocimiento de manera completa normalmente se precisan varias reglas, que se agrupan formando lo que se conoce como base de reglas, es decir, la edición de esta base determina cuál será el comportamiento del controlador difuso y es aquí donde se emula el conocimiento o experiencia del operario y la correspondiente estrategia de control.

La base de reglas suele representarse por tablas. Esta es clara en el caso de 2 variables de entrada y una de salida. En la medida que la cantidad de variables lingüísticas crece, también lo hará la tabla, y más difícil se hará su edición. Junto a cada regla puede estar asociado un valor entre cero y uno que pesa a tal regla, esto puede ser importante cuando una regla tiene menor fuerza que otras de la base de reglas.

Existe una gran variedad de tipos de reglas, dos grandes grupos son los que en general se emplean, las reglas difusas de Mamdani y las reglas difusas de Takagi-Sugeno [13].

2.3.8.1 Reglas difusas de Mamdani

IF x_1 is A AND x_2 is B AND x_3 is C THEN u_1 is D, u_2 is E

Donde x_1 , x_2 y x_3 son las variables de entrada (por ejemplo, error, derivada del error y derivada segunda del error), A, B y C son funciones de membresía de entrada (alto, medio, bajo), u_1 y u_2 son las acciones de control (apertura de válvulas) en sentido genérico son todavía variables lingüísticas (todavía no toman valores numéricos), D y E son las funciones de membresía de la salida, en general se emplean singleton por su facilidad computacional, y AND es un operador lógico difuso [13].

La primera parte de la sentencia “IF x_1 is A AND x_2 is B AND x_3 is C” es el antecedente y la restante es el consecuente.

Ventajas

- Es intuitivo.
- Tiene una amplia aceptación.
- Está bien adaptado a la incorporación de conocimiento y experiencia [13].

2.3.8.2 Reglas difusas de Takagi-Sugeno

IF x_1 is A AND x_2 is B AND x_3 is C THEN $u_1=f(x_1, x_2, x_3)$, $u_2=g(x_1, x_2, x_3)$

En principio es posible emplear $f()$ y $g()$ como funciones no lineales, pero la elección de tal función puede ser muy compleja, por lo tanto, en general se emplean funciones lineales [13].

Ventajas:

- Es computacionalmente eficiente.
- Trabaja bien con técnicas lineales.
- Trabaja bien con técnicas de optimización y control adaptable.
- Está bien adaptado al análisis matemático [13].

2.3.9 Inferencia borrosa

Las reglas difusas representan el conocimiento y la estrategia de control, pero cuando se asigna información específica a las variables de entrada en el antecedente, la inferencia difusa es necesaria para calcular el resultado de las variables de salida del consecuente, este resultado es en términos difusos, es decir que se obtiene un conjunto difuso de salida de cada regla, que posteriormente junto con las demás salidas de reglas se obtendrá la salida del sistema.

Existe una gran cantidad de métodos de inferencia difusa, pero hay cuatro que generan mejores resultados en el campo del control, estos son inferencia de Mamdani por mínimos (Mamdani minimum inference), R_M , la inferencia del producto de Larsen (Larsen

producto inference), R_L , la inferencia del producto drástico (Drastic product inference) RDP y la inferencia del producto limitado (Bounded product inference), R_{BP} [13].

Tabla 12. Definición de los cuatro métodos de inferencia más populares.

Método de inferencia	Definición
Mamdani minimum inference R_M	$\min(\mu, \mu_W(z)), \forall z$
Larsen product inference, R_L	$(\mu \times \mu_W(z)), \forall z$
Drastic product inference, R_{DP}	$\begin{cases} \mu & \text{para } \mu_W(z) = 1 \\ \mu_W(z) & \text{para } \mu = 1 \\ 0 & \text{para } \mu < 1 \text{ y } \mu_W(z) < 1 \end{cases}$
Bounded product inference, R_{BP}	$\min(\mu + \mu_W(z) - 1, 0)$

Fuente: C. De los Ríos, Evaluación de estructuras y medios de ajustes de reguladores PID-Difusos (2004).

Donde μ_W es la función de pertenecía del conjunto de salida w .

2.3.10 Agregado

Cuando se evalúan las reglas se obtienen tantos conjuntos difusos como reglas existan, para defuzzificar es necesario agrupar estos conjuntos, a esta etapa se le llama agregado y existen varios criterios para realizar este paso. Un criterio muy empleado es el de agrupar los conjuntos inferidos mediante la operación máxima [13].

2.3.11 Defuzzificación

La defuzzificación es un proceso matemático usado para convertir un conjunto difuso en un número real. El sistema de inferencia difusa obtiene una conclusión a partir de la información de la entrada, pero es en términos difusos.

Esta conclusión o salida difusa es obtenida por la etapa de inferencia borrosa, esta genera un conjunto borroso, pero el dato de salida del sistema debe ser un número real y debe ser representativo de todo el conjunto obtenido en la etapa de agregado, es por eso que existen diferentes métodos de defuzzificación y arrojan resultados distintos, el “más común y ampliamente usado” es el centroide.

Con el método de defuzzificación del centroide se transforma la salida difusa en un número real el cual es la coordenada equis (x) del centro de gravedad de tal conjunto difuso de salida [13].

$$y_d = \frac{\int_S y \mu_y(y) dy}{\int_S \mu_y(y) dy} \quad (2.12)$$

Donde μ_y es la función de pertenencia del conjunto de salida Y, cuya variable de salida es y. S es el dominio o rango de integración. Este método en realidad trae una carga computacional importante, por lo que se emplean en general otros esquemas con menor carga.

Uno de los defuzzificadores más usados es el centro de área (COA, center of area) también llamado de altura, el centro de gravedad es aproximado por el centro de gravedad de un arreglo de “masas puntuales”, las cuales son el centro de gravedad de cada conjunto de salida correspondiente a cada regla, con “masa” igual al grado de pertenencia en ese punto de su centro de gravedad. Se le llama δ_l al centro de gravedad del conjunto difuso de salida B_l de la l -ésima regla, el centro de gravedad queda determinado por:

$$y_d = \frac{\sum_{l=1}^R \delta_l \mu_{B_l}(\delta_l)}{\sum_{l=1}^R \mu_{B_l}(\delta_l)} \quad (2.13)$$

Donde R es el número de reglas.

El concepto del centro de gravedad es en muchos casos el punto de partida para la obtención de distintos métodos de defuzzificación.

Tanto la Fuzzificación como la defuzzificación son el nexo del sistema difuso con el mundo real [13].

- **Criterio de máximo (MC).** La salida es aquella para la cual la función de membresía alcanza su máximo valor.
- **El método de centro de área (COA) o de centro de gravedad (COG).** La salida responde a la Ecuación 2.11 o a la Ecuación 2.12.

- **El método de la media de máximo (MOM, middle of máximo).** La salida es el valor medio de los valores cuyas funciones de membresía alcanzan el valor máximo.
- **El método del máximo más chico (SOM, smallest of maximum).** La salida es el mínimo valor de todos aquellos que generan el valor más alto de la función de membresía.
- **El método del máximo más grande (LOM, largest of maximum).** La salida es el máximo valor de todos aquellos que generan el valor más alto de la función de membresía.
- **Bisector de área.** La salida es el valor que separa el área bajo la curva en dos sub-áreas iguales [13].

Se debe recordar que la operación de defuzzificación se realiza con el conjunto obtenido de la etapa de agregado [13].

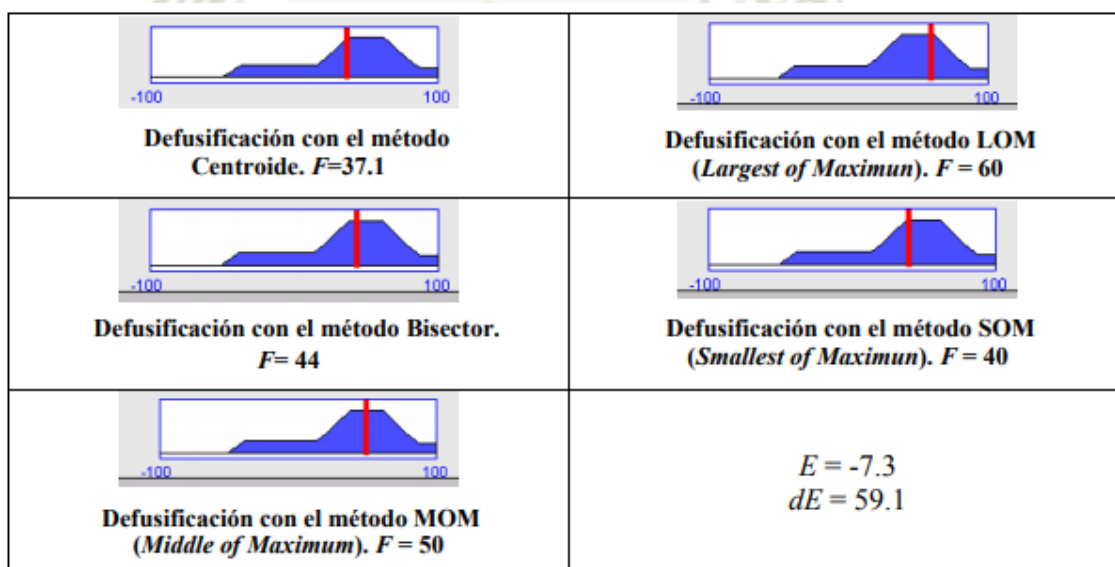


Figura 17. Representación gráfica de los distintos métodos de defuzzificación del Fuzzy Logic Toolbox de Matlab para sistemas tipo Mamdani.

Fuente: C. De los Ríos, Evaluación de estructuras y medios de ajustes de reguladores PID-Difusos (2004).

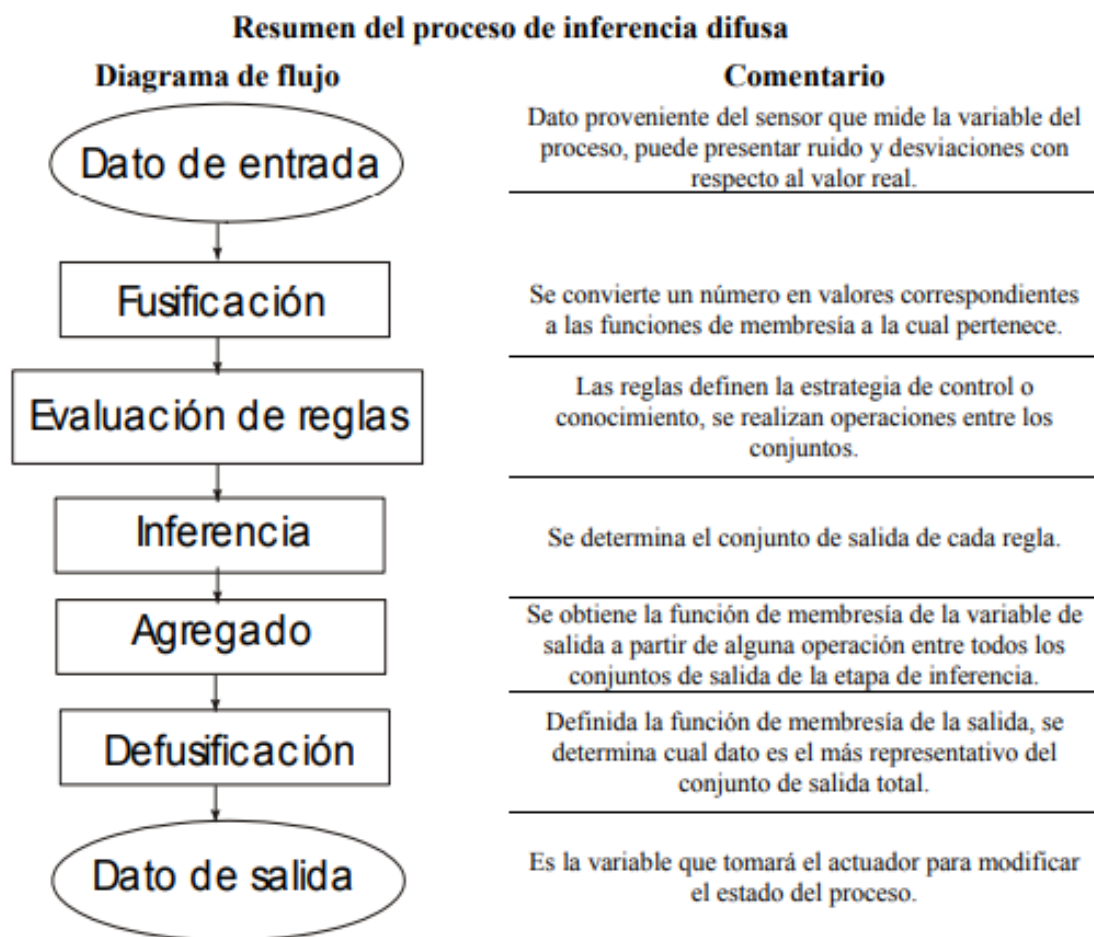


Figura 18. Etapas para la toma de decisión.

Fuente: C. De los Ríos, *Evaluación de estructuras y medios de ajustes de reguladores PID-Difusos* (2004).

2.4 TRÁNSITO VEHICULAR EN ÁREA MINA

2.4.1 Clasificación de vehículos y equipos

2.4.1.1 Equipo liviano:

Vehículos cuyo peso bruto alcanza las 3.5 toneladas, camionetas pick up 4WD, microbuses o van de pasajeros, van de carga, camionetas SUV y camiones pequeños cuyo peso bruto no sobrepase lo establecido [14].



Figura 19. Vehículos livianos.

Fuente: <https://www.insergejk.com/>

2.4.1.2 Equipo auxiliar o de servicio:

Vehículos cuyo peso bruto sea mayor a 3.5 toneladas, equipos diseñados para tareas específicas como movimiento de material y realizan labores de apoyo al trabajo de los equipos pesados.

No intervienen directamente en la producción o extracción (motoniveladora, tractores de ruedas y de orugas, excavadoras, retroexcavadoras, compactadores hidráulicos, cargadores pequeños, cisterna de agua, cama baja) [14].



Figura 20. Equipo auxiliar - tractor oruga.

Fuente: https://www.cat.com/es_MX/products/new/equipment/dozers/large-dozers/18238486.html

2.4.1.3 Equipo pesado o producción:

Equipos que intervienen directamente en la producción de la mina y que tienen la primera prioridad en el tránsito como:

- Camiones de acarreo: 793C, 793D, 793F, 930E.
- Cargadores frontales de producción: 992, 994.
- Perforadoras de producción: DMM2, 49RIII y 49HR.
- Palas eléctricas de producción: P&H [14].



Figura 21. Camión de acarreo.

Fuente: <https://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C10549350>

2.4.2 Equipamiento de seguridad para transitar en mina

Para poder ingresar a transitar dentro de mina, se requiere que el vehículo tenga instalado el equipamiento de seguridad requerido y necesario, como:

- Jaula de seguridad: Confeccionada con tubo de 1.5" de diámetro (mínimo), de maquinado hidráulico, sin costura y forrado con espuma. Debidamente fijada al piso de la cabina del vehículo liviano y recomendada en vehículos pesados.
- Cinturones de seguridad: En número igual al de pasajeros a transportar (según tarjeta de propiedad), deben ser originales y de tres puntos, la excepción son los asientos de pasajeros en los buses y minibuses, el asiento central posterior de las camionetas pick up que pueden ser de dos puntos. El cinturón de seguridad debe estar en buenas condiciones (fibra, cierre, traba).

- Radiotransmisor: Pudiendo ser un radio base o un portátil, deben tener programado en el canal 6 de operaciones mina y estar completamente operativo.
- Pértiga con banderola y luz: Debe tener como mínimo 4.6 metros de altura, desde el piso al foco de la pértiga. La banderola sirve para la identificación diurna y vespertina del vehículo en el entorno tanto de equipos auxiliares como pesados y el foco encapsulado para la identificación nocturna.
- Circulina: de color naranja, azul o roja. De acuerdo con la función del vehículo o equipó a utilizar.
- Letrero de identificación: cada unidad debe llevar un letrero de identificación, en fondo blanco letras verdes.
- Luz verde de pase de adelantamiento (solo en Equipos pesados y auxiliar) [15].

Es obligatoria tanto en vehículos livianos y vehículos pesados.

2.4.3 Características de la carretera de acarreo

Diseñada para el tránsito especialmente de los camiones de acarreo. El ancho de la superficie de la carretera de acarreo de doble vía es de 30 metros y la de una sola vía de 15 metros. (Basado en el ancho del camión de acarreo 793C). También presenta la “corona” o “lomo de corvina”, canaletas de lluvia y su respectiva berma de seguridad de 2.70 metros de altura en toda longitud.

Las rampas existentes en la carretera de acarreo se consideran “permanentes” y son diseñadas con el 10 % de gradiente [15].

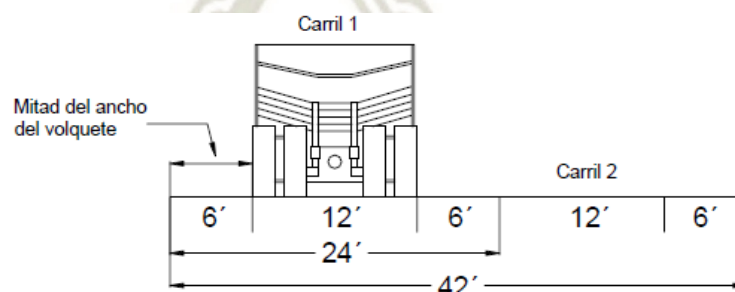


Figura 22. Sección típica de vía de acarreo – pulgadas.

Fuente: SMCV, Riesgos asociados al carguío y acarreo (2015).

Los conductores deben observar los lugares donde la carretera de acarreo se vuelve angosta. Por prioridad vehicular, se debe CEDER EL PASO a los equipos pesados y auxiliares que transiten en sentido contrario por esa zona. [15]

2.4.4 Salidas de emergencia

Construidas especialmente para los camiones de acarreo, cuando estos transitan con carga cuesta abajo por posibles fallas en el sistema de frenos.

Cuando la rampa tiene más de 600 metros de longitud, necesariamente deben existir rampas de escape. Las rampas de escape serán construidas a 45 metros nivel hacia abajo (medida de cota) y en el área de curva.

Las entradas están debidamente señalizadas y deben estar todo el tiempo libre de obstáculos o posibles vehículos estacionados [15].

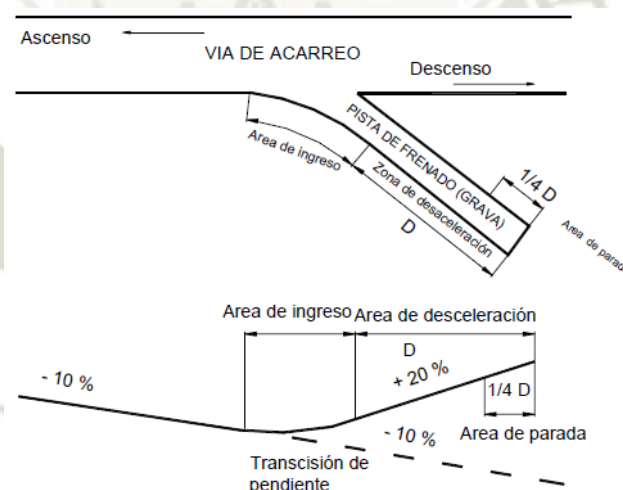


Figura 23. Escape lateral de vía de acarreo.

Fuente: SMCV, Riesgos asociados al carguío y acarreo (2015).

2.4.5 Prioridad vehicular y derecho de paso

Dentro de área mina en algunas intersecciones existen señales de tránsito, las mismas que regulan el tránsito en dichas intersecciones como las señales de ceda el paso y de stop. En el caso de las intersecciones, donde no existen estas señales, el tránsito se debe regular por la prioridad vehicular:

1. Equipo pesado.
2. Equipo auxiliar.
3. Equipo liviano [14].

Los vehículos de emergencia cuando transitan sin emergencia, lo hacen con la prioridad que les corresponde (tercera). Cuando están en emergencia (luces estroboscópicas encendidas y sirena activada) transitan en la única prioridad establecida (primera) [14].

2.4.6 Límites de velocidad

Los límites de velocidad, son establecidos de acuerdo con las normas establecidas en el reglamento interno de tránsito.

- Equipos livianos: 60 km/h.
- Equipos pesados: 55 km/h [14].

2.4.7 Señales de bocinas

Las señales de bocina constituyen un código de seguridad en la operación de los vehículos y equipos. Son de uso obligatorio para todos los conductores y operadores. Para que las señales de bocina cumplan el objetivo de ser códigos de seguridad deben tener condiciones muy importantes:

- Deben tocarse en forma pausada para poderlas reconocer.
- Deben realizarse cinco segundos antes de iniciar la acción o movimiento del vehículo o equipo.
 - Dos toques: avanzar hacia adelante.
 - Tres toques: retroceder [14].

2.4.8 Radios de trabajo

El radio de trabajo se define como aquella área alrededor del equipo auxiliar y pesado (área perimetral), en el cual estos equipos se mueven para poder realizar su trabajo. En esta área no está permitido el ingreso de vehículos u otros equipos ni de personal a pie.

En primer lugar, se deberá pedir autorización, estableciendo contacto radial y visual con el operador del equipo antes de ingresar al radio de trabajo del equipo.

El operador del equipo deberá confirmar la presencia de la persona que solicita la autorización de ingreso o pase y responder por radio otorgando dicha autorización.

Cuando la comunicación vía radial este congestionado, se está permitido que los operadores de palas y cargadores, para confirmar las solicitudes de ingreso o de pase bajen sus implementos (balde o cucharón) al suelo y reduzcan las rpm del motor [15].

Tabla 13. Radios de trabajos de Equipos y vehículos.

Equipos	Izquierda/Derecha (m)	Frontal/Posterior (m)
Tractor de oruga D6R, D8R, D10R	20	40
Tractor de rueda 834B	20	40
Motoniveladoras 14H. 16H	20	40
Camión de acarreo 793D, 797F, 793F, 793D	20	40
Camiones de acarreo 930E-4, 930E-3, 830E	20	40
Cargador frontal 924F, 988F	20	40
Perforadores ECM690, Titon600, 49R	20	40
Motoniveladora 24H	20	50
Tractor de ruedas 854G y K	20	50
Cargador frontal 992G, 994D y F	20	50
Cargador frontal L-2350	20	50
Pala P&H 4100C-4100XPC-2800XPC	60	
Excavadoras 330B, 375L y 385CL	60	

Fuente: SMCV, Manejo defensivo en área mina (2015).

2.4.9 Áreas de carguío

Es el área donde se realizan las actividades de carguío en los camiones de acarreo las mismas que están a cargo de los equipos como palas eléctricas y cargadores frontales gigantes (CAT 994D, 994F y L2350).

En estas áreas solo está permitido el ingreso a cierto personal autorizado (mecánicos y electricistas de pala, geólogos, personal de ingeniería, supervisión de mina, entrenamiento y pit utility); previo contacto visual y radial solicitando autorización de ingreso al operador del equipo de carguío y recibir su respuesta [14].

2.4.10 Acercamiento a los equipos y estacionamiento en mina

No todos los equipos livianos y auxiliares están autorizados a acercarse a los equipos pesados. Los vehículos autorizados son: de mantenimiento, supervisión de operaciones y entrenamiento, deben hacerlo siempre comunicando previamente el acercamiento vía radial y asegurándose que el operador responda a la comunicación autorizando la acción.

Cualquier otro vehículo, primero deberá pedir autorización a la supervisión, luego proceder según lo informado en el punto anterior.

Si el área no permite este tipo de estacionamiento (área reducida, tráfico de otros equipos, mallas de voladura cercanas etc.) el vehículo deberá estacionarse de retroceso en forma paralela al camión, en el lado izquierdo (lado del operador) y a no menos de 8 metros de distancia.

Los vehículos pesados autorizados son el camión lubricador, cisterna de combustible, cisterna de agua y el camión grúa [15].

2.4.11 Distancia a seguir a los camiones de acarreo

Las siguientes son las distancias seguras, que se han establecido para que el conductor del vehículo liviano y pesado transite detrás de los camiones de acarreo, sea en plano, en subida o de bajada; con condiciones ideales [14].

Tabla 14. Distancia mínima entre vehículos livianos y equipos pesados.

Condición de tránsito	Camiones Caterpillar	Camiones Komatsu
Pendiente arriba	30 metros	30 metros
Pendiente abajo	50 metros	50 metros
Plano	30 metros	30 metros

Fuente: SMCV, Reglamento general de tránsito (2019).

2.4.12 Procedimiento para adelantar camiones de acarreo

El adelantamiento a camiones de extracción deberá reducirse al mínimo posible. Ante la necesidad de adelantar a un camión el conductor que requiere adelantar debe proceder de la siguiente manera:

- Aproximarse tomando las precauciones del caso el muro de seguridad del lado izquierdo, para hacerse visible al espejo del operador del camión, si el operador del camión no se da cuenta de la presencia del equipo que desea pasar, se puede pedir la autorización vía radial (frecuencia del área de mina correspondiente).
- Esperar que el operador del camión encienda la luz verde posterior que le autoriza a pasar, puede darse la posibilidad que la luz verde esté descompuesta, en este caso la autorización de pase debe hacerla por vía radial.
- Recibida la señal luminosa verde o autorización vía radial, proceder al adelantamiento por el lado derecho, manteniendo una distancia prudente de aproximadamente 8 m.
- Retomar la vía izquierda a una distancia aproximada de 30 m delante del camión que adelanto [14].

De manera similar se procede con los demás equipos de producción que tienen instalado la luz verde en la parte posterior. Existen equipos de producción y/o servicio que no tienen la luz verde, con estos equipos la solicitud de adelantamiento se debe hacer vía radial (frecuencia del área mina).

El conductor que necesita adelantar no puede iniciar ninguna maniobra de adelantamiento, hasta no haber recibido confirmación del equipo mayor que necesita adelantar.

Solo se podrá adelantar a dos camiones de acarreo seguidos, siempre y cuando se tenga la autorización de luz verde o vía radial de ambos camiones.

Está prohibido adelantar a tres camiones de acarreo contiguos [14].

2.5 SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN – LABVIEW

LabVIEW es el acrónimo de Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench. Es un lenguaje y a la vez un entorno de programación gráfica en el que se pueden crear aplicaciones de una forma rápida y sencilla [16].

2.5.1 Entorno

LabVIEW es una herramienta de programación gráfica. Originalmente este programa estaba orientado a aplicaciones de control de instrumentos electrónicos usados en el desarrollo de sistemas de instrumentación, lo que se conoce como instrumentación virtual (VI) [17].

2.5.1.1 Panel frontal

Se trata de la interfaz gráfica del VI con el usuario. Esta interfaz recoge las entradas procedentes del usuario y representa las salidas proporcionadas por el programa, el panel frontal está formado por una serie de botones, pulsadores, potenciómetros, gráficos, etc.

Cada uno de ellos puede estar definido como un control o un indicador. Los primeros sirven para introducir parámetros al VI, mientras que los indicadores se emplean para mostrar los resultados producidos, ya sean datos adquiridos o resultados de alguna operación [17].

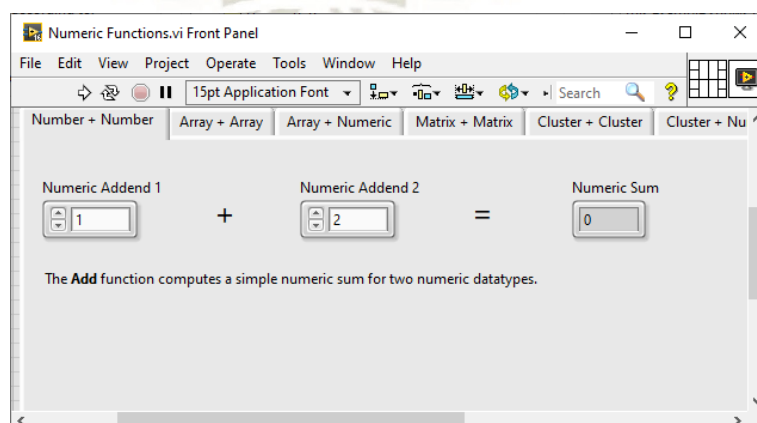


Figura 24. Panel de control – LabVIEW.

Fuente: Ejemplo de programa – LabVIEW.

2.5.1.2 Diagrama de bloques

El diagrama de bloques constituye el código fuente del VI, es donde se realiza la implementación del programa del VI para controlar o realizar cualquier procesador de las entradas y salidas que se crearon en el panel frontal.

Los controles e indicadores que se colocaron previamente en el Panel frontal, se materializan en el diagrama de bloques mediante los terminales. El diagrama de bloques se construye conectando los distintos objetos entre sí, como si de un circuito se tratara. Los cables unen terminales de entrada y salidas con los objetos correspondientes, y por ellos fluyen los datos [17].

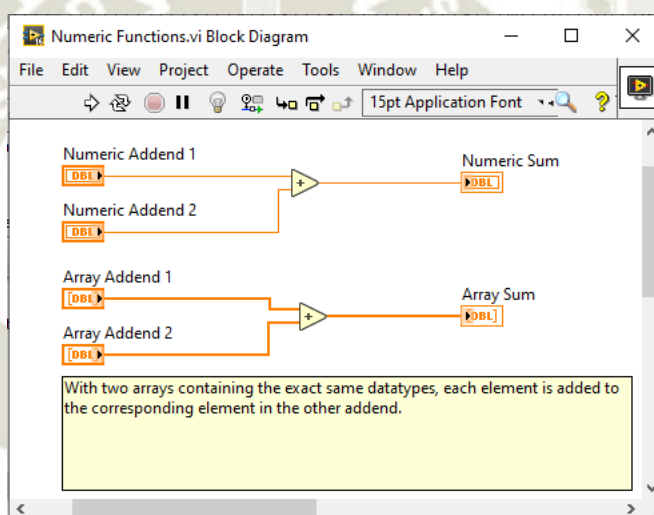


Figura 25. Diagrama de bloques – LabVIEW.

Fuente: Ejemplo de programa LabVIEW.

LabVIEW posee una extensa biblioteca de funciones, entre ellas, aritméticas, comparaciones, convenciones, funciones de entrada/salida, de análisis, etc.

2.5.2 Software

Este software se ejecutará en un ordenador que tendrá alojado unos elementos hardware concretos, tarjetas de adquisición de datos (analógicos y digitales), tarjetas de interfaz con los buses de instrumentación y unos canales de control también analógicos y digitales.

El instrumento virtual permite manejar ese hardware mediante la interfaz gráfica de usuario [17].

2.5.2.1 Estructura del software

Básicamente, el software se encarga de comunicar la interfaz de usuario del ordenador con el hardware de adquisición de datos dotando a la aplicación de la funcionalidad requerida [17].

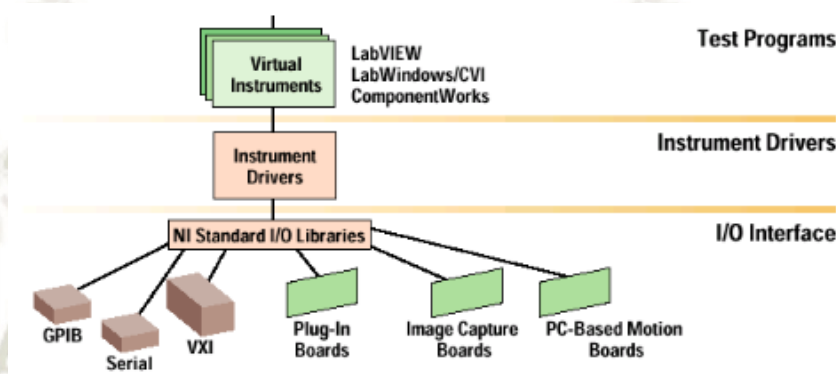


Figura 26. Integración del software y hardware.

Fuente: I. Moreno, P. Sánchez, *Introducción a la instrumentación virtual – programación en LabVIEW* (2010).

2.5.2.2 Funcionalidad de la aplicación

Una de las funciones básicas será la de obtener datos del hardware de forma transparente al usuario. La funcionalidad del programa incluye tratamiento de señal, control del flujo de programa, control de errores, etc.

Puede implementarse en lenguaje basado en texto (Visual Basic, C++, LabWindows/CVI, etc.) o puede utilizar lenguaje gráfico como Snap Master, DasyLab, HP-VEE, etcétera [17].

CAPÍTULO III

ESTADO DEL ARTE

Los sistemas de detección de proximidad y anti colisión para equipos mineros, para la prevención de accidentes, ha sido objeto de estudio por diversas empresas proveedores de servicio, tanto como fabricantes de maquinarias involucradas en dichos accidentes, así como empresas dedicadas a la seguridad industrial.

Existen diversos sistemas basados en cámaras, radares, láser, GPS y redes inalámbricas.

3.1 SISTEMAS BASADOS EN RADARES Y CÁMARAS

Los sensores de radar proporcionan la capacidad de detección del objeto, se instalan en las partes delanteras y traseras de los camiones, cubriendo los puntos ciegos.

Estos sensores emiten haces de onda de radio de alta frecuencia, cada sensor es configurado para crear zonas de reconocimiento en base a los puntos ciegos del equipo, cuando un objeto entra en el área de detección se acciona el sistema de videovigilancia para comprobar la existencia del objeto [18].



Figura 27. Disposición del radar de detección en equipo pesado.

Fuente: <https://www.bannerengineering.com/mx/es/solutions/vehicle-detection/radar-based-collision-avoidance.html>

3.2 SISTEMAS DE DETECCIÓN DE EQUIPOS ELABORADOS

3.2.1 Caterpillar - Minestar

Caterpillar desarrolla sus propios sistemas de anticolisión para ser utilizados en sus equipos.

3.2.1.1 Sistema Detect:

Detect, mejora el reconocimiento del operador del entorno inmediato alrededor de los equipos controlados por el personal o de forma remota. Este sistema incluye paquetes que cubren todos los ámbitos, desde cámaras y sensores de la cabina hasta la detección de personal en áreas subterráneas y ofrecen una solución de mejora a la visibilidad.

Conjunto de capacidades:

- **Sistema de visión:** Para los equipos de superficie, cámaras que permiten a los operadores ver lo que ocurre cerca de la máquina, las cámaras pueden identificar a las personas y seguirlas mientras se mueven en la superficie de trabajo.
- **Detección de objetos:** Los radares en los equipos, detectan de manera automática a otros equipos o vehículos dentro de las zonas críticas alrededor de la máquina.
- **Reconocimiento de proximidad:** Las capacidades del sistema satelital de navegación global (GNSS), para las operaciones de superficie, permite obtener ubicaciones con un alcance mayor a los radares.
- **Personal:** Se utilizan etiquetas de ubicación para rastrear la ubicación y la identidad del personal que trabaja en los equipos subterráneos [19].

3.2.1.2 Proximity Awareness

Sobre la base de Detect, este sistema utiliza las comunicaciones de pares o peer to peer desarrolladas en la industria automotriz sin la necesidad de una red de radio con cobertura de sitio. Este sistema ofrece tonos de alarma que los operadores pueden distinguir fácilmente provenientes de alertas enviadas por

otros sistemas. Son tres niveles de alarma, las zonas que definen las alarmas pueden ser configuradas por el usuario, oscilando entre baja y crítica

La alarma baja, indica que la trayectoria proyectada de una máquina está encaminada a chocar con otra máquina o está siguiendo demasiado cerca de otra máquina.

La alarma crítica ocurre cuando dos o más máquinas que tienen sus zonas más cercanas se cruzan [19].

3.2.2 GE Mining Technology

Integra cámaras en los puntos ciegos, un detector de proximidad mediante RF (radiofrecuencia), GPS y reporte en tiempo real basado en la Web, Se desarrolla un sistema de protección para el personal, el cual utiliza electromagnetismo de baja frecuencia para la detección fiable de personas alrededor de o debajo de vehículos pesados que no cuentan con una línea de visión para la operación [20].

3.2.3 SAFEmine

El sistema proporciona 360° de protección a cualquier velocidad y en cualquier condición de visibilidad con un alcance típico de 800 m. La tecnología aumenta la conciencia situacional y reduce los accidentes alertando activamente al operador del vehículo de las amenazas inminentes.

La velocidad, dirección y trayectoria se calculan utilizando el GNSS para determinar la posición del vehículo y se envían vía enlace radial a otros vehículos equipados de igual modo en el área. La utilización de algoritmos de predicción de trayectorias inteligentes minimiza las alarmas molestas y no requiere de ningún radio o infraestructura [20].



Figura 28. Sistema SAFEmine en acción.

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=Psk61b-EKDA>

3.2.4 PreView – Preco Electronics

El sistema Preview detecta la proximidad y proporciona advertencias de puntos ciegos activos en la parte trasera, lateral y/o frontal a la maquinaria minera, los radares por impulsos pueden dar cobertura de hasta 10 m desde cada sensor [20].

El sistema puede ser integrado con cámaras y monitores.

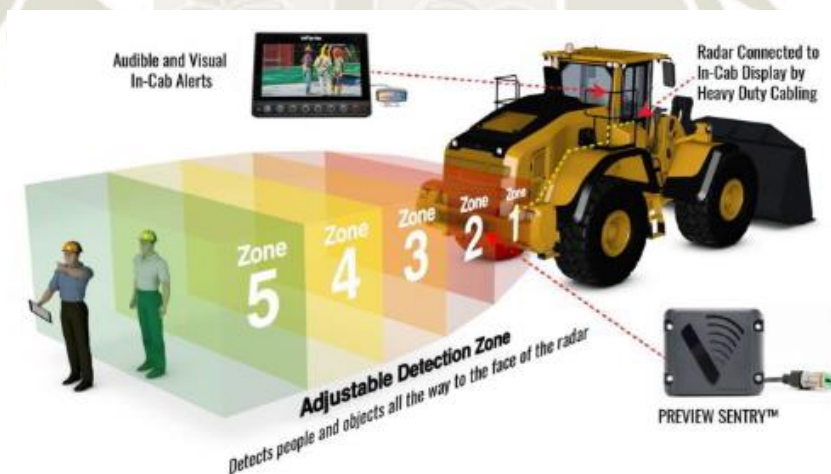


Figura 29. Sistema PreView - detección de personas.

Fuente: <https://preco.com/sentry/>

3.2.5 Mine Alert – Modular Mining Systems

El sistema utiliza sensores y receptores GPS para determinar los riesgos de colisión según las trayectorias de desplazamiento, velocidad, distancia y otros factores del vehículo. Un

enlace vía radio proporciona comunicación directa de vehículo a vehículo, lo que elimina la necesidad de contar con una infraestructura de red inalámbrica.

El módulo envía a los conductores notificaciones en tiempo real de colisiones inminentes de vehículo a vehículo a través de alarmas acústicas y visuales.

Como una aplicación autónoma totalmente operativa el sistema modular no depende de aplicaciones externas o servidores centrales, una CPU (Unidad central de procesamiento) dedicada en el vehículo almacena datos del sensor, los cuales se pueden descargar para su uso en el análisis, presentación de informes y capacitación [20].



Figura 30. Sistema Mine Alert - detección de vehículos.

Fuente: <https://www.modularmining.com/our-solutions/safety/>

Muchos de los sistemas centrados exclusivamente en la proximidad, no hacen una distinción entre las alarmas de seguridad reales y falsas, la generación de falsas alarmas es molesta para los operadores causando que no se tome la debida atención, reduciendo así la efectividad del sistema.

3.3 CONSIDERACIONES ACERCA DE LOS SISTEMAS DE PROXIMIDAD EXPUESTOS

En los sistemas basados en radares y cámaras, debido a las condiciones del medio ambiente donde se desarrollan las actividades, los sensores como los radares y las

cámaras tienden a dar falsas alarmas, elementos como el polvo, lluvia y neblina ocasionan un mal funcionamiento en los sensores de dichos sistemas.

- Las cámaras tienden a ensuciar la lente con polvo obteniendo una imagen distorsionada.
- Los radares, el alcance máximo que logran alcanzar es de 10 m, de igual manera no diferencia entre estructura y equipo móvil ubicado en el área.

En el sistema de detección de equipos elaborados presentan las mismas deficiencias descritas en anteriormente, además de no ofrecer una adecuada identificación del tipo de vehículo detectado.

- No se identifica el tipo de equipo detectado, si es un equipo liviano (camionetas o unidades de transporte de personal) o un equipo auxiliar (tractores oruga, cargadores frontales, etc).

Los sistemas descritos, está orientado solo para vehículos pesados, la información de proximidad hacia un vehículo liviano es administrada solo por el conductor del vehículo pesado.

Los sistemas no están disponibles para vehículos livianos, por el coste de implementación y por la permanencia de dichas unidades en el área, se resalta que la mayoría de servicios son realizados por contratistas para trabajos puntuales en área mina.

Los sistemas de proximidad desarrollados han sido diseñados para ayudar a salvar vidas. Ningún sistema individual ofrece una solución “mágica”, pero añaden un nivel adicional de protección a la infraestructura, equipos y personas que trabajan en las minas. [20]

CAPÍTULO IV

DISEÑO DEL SISTEMA DE PREVENCIÓN DE ACCIDENTES

4.1 ETAPA I: REDES MOVILES – WIFI

4.1.1 Funcionamiento de la red Wifi

Cada equipo pesado tendrá implementado una red WiFi, la red estará conformado por un Punto de acceso, tendrá un área de cobertura de 40 m de radio, cada red asumirá un papel de servidor y un nombre de red (SSID) de acuerdo con el equipo pesado. Los equipos livianos se conectarán de acuerdo con la cercanía de cada red.

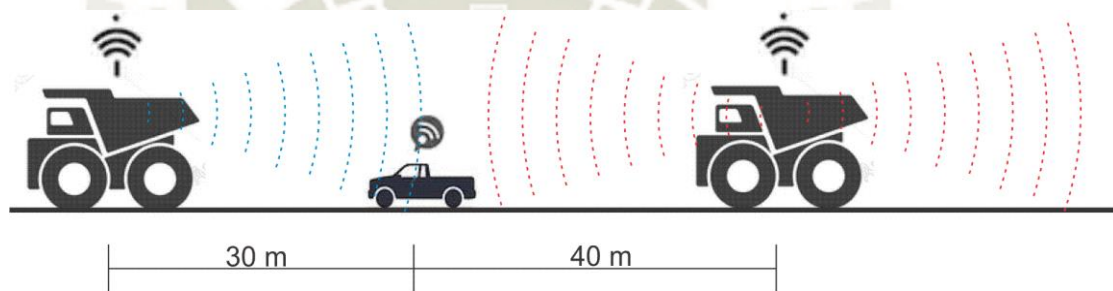


Figura 31. Cobertura, distancia segura de redes inalámbricas.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Características de la red

La etapa de implementación de la red WiFi deberá cumplir las siguientes características:

- Red inalámbrica de área local (WLAN).
- Estándar IEEE 802.11 g 2.4 Ghz a una velocidad de 25 Mbps típica y una velocidad máxima de 54 Mbps.
- Configuración de red en modo infraestructura.
- Cobertura óptima de 40 m de radio.

4.1.3 Análisis de cobertura de redes inalámbricas

Para la ecuación 2.10 se realiza el análisis sin tener en cuenta el factor aleatorio de la ecuación x_{σ} , el hecho de que exista una potencia de referencia L_f y un factor n permite no tener en cuenta en la ecuación de variables normalmente asociadas a las pérdidas de

potencia en señales inalámbricas (variables como las ganancias de antenas o la frecuencia) ya que Lf y n llevan de manera implícita sus efectos. De acuerdo con la tabla 16 para un buen enlace debemos de tener una señal de -60 dBm.

Tabla 15. Valores de nivel de señal.

Señal	Descripción
-80 dBm	Mínima señal aceptable para establecer conexión, puede ocurrir caídas.
-70 dBm	Normal bajo: señal medianamente buena, puede sufrir problemas.
-60 dBm	Bueno: se logra un buen enlace.
-40 / -60 dBm	Señal idónea: tasas de transferencia estables.
-1 / -39 dBm	Señal excelente: difícil de conseguir en un entorno normal.
0 dBm	Señal ideal: se logra solo en laboratorios.

Fuente: A. Sánchez Peco, Estudio y análisis de la señal radioeléctrica del espectro Wifi en la universidad de Extremadura (2014).

De acuerdo con la ecuación 2.10, el punto de referencia $R=20$ dBm, escogemos el valor para las pérdidas en el enlace por el medio ambiente según la tabla 11, $n = 2.8$

Tabla 16. Valores de señal calculados hasta 100 m.

Distancia (m)	Punto de referencia dBm	n	Señal dBm
1	-20	2.8	-20
10	-20	2.8	-48
20	-20	2.8	-56.42883988
30	-20	2.8	-61.35939513
40	-20	2.8	-64.85767976
50	-20	2.8	-67.57116012
60	-20	2.8	-69.78823501
70	-20	2.8	-71.66274512
80	-20	2.8	-73.28651964
90	-20	2.8	-74.71879026
100	-20	2.8	-76

Fuente: Elaboración propia.

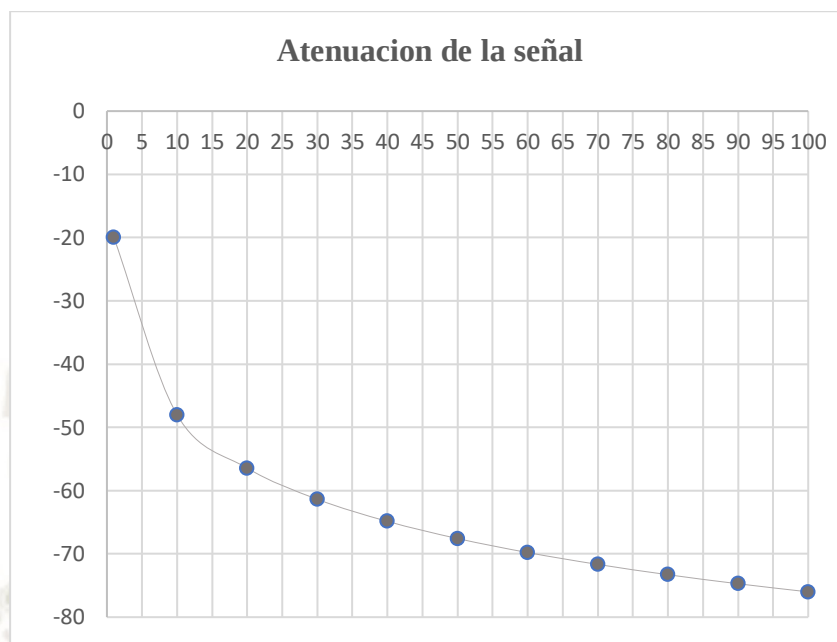


Figura 32: Nivel de señal en función de la distancia

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la tabla 16 y los requerimientos de la tesis, observamos, para una distancia entre 30 m – 40 m necesitamos tener una potencia de señal entre -61.359 dBm / -64.857 dBm. Nivel de señal muy cercana a la planteada de -60 dBm, esta medida tendrá una variación de acuerdo con las características de la tarjeta de red inalámbrica del equipo a conectar.

Los niveles expresados en dBm, son convertidos a niveles de porcentaje para la conectividad, se utiliza la tabla de conversión, basado en información obtenida por los fabricantes de tarjetas inalámbricas como Atheros y Cisco. Según la tabla de CISCO, figura 33, RSSI (indicador de intensidad de señal recibida) RSSI_Max = 100, corresponde un nivel de señal mayor de 45% para un valor de -64.8 dBm.[21]

4.1.4 Consideraciones de cobertura de red para el prototipo.

El Punto de Acceso a utilizar en el prototipo, es de tipo residencial (TP-Link TD-W8901G) por las limitaciones del equipo se obtiene un alcance máximo de 30 m.

De acuerdo con las características requeridas solo cubrimos la distancia límite de acercamiento a equipos pesados. Para una mejor cobertura es recomendable utilizar Puntos de Acceso de tipo industrial cuyo alcance es mayor a 100 m.

0	= -113	34	= -78	68	= -41
1	= -112	35	= -77	69	= -40
2	= -111	36	= -75	70	= -39
3	= -110	37	= -74	71	= -38
4	= -109	38	= -73	72	= -37
5	= -108	39	= -72	73	= -35
6	= -107	40	= -70	74	= -34
7	= -106	41	= -69	75	= -33
8	= -105	42	= -68	76	= -32
9	= -104	43	= -67	77	= -30
10	= -103	44	= -65	78	= -29
11	= -102	45	= -64	79	= -28
12	= -101	46	= -63	80	= -27
13	= -99	47	= -62	81	= -25
14	= -98	48	= -60	82	= -24
15	= -97	49	= -59	83	= -23
16	= -96	50	= -58	84	= -22
17	= -95	51	= -56	85	= -20
18	= -94	52	= -55	86	= -19
19	= -93	53	= -53	87	= -18
20	= -92	54	= -52	88	= -17
21	= -91	55	= -50	89	= -16
22	= -90	56	= -50	90	= -15
23	= -89	57	= -49	91	= -14
24	= -88	58	= -48	92	= -13
25	= -87	59	= -48	93	= -12
26	= -86	60	= -47	94	= -10
27	= -85	61	= -46	95	= -10
28	= -84	62	= -45	96	= -10
29	= -83	63	= -44	97	= -10
30	= -82	64	= -44	98	= -10
31	= -81	65	= -43	99	= -10
32	= -80	66	= -42	100	= -10
33	= -79	67	= -42		

Figura 33. Tabla de conversión de nivel de señal expresado en porcentaje a -dBm.

Fuente: WildPackets, *Converting Signal Strength Percentage to dBm Values* (2002).

4.1.5 Dispositivos a usar para la implementación del prototipo

4.1.5.1 Modem - Router inalámbrico

Para la implementación del sistema prototipo se toma como referencia el Modem/AP TP-Link TD-W8901G [22], no exceptuando que existe AP industriales de la marca CISCO u de otros modelos como:

- Access Point Aironet 1250.
- Access Point Aironet 1520 Series.
- Access Point Aironet 1142, etc.



Figura 34. Modem/AP TP-Link usado en el prototipo.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17: Características del Modem/AP

Principales características del Modem/AP TP-LINK	
Tasas de envío	Recepción: Hasta 24 Mbps
	Envío: Hasta 3.5 Mbps (Anexo M habilitado)
Características ATM	UNI 3.1/4.0, capa de adaptación de ATM tipo 5 – AAL5
	Encapsulado multiprotocolo sobre ATM (RFC 1483)
	Soporta 8 PVCs
Características PPP	PPP sobre ATM (RFC 2364)
	PPP sobre Ethernet (RFC 2516)
Características de Routing	IP clásico y ARP sobre ATM (RFC 1577/2225), MER, RIP V1/V2
	Enrutado estático IP, TCP, UDP, ARP
	Servidor NAT, NAPT, DNS, DDNS, DHCP
	UPnP (Plug and Play Universal), Servidor Virtual, DMZ
Características inalámbricas	Cumple con la IEEE 802.11g, IEEE802.11b
	11g: Hasta 54 Mbps (dinámico)
	Proporciona autenticación WPA/WPA2 y WPA-PSK/WPA2-PSK y encriptado TKIP/AES
	Proporciona seguridad de encriptado WEP 64/128 y ACL (Lista de control de Acceso) de LAN inalámbrica
	Alcance inalámbrico: Interior hasta 100m. Exterior hasta 300m.
	Potencia máxima de transmisión inalámbrica 17dBm
	Potencia de antena 3 dBi

Fuente: TPlink, Modem Router inalámbrico ADSL2+54M (2019).

4.1.5.1.1 Consideraciones de distancia

Área de cobertura se determina de acuerdo con las dimensiones de los radios de trabajo de los equipos de mayor tamaño, así como las distancias de seguimiento.

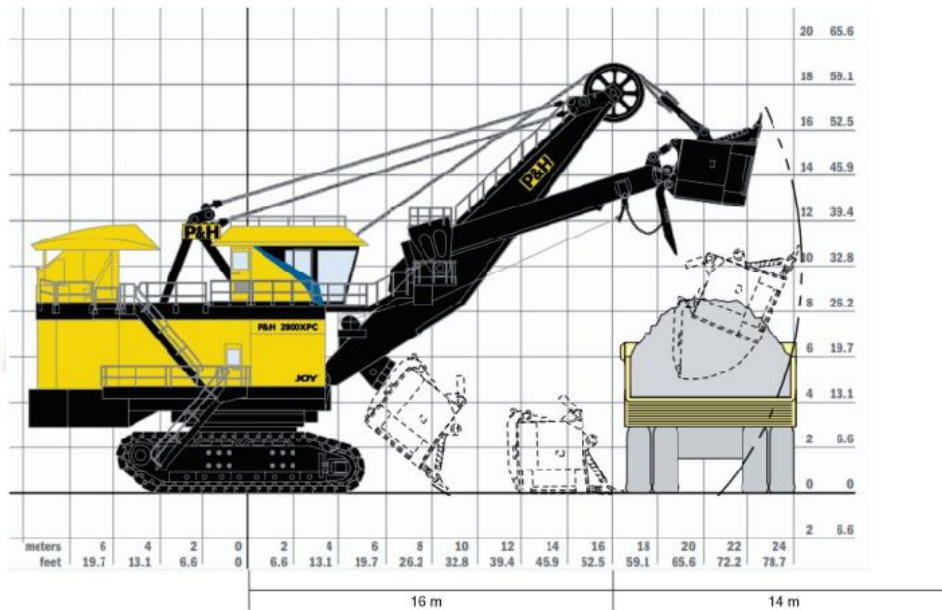


Figura 35. Radio de área de trabajo de acuerdo a la longitud de Equipo.
Fuente: Especificaciones generales de la eléctrica P&H 2800XPC [23].

El área de trabajo, para una pala eléctrica de acuerdo con la tabla 13 es de 60 m se escoge un radio de cobertura de 40 m.

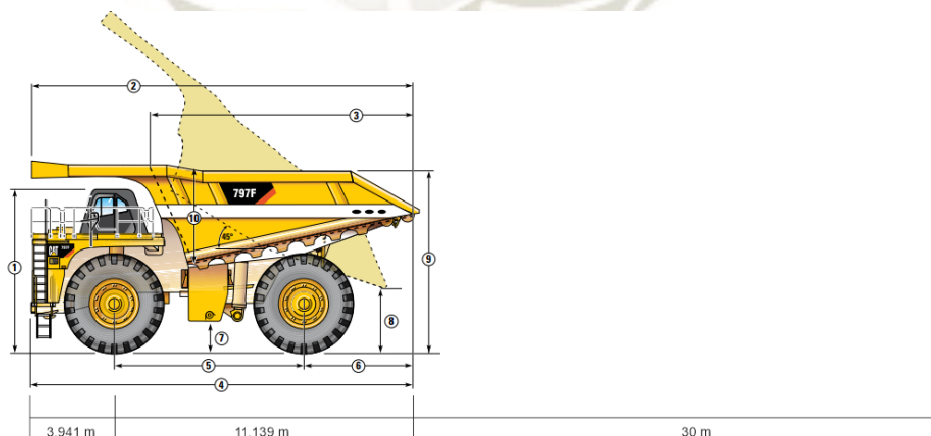


Figura 36. Distancia segura de seguimiento a camión de acarreo.
Fuente: Especificaciones generales de camión minero 797F [24].

Para el camión de acarreo se toma como referencia el modelo 797F de Caterpillar, la distancia de seguimiento según el reglamento de tránsito interno es de 30 m (tabla 14), teniendo una radio de cobertura 40 m se cubren las especificaciones de la red wifi.

4.1.5.1.2 Configuración de la red inalámbrica (Servidores):

Direccionamiento IP para los equipos conectados.

Los equipos pesados llevan un punto de acceso (Access Point), el cual permite proporcionar un rango de IP's dinámicas por zona de cobertura para los equipos livianos que ingresen a cada zona de trabajo.

Cada zona de cobertura está limitada a 20 equipos livianos que pueden ingresar a dicha zona debido a esto es que solo se requieren 20 direcciones IP's. Este rango de direcciones será un patrón repetitivo para los equipos pesados.

Para el direccionamiento IP se necesita solo una subred que cuente con 20 host disponibles, para el cálculo se ha utilizado lo siguiente:

$$\text{Numero de hosts} = 2^N - 2 \quad (2.14)$$

Donde, N es el número de bits en la porción de host y -2 es debido a que toda subred debe tener su propia dirección de red y su propia dirección de broadcast.

$$\text{Numero de subredes} = 2^N \quad (2.15)$$

Donde, N es el número de bits robados a la porción de host. Se utiliza la red de clase C, 192.168.1.0. con máscara de 255.255.255.0 esta red contiene 254 hosts.

- 192.168.1.0 = 11000000. 10101000. 00000001. 00000000
- 255.255.255.0 = 11111111. 11111111. 11111111. 00000000

De la máscara de subred se tiene 8 bits de los cuales se pueden obtener las subredes necesarias.

- 3 bits de subred = $2^3 = 8$ subredes

- 5 bits de host = $2^5 = 32$ hosts.

La nueva máscara sería:

255.255.255.224 = 11111111.11111111.11111111.11100000

Donde $224 = 2^7 + 2^6 + 2^5$.

Con esta división se tiene 8 subredes que cuentan con 30 hosts disponibles, se utilizara la subred 01: 192.168.10.32/62.

Tabla 18. Rango de valores de direcciones IP's.

Nº de subred	Subred	Mascara de subred	Primer host	Ultimo host	Broadcast
01	192.168.1.32	255.255.255.224	192.168.1.33	192.168.1.62	192.168.1.63

Fuente: Elaboración propia.

Asignación de direcciones IP's para servidores:

PALAS ELÉCTRICAS: Cumplen la función de ser servidores, distribuirán la información a todo equipo conectado a la red. Se asigna una dirección estática para establecer comunicación con los demás equipos y se encargara de asignar direcciones a los equipos que se conectaran.



Figura 37. Área de cobertura de red Wifi para pala eléctrica.

Fuente: Elaboración propia.

CAMIONES DE ACARREO: Cumplen la función de servidores, como servidores distribuirán la información a todo equipo conectado a la red, se asigna

una dirección estática para establecer comunicación con los demás equipos. La función de cliente es definida por el sistema de gestión de flotas.



Figura 38. Área de cobertura de red Wifi para camión de acarreo.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.5.1.3 Configuración del Punto de Acceso:

Cada equipo pesado se creará una red con un nombre identificador único de acuerdo con el nombre de cada equipo. Este nombre servirá de identificación para los equipos livianos, el cual se tendrá una jerarquía para la conexión.

Jerarquía de redes inalámbricas:

Tabla 19. Prioridad de conexión a Redes inalámbricas WIFI.

Prioridad	Nombre de la Red (SSID)
1	PALA_XX
2	CATP_XX/KOMT_XX

Fuente: Elaboración propia.

Ejemplo de asignación de nombres:

Tabla 20. Creación de los nombres de red.

Equipo	Identificador	Nombre de la Red (SSID)
Pala Eléctrica P&H N°12	PALA_12	PALA_12
Camión Caterpillar N°22	CATP_22	CAT_22
Camión Komatsu N°43	KOMT_43	KOMT_43

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21. Configuración principal para modem-AP.

Configuración Wireless	Datos	Descripción
SSID	PALA_XX, CATP_XX KOMT_XX,	Nombre identificador de acuerdo al nombre de equipo pesado.
Canal ID	Auto canal	Técnicas de espectro ensanchado: FHSS (Frecuencia Hopping Spread Spectrum) – DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum).
Tipo de autenticación	WPA2-PSK	Codificación de data para una LAN inalámbrica.
Encriptación	AES	Mecanismo de seguridad adicional.
Password	tesis2019	Clave de acceso a la red.
DHCP	Habilitado	Se asigna automáticamente direcciones IP (192.168.1.33 – 192.168.1.62).

Fuente: Elaboración propia.

only for test

54M Wireless ADSL2+ Modem Router

Interface Quick Start **Interface Setup** Advanced Setup Access Management Maintenance Status Help

Internet LAN **Wireless**

Access Point Settings

Access Point : ☒ Activated ☐ Deactivated

Channel : PERU 11 Current Channel: 11

Transmit Power : High

Beacon Interval(ms) : 100 (range: 20~1000)

RTS/CTS Threshold : 2347 (range: 1500~2347)

Fragmentation Threshold(bytes) : 2346 (range: 256~2346, even numbers only)

DTIM(ms) : 1 (range: 1~255)

802.11 b/g : 802.11g

Figura 39. Cambio al estándar IEEE 802.11g

Fuente: Software TP-Link.

Multiple SSIDs Settings

SSID Index : 1

PerSSID Switch : ☒ Activated ☐ Deactivated

Broadcast SSID : ☒ Yes ☐ No

SSID : PALA_12

Authentication Type : WPA2-PSK

Figura 40. Cambio de nombre de la red Wifi y el tipo de protocolo de seguridad.

Fuente: Software TP-Link.

WPA2-PSK

Encryption : **AES** ▼

Pre-Shared Key : **tesis2019** (8~63 ASCII characters or 64 hexadecimal characters)

Wireless MAC Address Filter

Active : ☐ Activated ☒ Deactivated

Action : **Allow Association** ▼ the follow Wireless LAN station(s) association.

Mac Address #1 :	00:00:00:00:00:00
Mac Address #2 :	00:00:00:00:00:00
Mac Address #3 :	00:00:00:00:00:00
Mac Address #4 :	00:00:00:00:00:00
Mac Address #5 :	00:00:00:00:00:00
Mac Address #6 :	00:00:00:00:00:00
Mac Address #7 :	00:00:00:00:00:00
Mac Address #8 :	00:00:00:00:00:00

Figura 41. Configuración de clave de red y encriptación.

Fuente: Software TP-Link.

DHCP

DHCP : ☐ Disabled ☒ Enabled ☐ Relay

DHCP Server

Starting IP Address : **192.168.1.33**

IP Pool Count : **32**

Lease Time : **86400** seconds (0 sets to default value of 259200)

Physical Ports : ☒ 1 ☒ 2 ☒ 3 ☒ 4

DHCP Table

Hostname	IP Address	MAC Address	Status	Expire Time
	192.168.1.33 ▼	Manual Config ▼	Static ▼	

Figura 42. Configuración del servicio DHCP.

Fuente: Software TP-Link.

4.1.5.2 Patch cord

Cable de 4 Pares trenzados que se usa para conectar la Estación de Control y el Punto de Acceso.



Figura 43. Patch cord.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22. Características de Patch Cord.

características de cable Patch Cord	
Fabricante	Eje Data cable
Categoría	Cat 5E
Tipo	Ethernet Patch (RJ-45)
Color	Amarillo
Medida	1.80 m
Calibre	4 PR - 24 AWG

Fuente: Elaboración propia.

4.1.5.3 Estación de control

Computadora que estará conectada al punto de acceso, la estación de control ejecutará el programa de servidor y administrará la red, a los clientes conectados a la red, en él se visualizarán los equipos conectados y el estado de cada uno en el panel de interfaz del usuario.

Para el desarrollo del prototipo se usará una laptop Toshiba, pero en la actualidad en el mercado se encuentra Tablets con los requerimientos mínimos como Windows 10.



Figura 44. Estación de control de red wifi.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23. Características de Estación de control.

Características	
Marca	Toshiba
Modelo	Satellite
Procesador	Intel core i3 2.4 GHz
Sistema operativo	Windows 10
Memoria Ram	6 GB

Fuente: Elaboración propia.

4.1.6 Integración de la etapa de Red – Wifi

En la figura 45 se muestra la conexión de los diferentes elementos, para el funcionamiento de la red inalámbrica.

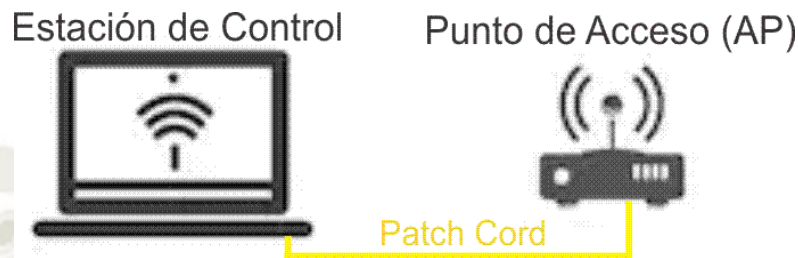


Figura 45. Esquema de conexión entre Estación y AP.

Fuente: Elaboración propia.

4.2 ETAPA II: UBICACIÓN Y POSICIONAMIENTO MEDIANTE GPS

4.2.1 Funcionamiento del módulo GPS

Para la implementación del prototipo del sistema se hace uso de módulos GPS, este módulo enviará tramas con información de la posición, altura y velocidad, dicha información es recibida en una estación de control, mediante un conversor de TTL (Transistor Transistor Logic) a USB (Universal Serial Bus), para extraer la información requerida.

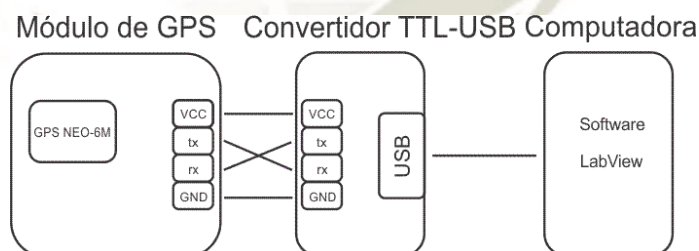


Figura 46. Diagrama de funcionamiento de Módulo GPS.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2 Dispositivos a usar en la etapa de ubicación y posicionamiento

4.2.2.1 Módulo conversor USB a TTL CP2102

El módulo conversor CP2102 [25] permite la comunicación entre la estación de control (computadora) y el módulo GPS NEO 6M, utilizando el protocolo USB.



Figura 47. Módulo CP2102.

Fuente: <https://naylampmechatronics.com/conversores-ttl/79-modulo-cp2102-conversor-usb-a-serial-ttl.html>

Tabla 24. Características de módulo CP2102.

Características	
Especificación USB 2.0	12 Mbps
Conector USB	USB tipo A
Pines de Salida (TTL)	+3.3V, RTS, TXD, RXD, GND y +5V
Oscilador	Integrado
Buffer de Recepción	576 Bytes
Buffer de transmisión	640 Bytes
Temperatura de trabajo	-40 / 85 °C

Fuente: <https://www.sparkfun.com/datasheets/IC/cp2102.pdf>

4.2.2.1.1 Controlador para el módulo CP2102

El módulo necesita un software controlador para hacer uso de los puertos COM, donde se recibirán los datos del módulo GPS. Seguimos los siguientes pasos.

Paso 1: Descargamos el controlador de la página web del fabricante.

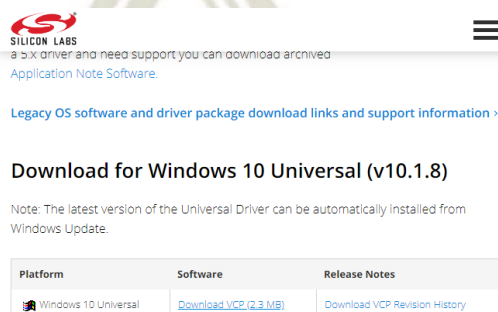


Figura 48. Descarga del controlador del módulo CP2102.

Fuente: <https://www.silabs.com/products/development-tools/software/usb-to-uart-bridge-vcp-drivers>

Paso 2: Se extraen los archivos e instalamos el software de acuerdo con la arquitectura de nuestra computadora.

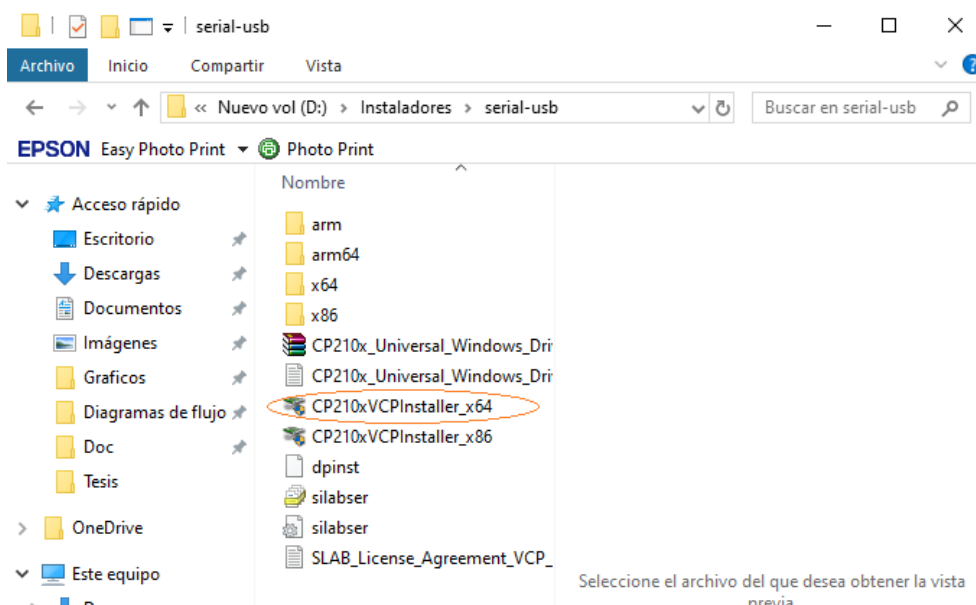


Figura 49. Instalador del controlador CP2102.

Fuente: Elaboración propia.

Paso 3: Se inicia con la instalación del software.

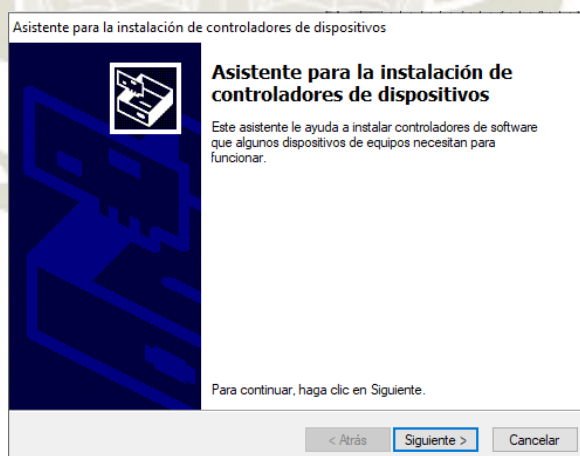


Figura 50. Inicio de instalación de controlador.

Fuente: Elaboración propia.

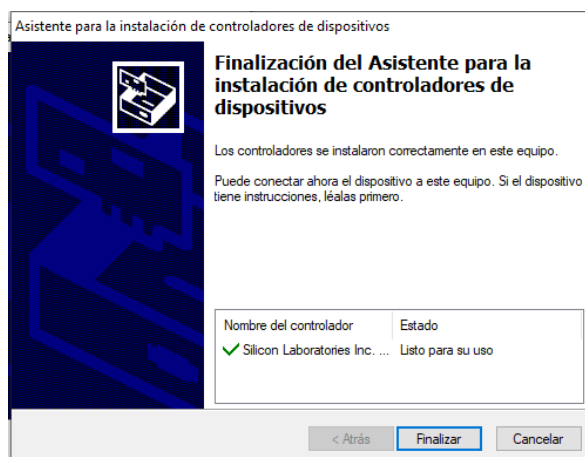


Figura 51. Fin de instalación de controlador.

Fuente: Elaboración propia.

Paso 4: Comprobación de funcionamiento del módulo conversor.

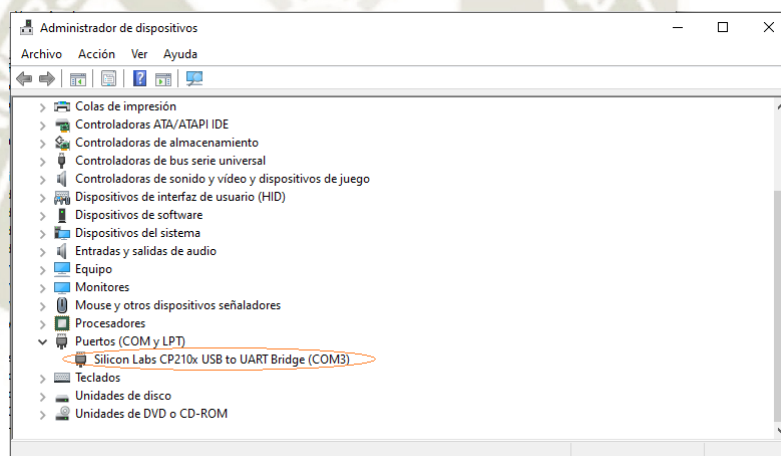


Figura 52. Verificación de correcta instalación de controlador.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2.2 Módulo NEO 6M Ublox6 GPS (Global Positioning System)

El módulo nos permitirá recibir las señales de posicionamiento de los satélites, información de navegación como la latitud, longitud, velocidad, tiempo, etc. Los módulos necesitan al menos 4 satélites para calcular su posición utilizando el método matemático conocido como trilateración [26].



Figura 53. Módulo NEO 6M GPS.

Fuente: <http://i2celectronica.com/modulos-gps-gprs-gsm/67-gps-ublox-neo-6m.html>

Tabla 25. Características del módulo u blox NEO 6M GPS.

Características	
Interface	Nivel TTL, 3.3 V
Tipo de receptor	50 canales u-block 6 engine GPS LI C/A Code SBAS: WAAS, EGNOS, MSAS
Tasa de actualización de navegación	5 Hz
Precisión	Posición: 2.5 m CEP SBAS: 2.0 m CEP
Adquisición	Arranque en frío: 27 s Arranque asistido: < 3 s Arranque en caliente: 1 s
Sensibilidad	Tracking: -162 dBm Arranque en frío: -147 dBm Arranque en caliente: -156 dBm
Voltaje de operación	3.3 VDC-5.0 VDC
Corriente de operación	45 mA
Impedancia TXD/RXD	510 ohm

Fuente: [https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_\(GPS.G6-HW-09005\).pdf](https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_(GPS.G6-HW-09005).pdf)

4.2.2.2.1 Configuración de módulo NEO 6M GPS

Para la configuración del módulo se necesita el software del fabricante U-Center, este software no solo nos permitirá variar parámetros del módulo GPS, sino que también podremos verificar el funcionamiento correcto del módulo.

Seguimos los siguientes pasos:

Paso 1: Descargamos el software de la página del fabricante para la versión Windows 10.

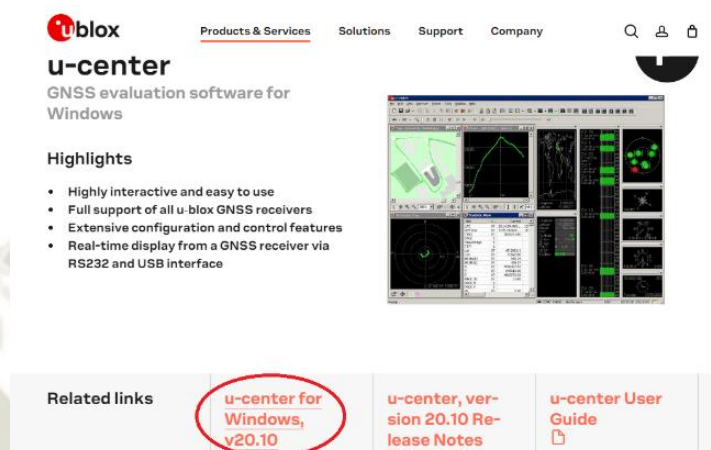


Figura 54. Página Web de descarga del software.

Fuente: <https://www.u-blox.com/en/product/u-center>

Paso 2: Instalamos el software y procedemos a abrir el programa.

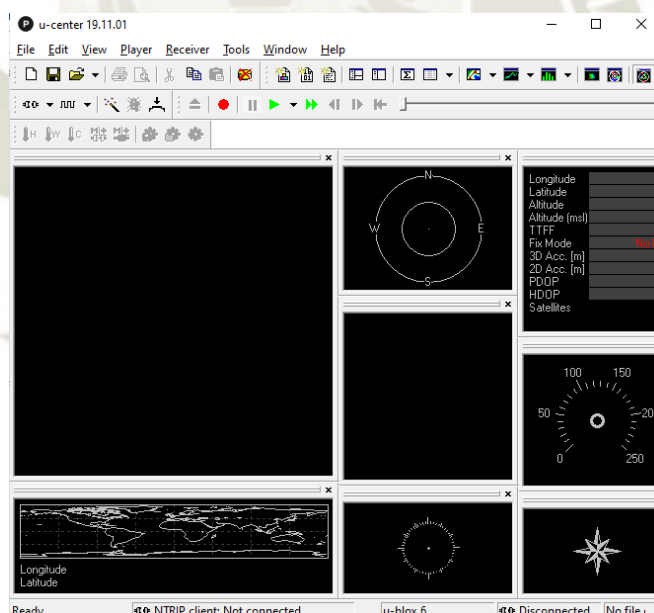


Figura 55. Programa de U-Center para módulos GPS.

Fuente: Programa U-Center.

Paso 3: Conectamos el módulo GPS, buscamos el puerto de conexión del módulo y presionamos para iniciar la configuración.

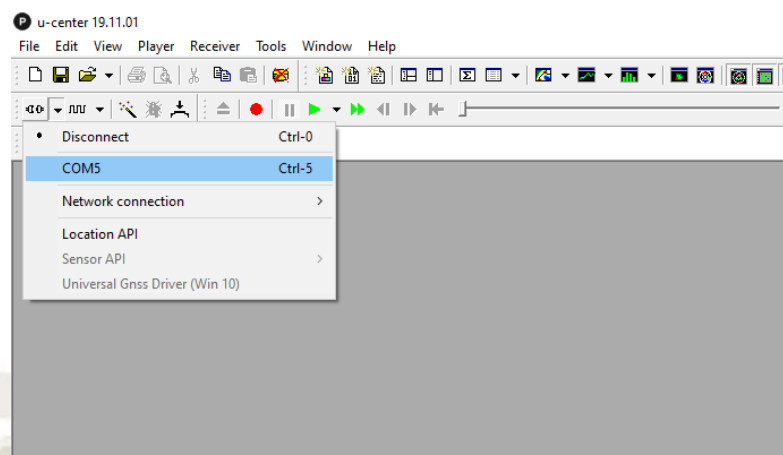


Figura 56. Conexión de módulo en el puerto asignado.

Fuente: Programa U-Center.

Paso 4: Cambiamos el modo de navegación en la opción NAV5 (Navigation 5). Ruta: View / Configuration View / Nav5 (Navigation 5). Esta configuración permitirá al módulo GPS tener una mayor exactitud.

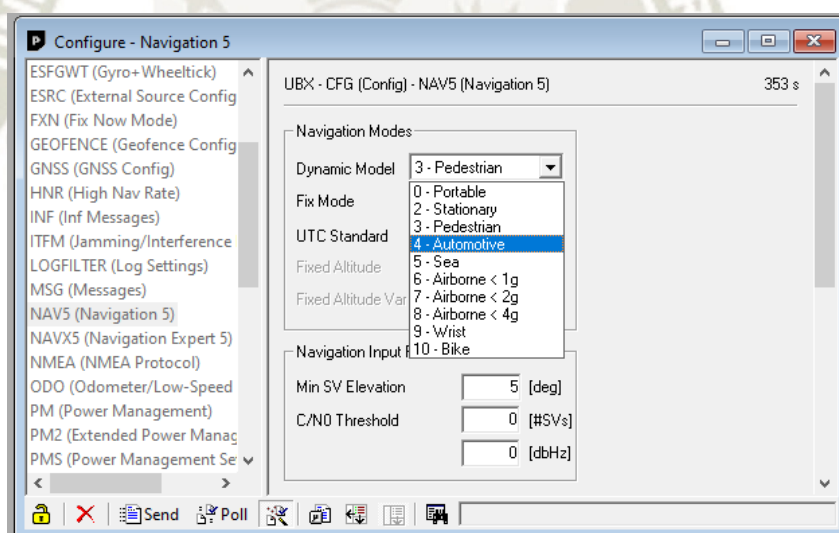


Figura 57. Cambio en el modo de navegación.

Fuente: Programa U-Center.

Paso 5: Cambiamos el protocolo de salida del módulo, a sentencias de tipo NMEA (National Marine Electronics Association), estándar adoptado por la mayoría de receptores, y la velocidad de transmisión de datos a 38400 baudios. Ruta: View / Configuration View / PRT (Ports).

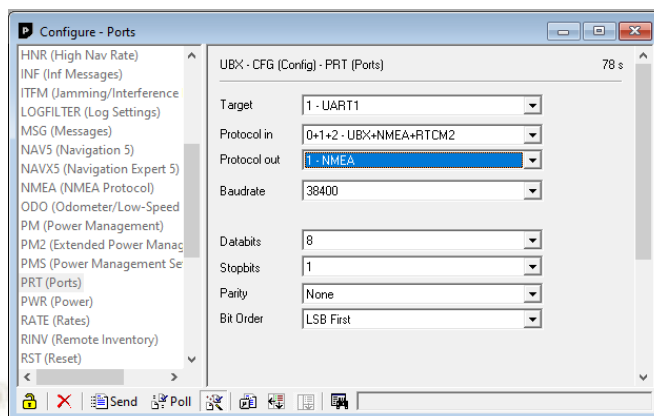


Figura 58. Configuración de sentencias y baudaje.

Fuente: Programa U-Center.

Paso 6: Modificamos el periodo del módulo GPS a 200 ms. Ruta: View / Configuration View / RATE (Rates).

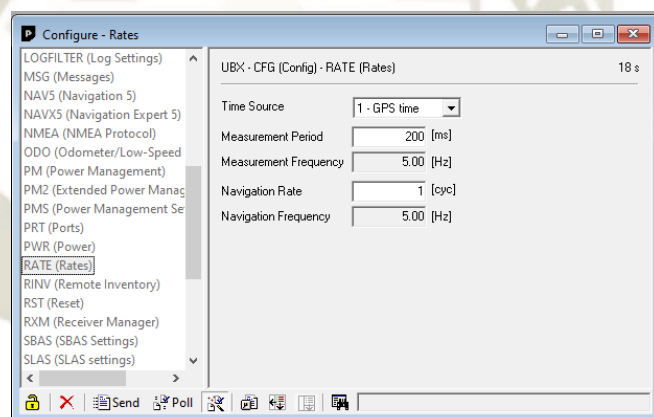


Figura 59. Configuración del periodo.

Fuente: Programa U-Center.

Paso 6: Para conservar los cambios, guardamos los cambios.

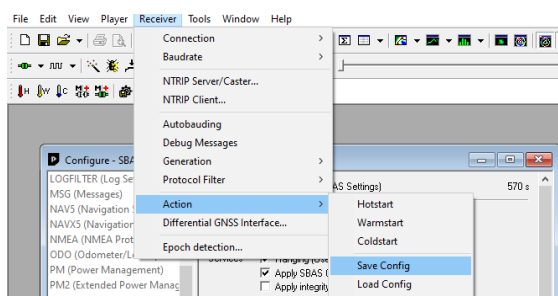


Figura 60. Ventana para guardar los cambios.

Fuente: Programa U-Center.

4.2.2.2.2 Verificación de funcionamiento del módulo

El programa nos muestra los datos de latitud, longitud, altitud, velocidad y números de satélites conectados, así como el nivel de potencia de cada satélite.

Para comprobar si los datos obtenidos son reales, ponemos los datos en Google maps.

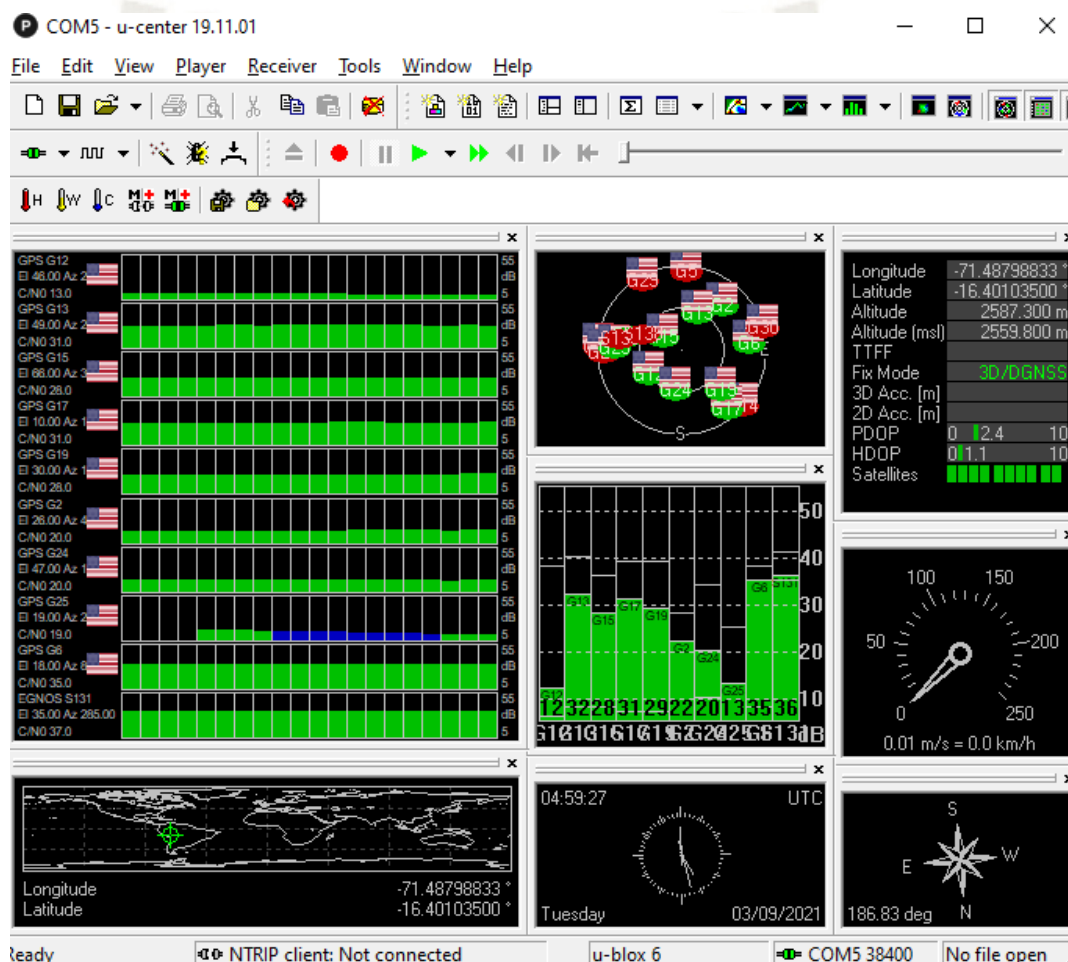


Figura 61. Datos obtenidos por el programa del módulo GPS.

Fuente: Programa U-Center.

De acuerdo a la figura 61, obtenemos los siguientes datos.

- Latitud = -16.40103500
- Longitud = -71.48798833

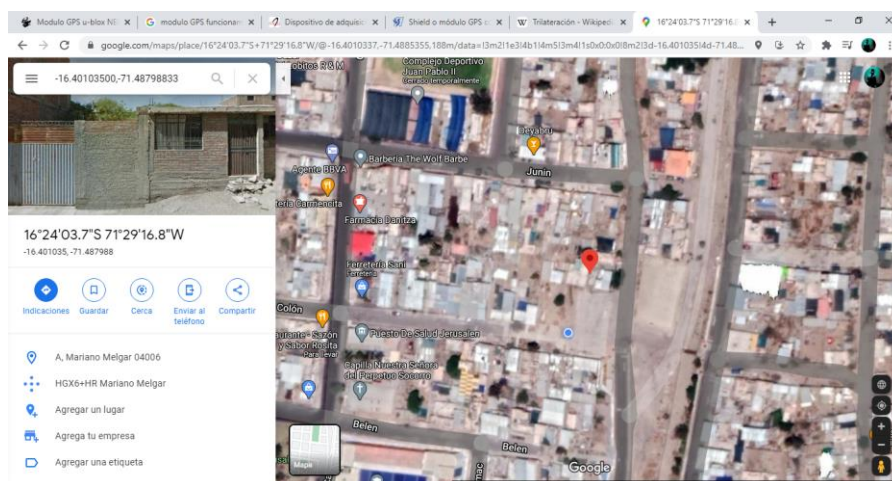


Figura 62. Ubicación de acuerdo a los datos del GPS.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al resultado de Google maps, nos da la ubicación correcta.

4.2.2.3 Estación de control:

Computadora donde se conecta el módulo GPS, la estación de control ejecutara el programa de control, adquisición y distribución de datos. En este dispositivo se visualizarán los equipos conectados y el estado de cada uno de ellos.



Figura 63. Estación de control para módulo GPS.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26. Características de la estación de control para el módulo GPS.

Características	
Marca	Toshiba
Modelo	Satellite L845
Procesador	Intel core i3 2.4 GHz
Sistema operativo	Windows 10
Memoria Ram	8 GB

Fuente: Elaboración propia.

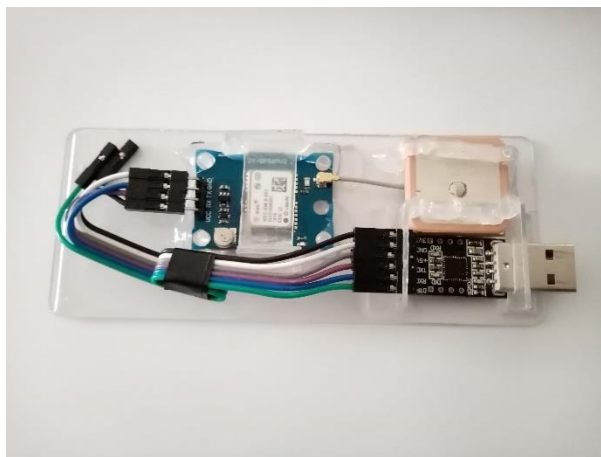


Figura 64. Módulo GPS N° 1.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 65. Módulo GPS N° 2.

Fuente: Elaboración propia.

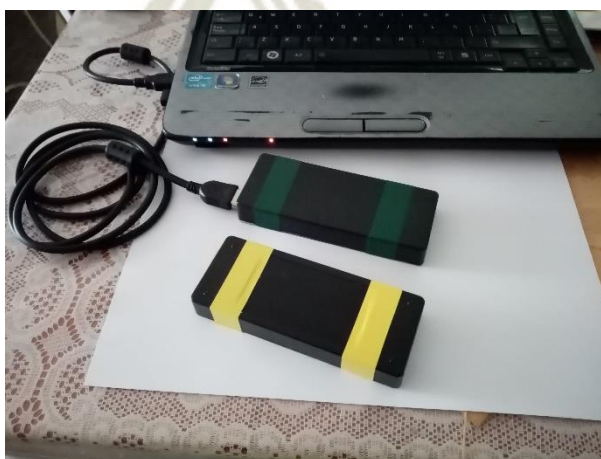


Figura 66. Cubierta de protección de módulos GPS.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3 Integración de la etapa de posicionamiento global

En la figura 67 se muestra la conexión del módulo GPS con la estación de control.

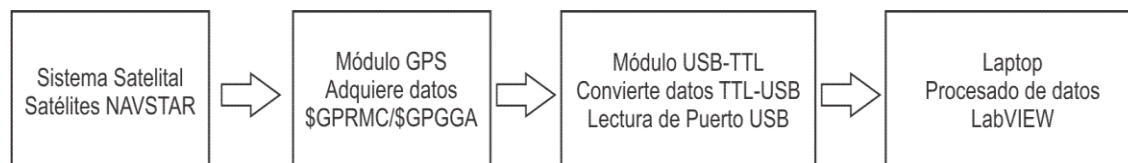


Figura 67. Esquema de adquisición de datos de módulo GPS.

Fuente: Elaboración propia.

4.3 ETAPA III: PROGRAMACIÓN E INTEGRACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

En esta etapa se crearán los programas para los equipos pesados y los equipos ligeros, cabe resaltar que el programa para los equipos pesados, será el mismo la única diferencia será el nombre de la red y del equipo.

La programación se desarrolla en lenguaje gráfico (LabVIEW), se elaboran subprogramas (SubVI) de uso general, para reducir el tiempo de ejecución.

Se desarrollará 2 interfaces, cada interfaz estará conformada por programas dependientes que se ejecutaran según requiera el sistema.

4.3.1 Programas de uso general

4.3.1.1 Programa de comunicación USB-GPS

El programa permitirá tener lectura de los datos entregados por el módulo GPS, se habilita parámetros necesarios; puerto serial, la tasa de baudios y buffer. A través de NI-VISA LabVIEW, nos proporciona una interfaz de programación para controlar instrumentos Ethernet, GPIB, seriales, USB.

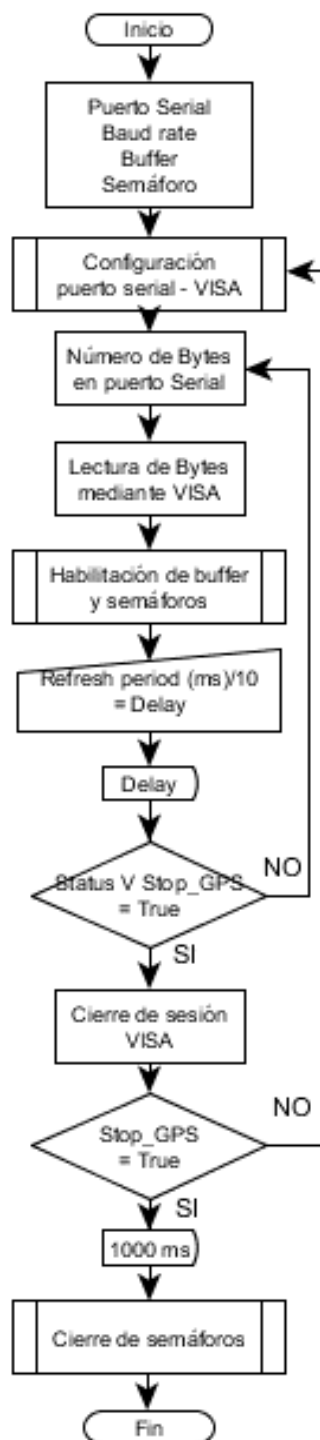


Figura 68. Diagrama de flujo del programa comunicación USB-GPS.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.2 Programa de adquisición de datos -GPS

Los datos de interés son la longitud y velocidad, nos centraremos en la trama \$GPRMC (Recommended minimum specific GPS/Transit data), \$GPGGA.

PROGRAMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS - GPS

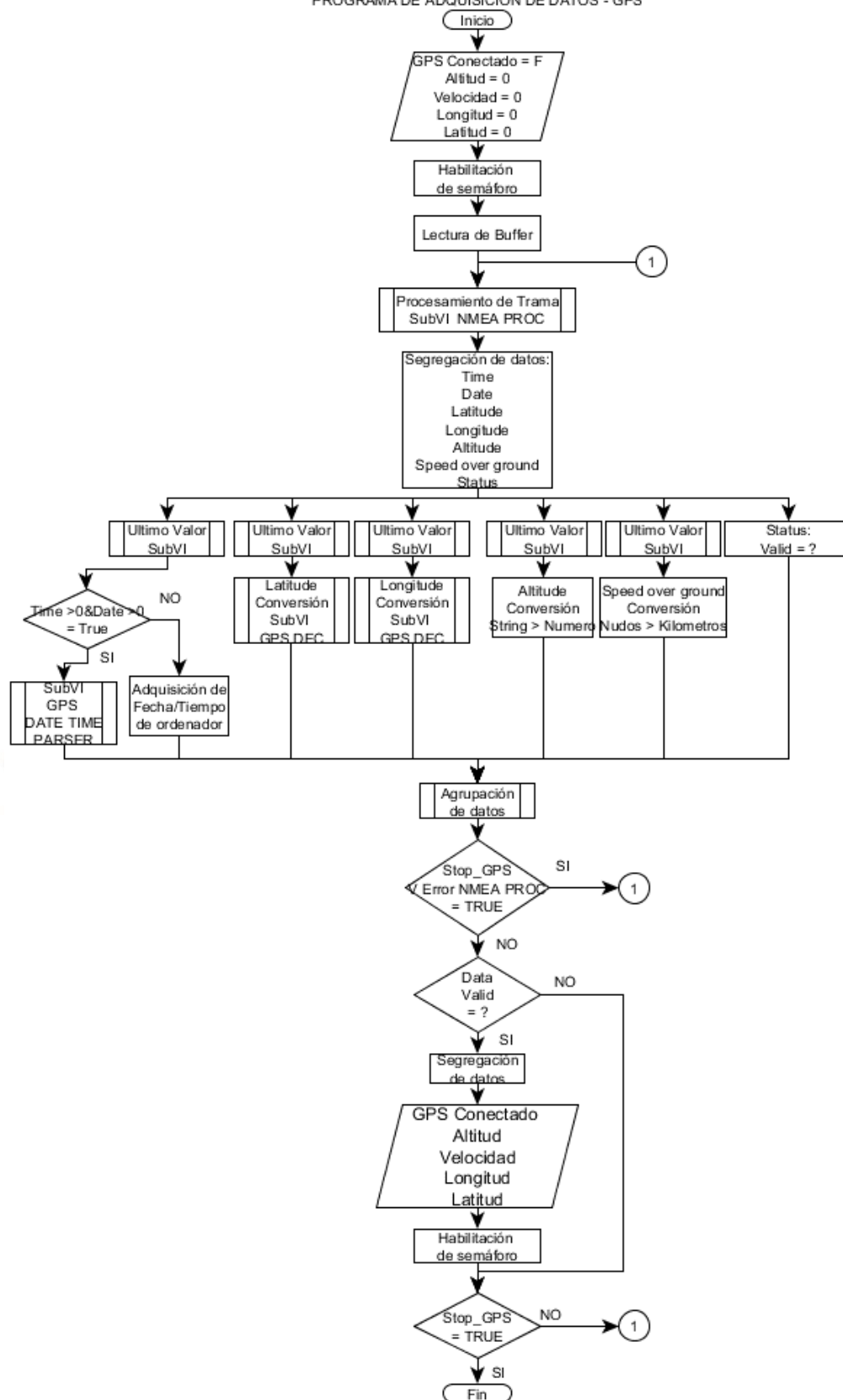


Figura 69. Diagrama de flujo - Programa de adquisición de datos GPS.

Fuente: Elaboración propia.

El programa está conformado por subprogramas (SubVI).

4.3.1.2.1 Subprograma de procesado principal NMEA

NMEA
PROC

Se realiza la separación de los parámetros: latitud, longitud, altura y velocidad, de la trama \$GPRMC y \$GPGLL.

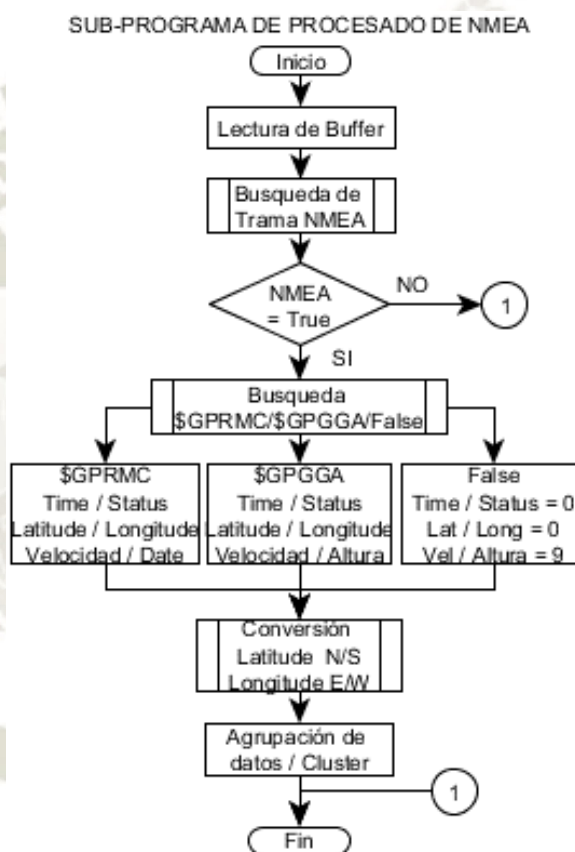


Figura 70. Diagrama de flujo - Subprograma procesado de NMEA.

Fuente: Elaboración propia

4.3.1.2.2 Subprograma de conversión de formatos de coordenadas

GPS
DEC

Las coordenadas obtenidas del módulo GPS, están dadas en coordenadas GPS sexagesimales (grados, minutos, segundos), se hace la conversión a grados decimales [27].

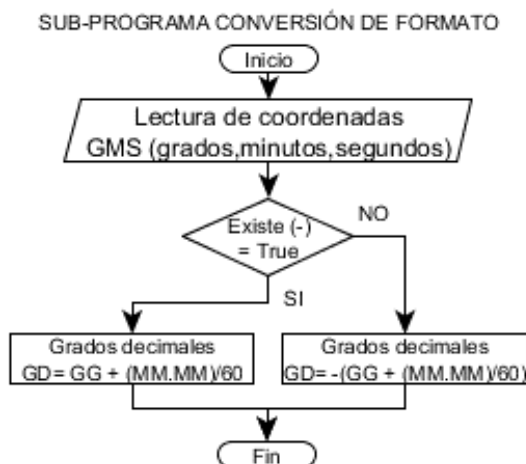


Figura 71. Diagrama de flujo – Subprograma conversión de coordenadas.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.2.3 Subprograma de interpretación de fecha y hora

GPS
DATE
TIME
PARSER

Extraemos la fecha y la hora de la trama.

SUB-PROGRAMA DE INTERPRETACIÓN FECHA-HORA

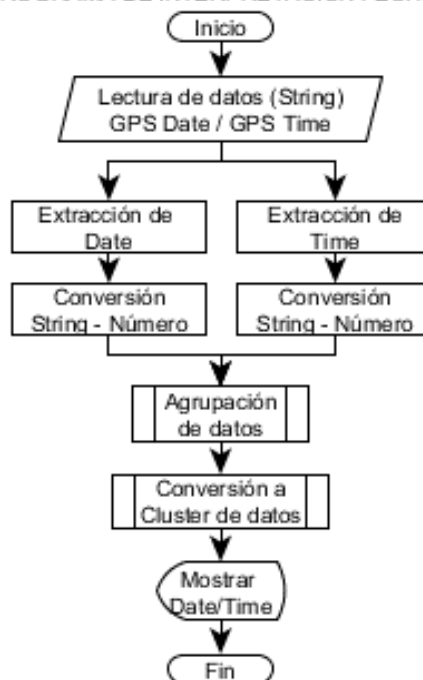


Figura 72. Diagrama de flujo - Subprograma de interpretación fecha y hora.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.2.4 Subprograma de permanencia de ultimo valor (String)

Str%0

El programa enviará el último dato recibido si no encuentra dato en la entrada.

SUB-PROGRAMA DE PERMANENCIA DE VALOR

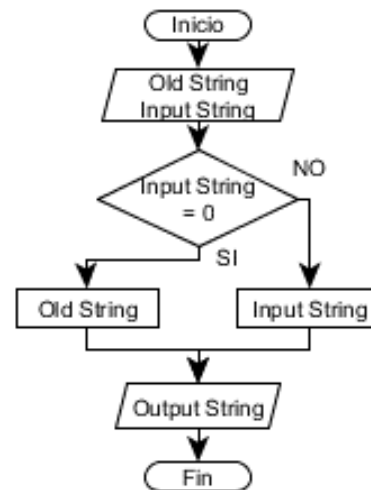


Figura 73. Diagrama de flujo - Permanencia de valor.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.3 Programa servidor de datos - Servidores

El programa servidor de datos, permite la recepción de tramas de datos de los diferentes equipos livianos conectados a la red y su distribución a cada uno de ellos. Se establece múltiples conexiones de clientes a un único servidor (PALA_XX, CATP_XX, KOMT_XX), mediante el protocolo TCP/IP. Se emplea máquina de estados para poder realizar la distribución de datos se inicia con la función TCP-Listener, para crear una referencia de escuchar para la búsqueda de nuevas conexiones de clientes, a través del puerto TCP 6341, el cual nos garantizara la conexión y la entrega de paquetes de datos de manera bidireccional. Seguido con la función TCP Wait on Listener, se verifica la existencia de nuevas conexiones, si existen se procede a enviar datos en caso de no existir se vuelve a hacer la consulta. Se envía datos a los clientes, se intenta leer un byte del cliente mediante la función TCP Read verificando la lectura se procede con él envío de datos mediante la función TCP Write. Si el tiempo de espera se agota, se envía un byte indicando el cierre de conexión.

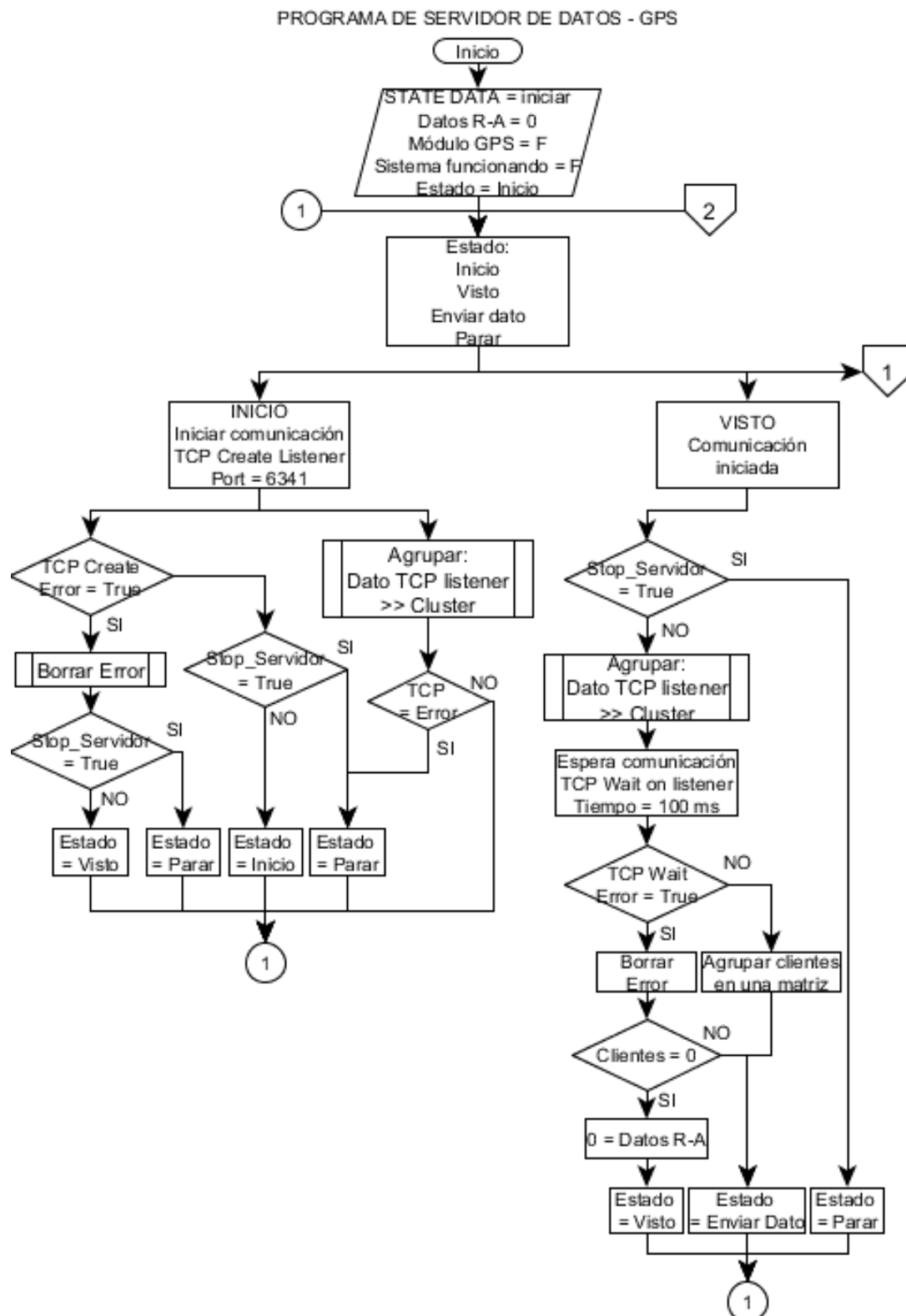


Figura 74. Diagrama de flujo del programa de servidor de datos – Parte A.

Fuente: Elaboración propia.

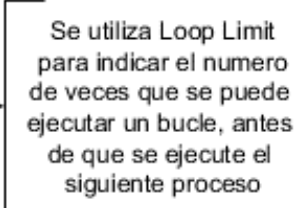


Figura 75. Diagrama de flujo del programa de servidor de datos – Parte B.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.4 Programa de envío y control de datos - Servidor

El programa agrupa los datos del módulo GPS del equipo pesado con los datos de los equipos livianos conectados a la red, esta nueva lista de datos (Array) es enviada al programa servidor de datos para su distribución.

A la vez el programa recepcionará los datos de velocidad y distancia con respecto a cada cliente, dichos datos serán procesados por el control difuso para activar los niveles de alarmas.

PROGRAMA DE ENVÍO Y CONTROL DE DATOS - SERVIDOR

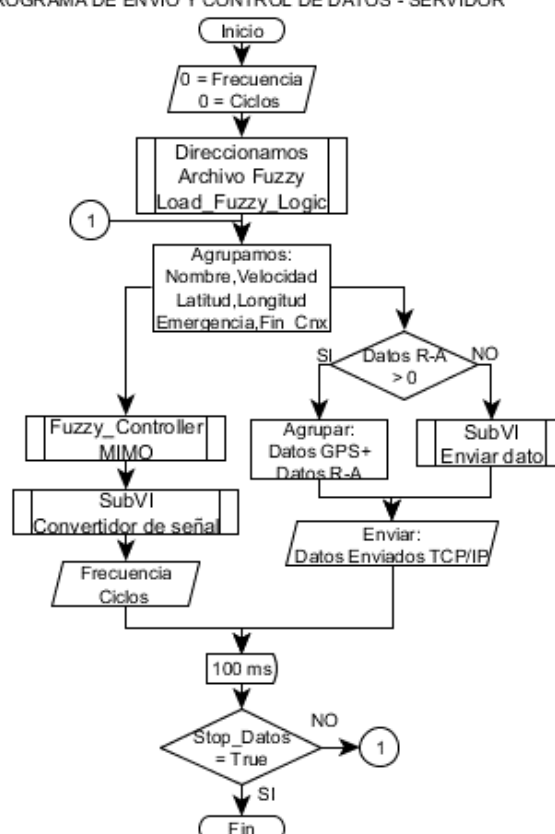


Figura 76. Diagrama de flujo - programa de envío y control de datos servidor.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.4.1 Subprograma de envío de datos



Este SubVi reúne los datos obtenidos del módulo GPS, pero los datos tienen diferentes formatos, se realiza la conversión a formato string para el envío:

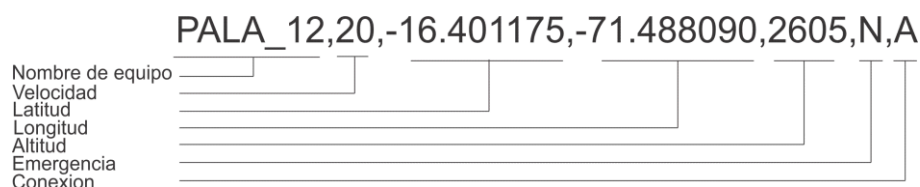


Figura 77. Formato de trama de datos para envío y recepción.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27: Descripción de datos en el formato

Dato	Descripción
Nombre de equipo	Nombre identificador de equipo
Velocidad	Velocidad del equipo (Km/h)
Latitud	Latitud en grados decimales
Longitud	Longitud en grados decimales
Altitud	Altura del equipo (msnm)
Emergencia	Equipo en buen estado, si/no (S / N)
Conexión	Permanecer conectado, si/no (Q/A)

Fuente: Elaboración propia

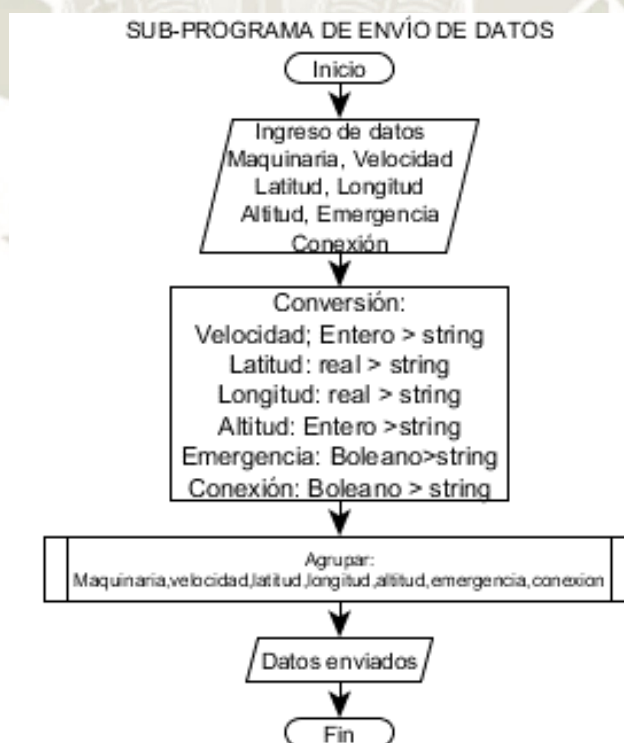


Figura 78. Diagrama de flujo - envío de datos.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.4.2 Subprograma de convertidor a señal sonora



En el programa se introducirán los valores de alarma y peligro proveniente del control difuso, los valores oscilan de 0 – 10, estos datos se deberán escalar a valores de frecuencia de sonido y ciclos para el programa de alarmas del sistema.

Tabla 28. Equivalencia de datos para la Frecuencia.

Dato	Alarma	Frecuencia (Hz)
Nivel máximo	10	3000
Nivel mínimo	0	400

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla 28, se necesita hacer el escalado para obtener los valores para la frecuencia de sonido para la alarma del sistema.

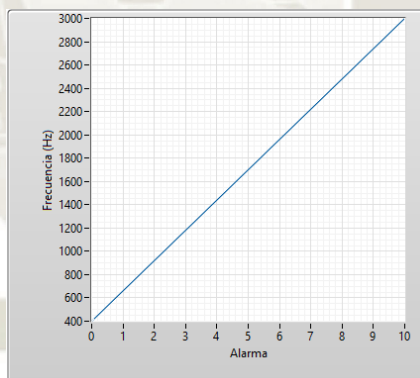


Figura 79. Normalización de valores para la frecuencia de sonido.

Fuente: Elaboración propia.

De la figura 79, de acuerdo a la ecuación de la recta obtenemos:

$$3000 = 10(m) + n : \text{para } x = 10$$

$$400 = 0(m) + n : \text{para } x = 0$$

Donde; $m = 260$ y $n = 400$, entonces:

$$y = 260(x) + 400 : x = \text{Alarma}, y = \text{frecuencia}$$

Se aplica el mismo análisis para encontrar el número de ciclos.

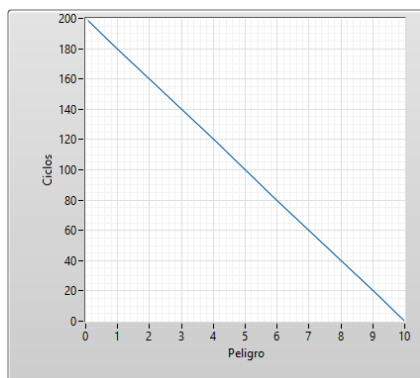


Figura 80. Normalización de valores para el número de ciclos.

Fuente: Elaboración propia

De la figura 80, de acuerdo a la ecuación de la recta obtenemos:

$$200 = 0(m) + n : \text{para } x = 0$$

$$0 = 10(m) + n : \text{para } x = 10$$

Donde; $m = -20$ y $n = 200$, entonces:

$$y = -20(x) + 200 : x = \text{Peligro}, y = \text{Ciclos}$$

Obtenido las ecuaciones se realiza la programación.

SUB-PROGRAMA CONVERTIDOR DE SEÑAL

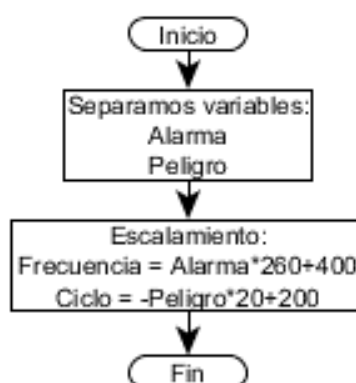


Figura 81. Diagrama de flujo – subprograma convertidor de señal.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.5 Programa de recepción, gráfico y ubicación de equipos

Los datos recibidos de la variable Datos R-A son separados mediante el subprograma Recibidos, se extraen las coordenadas, velocidad y nombre de equipos conectados, el subprograma calcula las coordenadas convierte en datos

de latitud y longitud en coordenadas polares. Las coordenadas polares son graficadas mediante el subprograma ploteo de coordenadas, como resultado obtendremos la distancia y la velocidad de cada equipo.

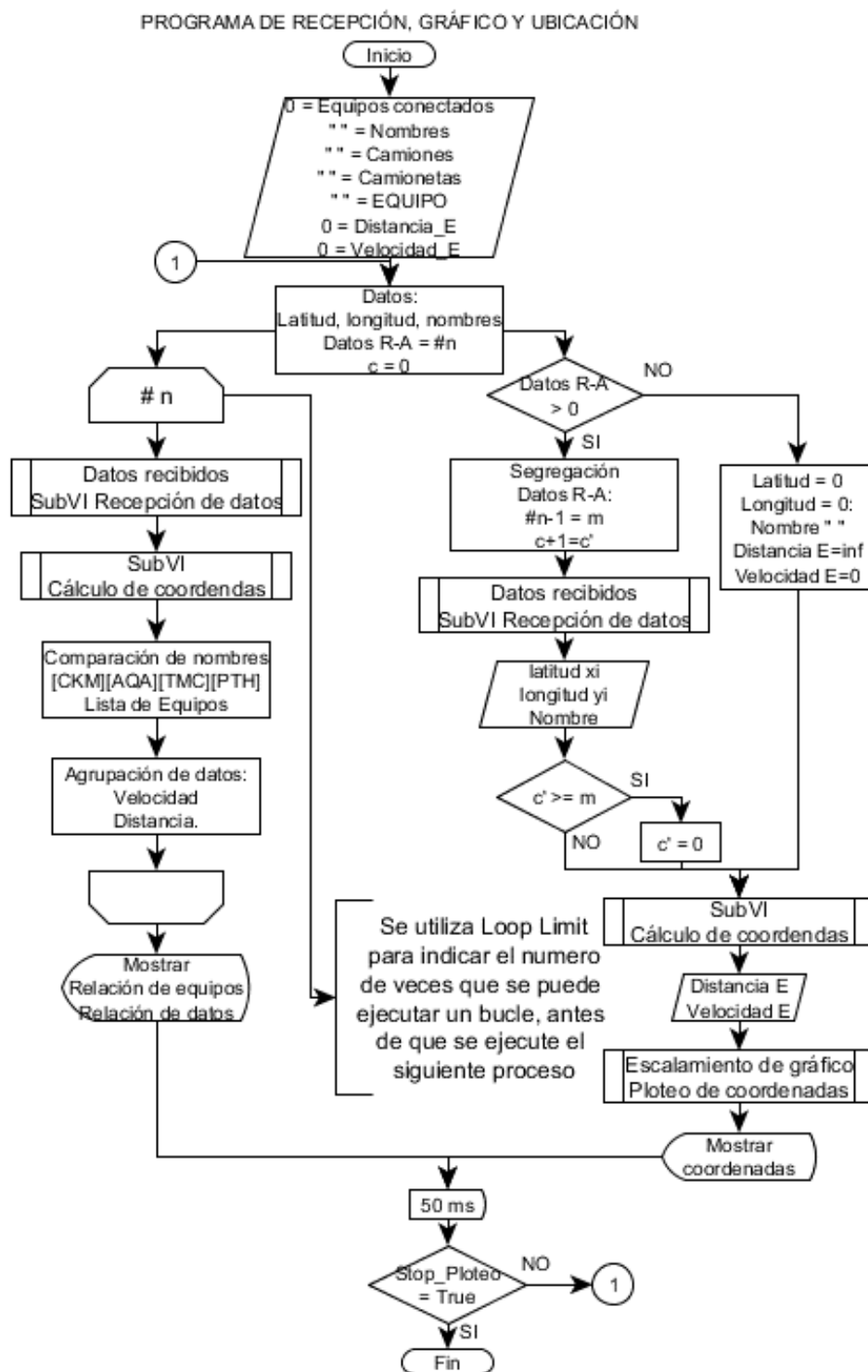


Figura 82. Diagrama de flujo - Programa de recepción, gráfico y ubicación de equipos.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.5.1 Subprograma de recepción de datos



La trama de datos recepcionados son separados para poder ser tratados, el proceso es inverso al agrupamiento de datos.

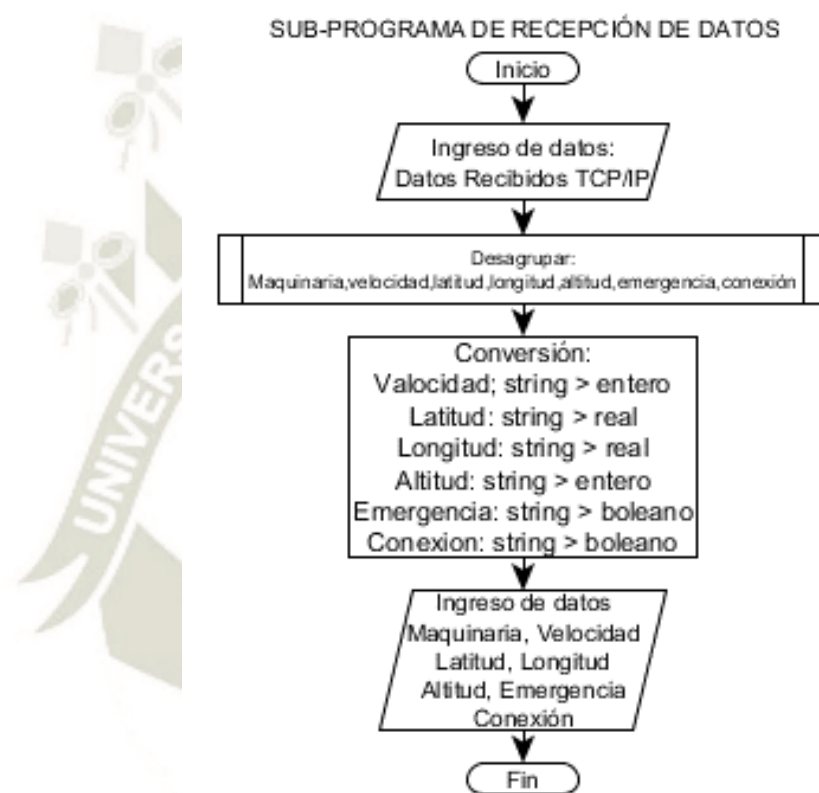


Figura 83. Diagrama de flujo- Subprograma de recepción de datos.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.5.2 Subprograma de cálculo de coordenadas



Los valores de latitud toman como referencia el plano ecuatorial, en nuestro caso tomaran valores negativos por pertenecer al hemisferio sur ($0^{\circ}/90^{\circ}$).

Los valores de longitud toman el mismo principio, tomando como referencia el meridiano de Greenwich, para nuestro caso serán valores negativos por pertenecer al oeste del meridiano ($0^{\circ}/180^{\circ}$).

Las coordenadas de latitud y longitud tienen el formato de coordenadas decimales, son convertidas en coordenadas polares para ser representadas en una gráfica.

$$x = r * \cos\theta \quad y = r * \sin\theta \quad (4.1)$$

Donde:

r = Distancia entre dos puntos.

$\theta = \arctg(\Delta y / \Delta x)$.

Para el cálculo de la distancia entre dos puntos de coordenadas GPS, utilizamos la fórmula de Haversine [28].

$$D = 2 * R * \arcsin\left(\sqrt{\sin^2\left(\frac{l_2 - l_1}{2}\right) + \cos(l_1) * \cos(l_2) * \sin^2\left(\frac{i_2 - i_1}{2}\right)}\right) \quad (4.2)$$

Donde:

l_1 = Latitud inicial.

l_2 = Latitud final.

i_1 = Longitud inicial.

i_2 = Longitud final.

R = Radio de la tierra , 6372 km.

Comprobamos la fórmula con los siguientes puntos:

Punto 1: $(l_1, i_1) = -16.398711, -71.536532$

Punto 2: $(l_2, i_2) = -16.398800, -71.537400$

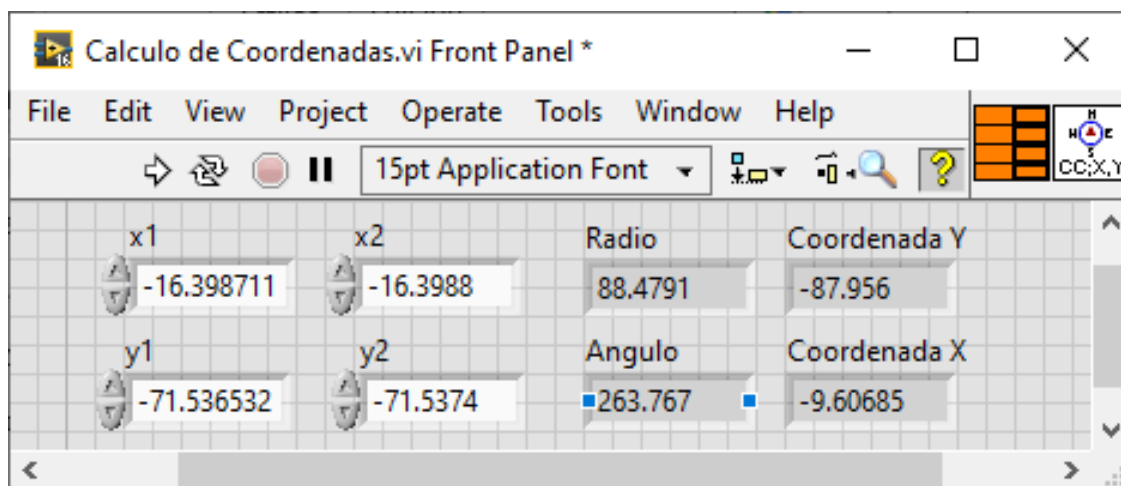


Figura 84. Distancia entre coordenadas - fórmula haversine.

Fuente: Elaboración propia.

De la figura 84 obtenemos una distancia de 88.4791 m.

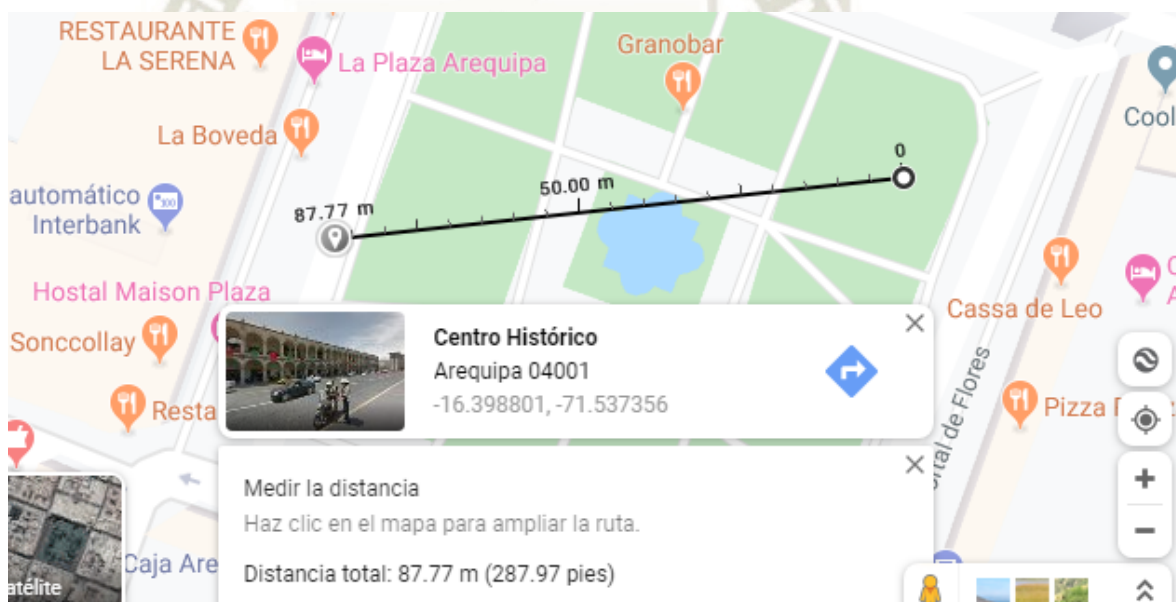


Figura 85. Distancia entre 2 puntos aplicando Google maps.

Fuente: Elaboración propia.

De la figura 85 obtenemos una distancia de 87.7 m.

Como resultado obtenemos un error de 0.7091 m.

SUB-PROGRAMA DE CÁLCULO DE COORDENADAS

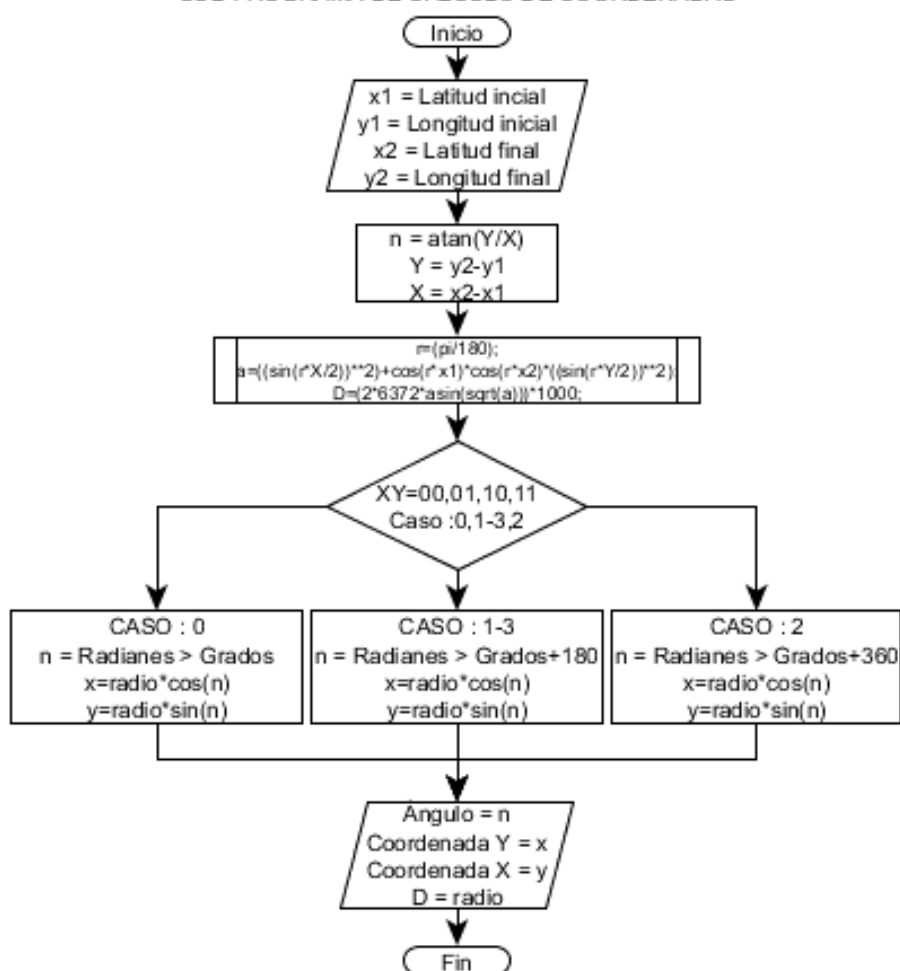


Figura 86. Diagrama de flujo - subprograma de cálculo de coordenadas.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.5.3 Subprograma de ploteo de coordenadas



Las coordenadas polares obtenidas del subVI cálculo de coordenadas, son ubicados en un plano polar, en este plano se orienta de acuerdo con los puntos cardinales.

En el plano se muestra mediante un punto el equipo dentro del área de conexión su distancia con respecto al equipo receptor indicando el nombre.

SUB-PROGRAMA DE PLOTEO DE COORDENADAS

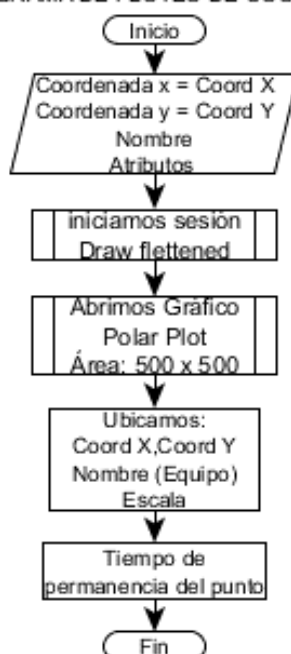


Figura 87. Diagrama de flujo - subprograma de ploteo de coordenadas.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.5.4 Subprograma de escala de grafico



El subprograma nos permitirá cambiar la escala del gráfico, entre 0 – 60 metros.

SUB-PROGRAMA DE ESCALA DE GRÁFICO

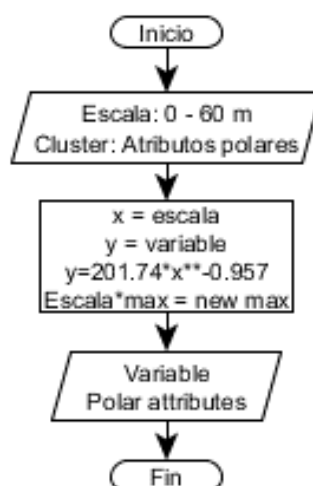


Figura 88. Diagrama de flujo - Subprograma de escala de gráfico.

Fuente: Elaboración propia.

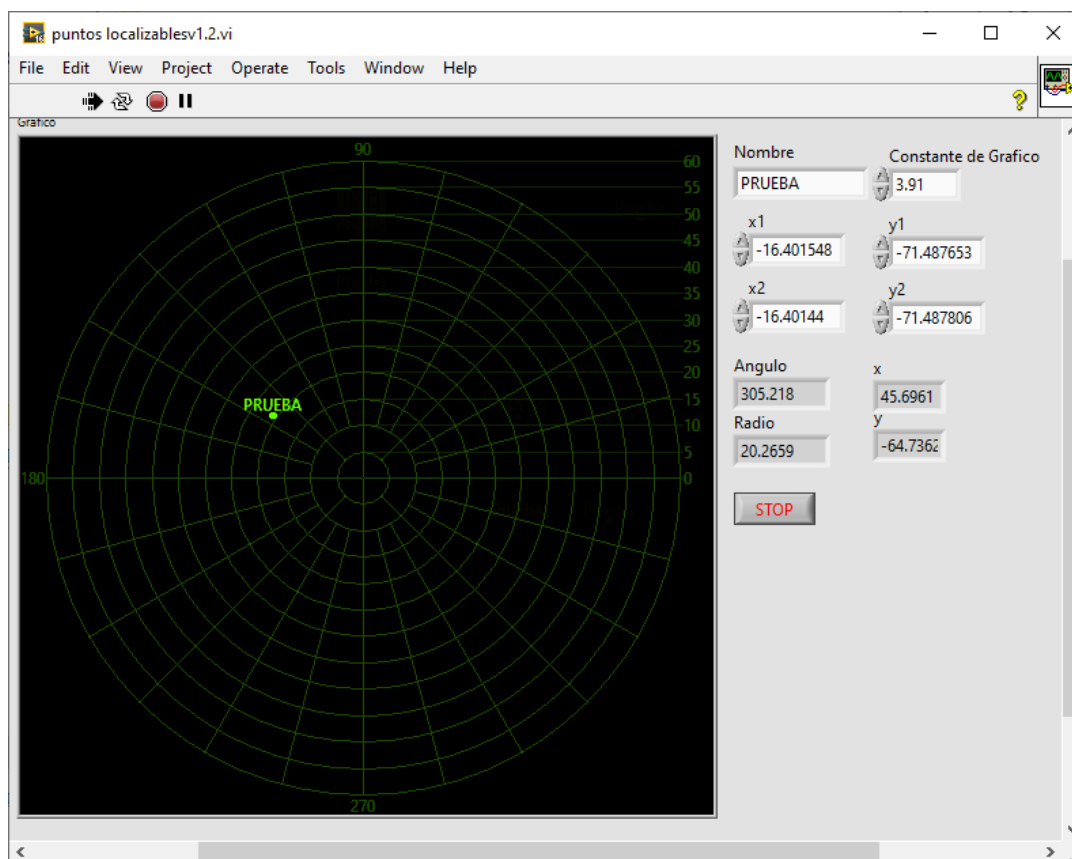


Figura 89. Interface de gráfico y ubicación de coordenadas – LabVIEW.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.6 Programa de Alarmas del sistema

El programa genera una señal sonora y activa un indicador visual en la interfaz, los valores de frecuencia y ciclos de repetición obtenidos del programa de envío y control de datos determinarán el tipo de sonido.

La variación del sonido (Beep) se realiza para evitar ser una molestia en la cabina del conductor.

Ante un peligro mayor, la frecuencia del sonido será más agudo (3000 Hz) y los ciclos de repetición serán más continuo (0.5 s.), si el nivel de peligro es menor la frecuencia de sonido será media (400 Hz) con una repetición menos continua (6 s).

PROGRAMA DE ALARMA DEL SISTEMA

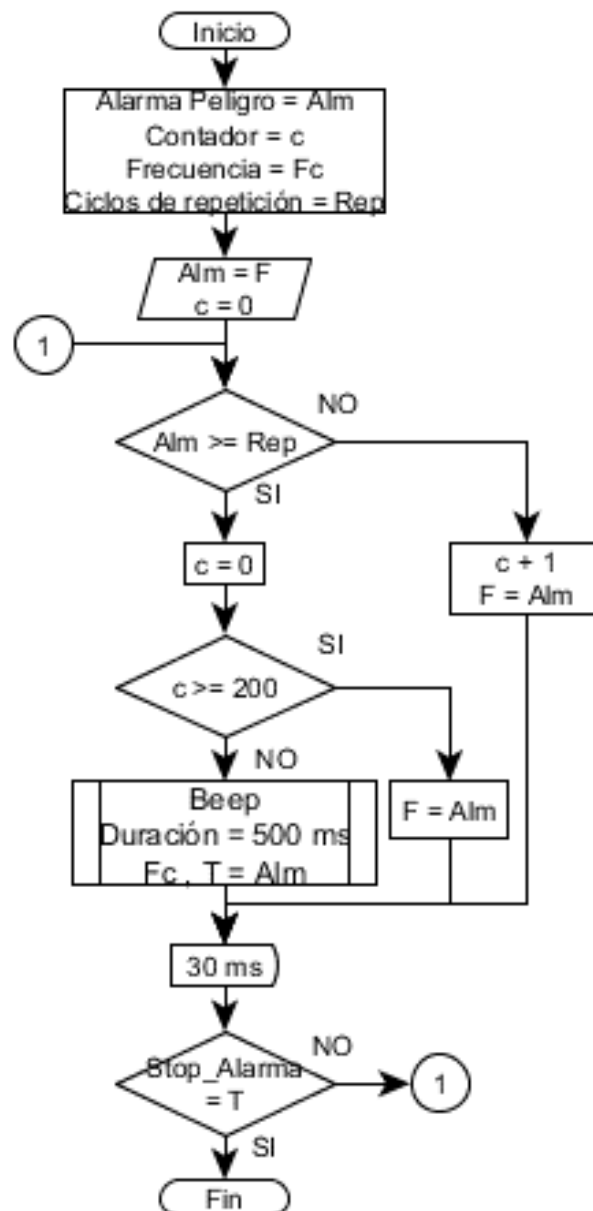


Figura 90. Diagrama de flujo - Programa de alarma del sistema.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.7 Programa de apagado del sistema

Debido a la cantidad de programas se ejecutan en paralelo, se hace necesario un programa para controlar el apagado de cada uno de ellos y evitar ciclos eternos de ejecución. Dicho programa contiene una estructura de evento para ejecutar la secuencia.

PROGRAMA DE APAGADO DEL SISTEMA

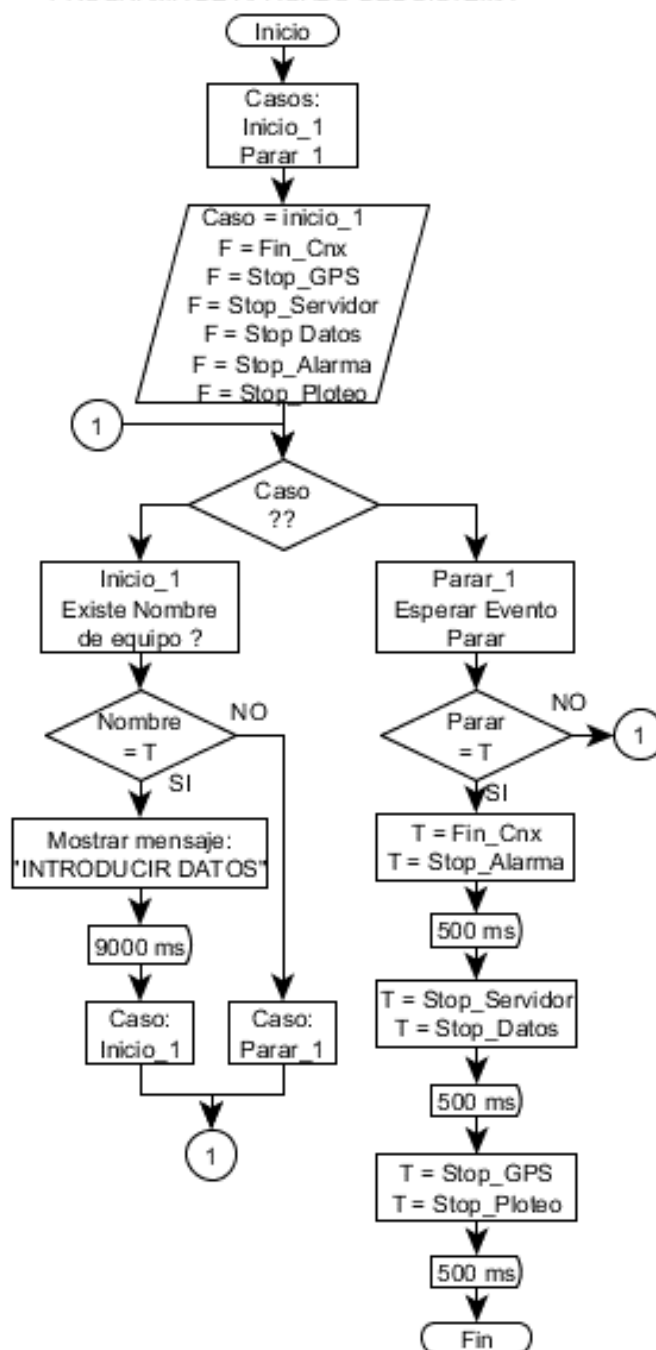


Figura 91. Diagrama de flujo - Programa de apagado del sistema.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.8 Programa de detección de redes y conexión

El programa detecta la presencia de redes inalámbricas cercanas a la unidad vehicular, de acuerdo con el nivel de señal y la jerarquía establecida se realiza la conexión.

El programa se basa en el comando CMD (MS-DOS) de Windows, para la detección y conexión hacia la red detectada. De acuerdo con los parámetros del nivel de señal establecidos en la Etapa II. El equipo a conectarse deberá de recibir un nivel de señal mayor a 45%.

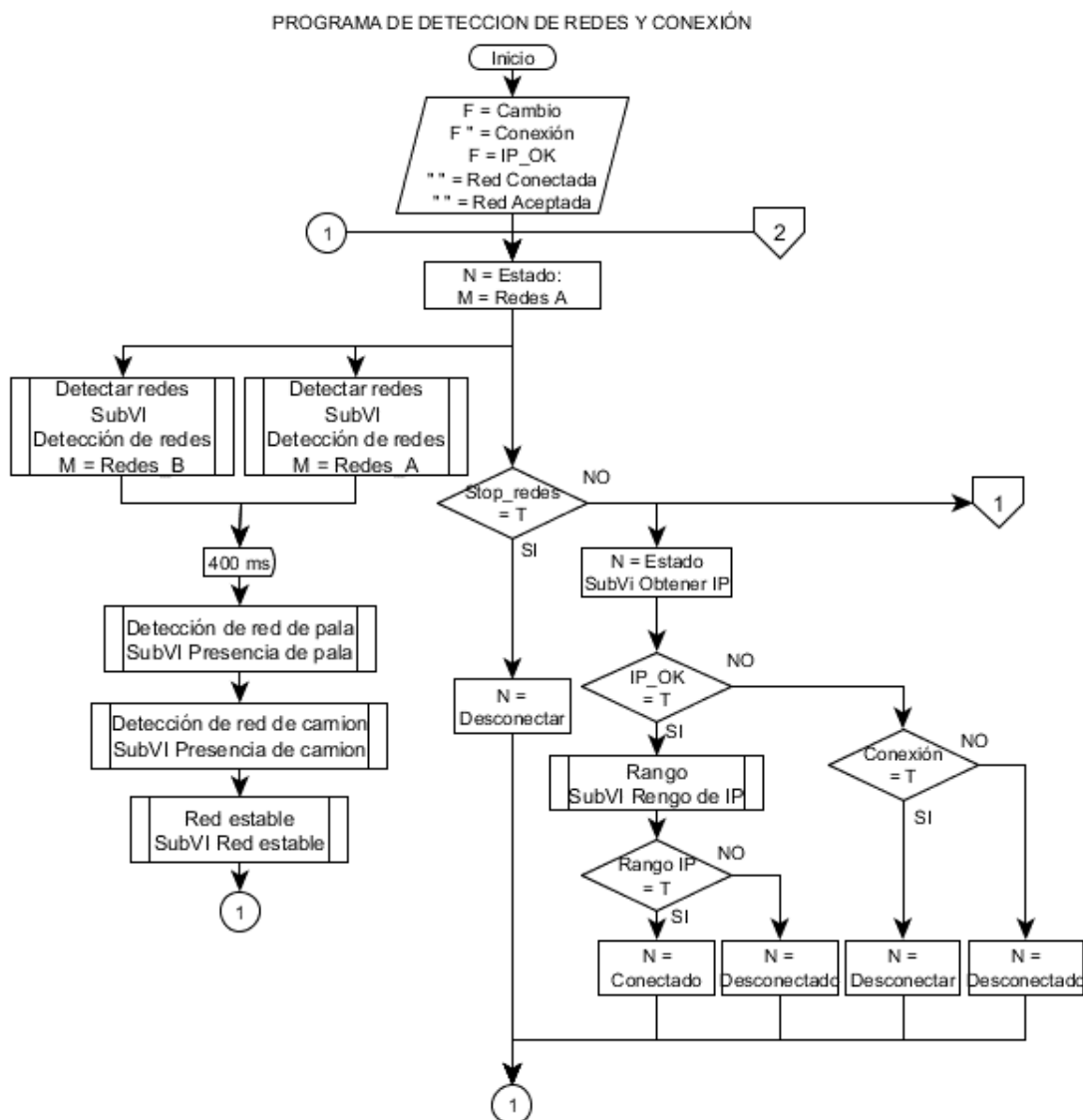


Figura 92. Diagrama de flujo - Programa de detección de redes y conexión Parte A.

Fuente: Elaboración propia.

PROGRAMA DE DETECCIÓN DE REDES Y CONEXIÓN

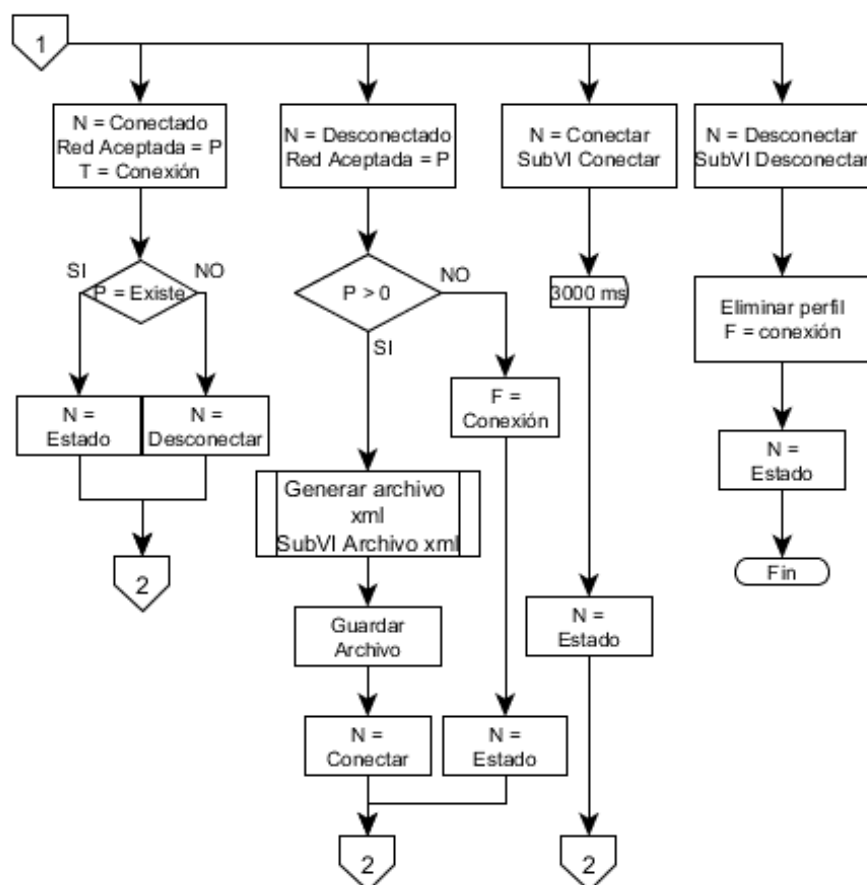


Figura 93. Diagrama de flujo - Programa de detección de redes y conexión Parte B.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.8.1 Subprograma de detección de redes



El programa permite discriminar entre las redes de los equipos pesados, red de palas y de camiones de acarreo. Para la detección de redes insertamos el siguiente comando en la venta de CMD.

netsh wlan show networks mode=bssid

El comando nos mostrará las redes disponibles en el área, de la lista obtenida seleccionamos solo las redes de interés, mediante SSID predefinidas después de la selección se procede con la adquisición del nivel de señal.

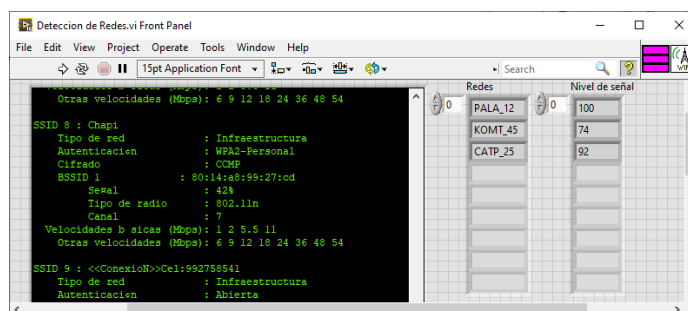


Figura 94. Selección de redes inalámbricas de interés.

Fuente: Elaboración propia.

De la figura 94, se ordena de forma descendente de tal manera que la red de mayor nivel este como primera opción para conectarse.

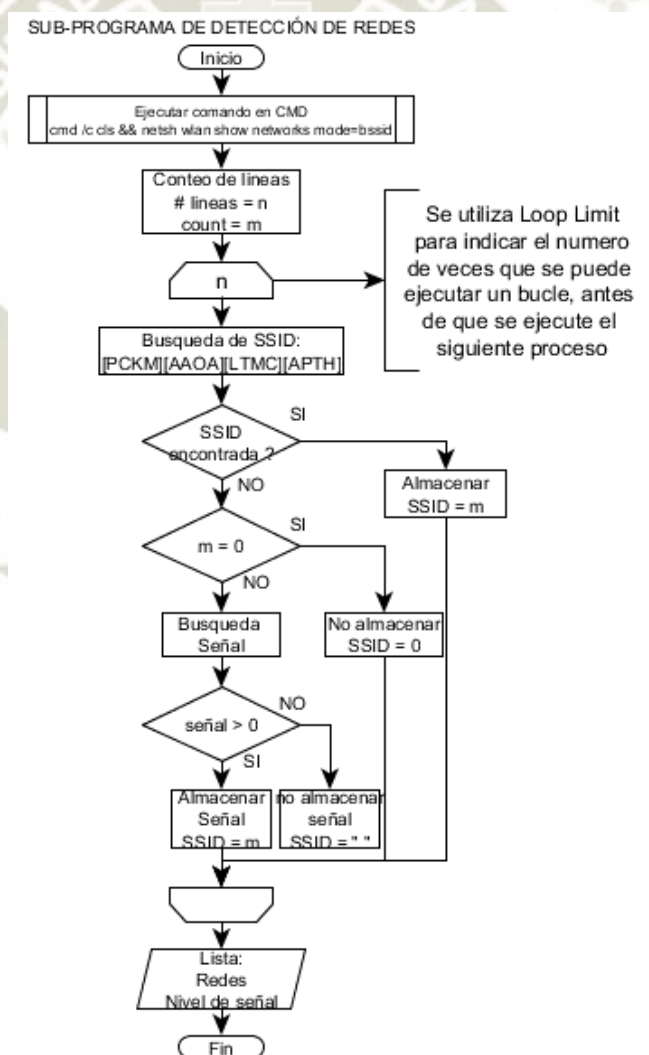


Figura 95. Diagrama de flujo - subprograma de detección de redes.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.8.2 Subprograma de selección de red de Pala



El subprograma toma el conjunto de redes, si existe una red PALA será seleccionada de las demás redes, siempre cuando cumpla de tener una señal mayor de 45 %.

SUB-PROGRAMA DE PRESENCIA DE PALA

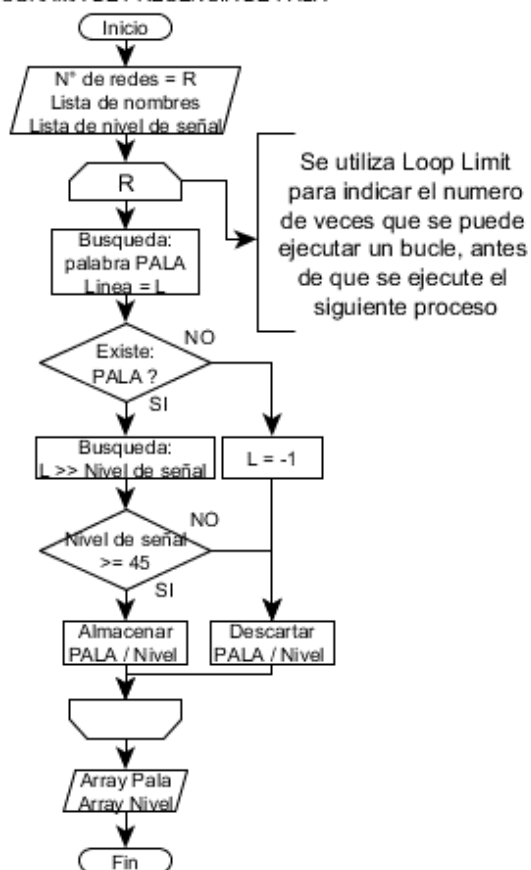


Figura 96. Diagrama de flujo - subprograma de presencia de pala.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.8.3 Subprograma de presencia de camiones de acarreo



El programa ordena de mayor a menor el listado de las redes de camiones de acarreo, de acuerdo con el nivel de intensidad de la señal. Se discrimina a las redes inferiores a 45 %.

SUB-PROGRAMA DE PRESENCIA DE CAMIONES

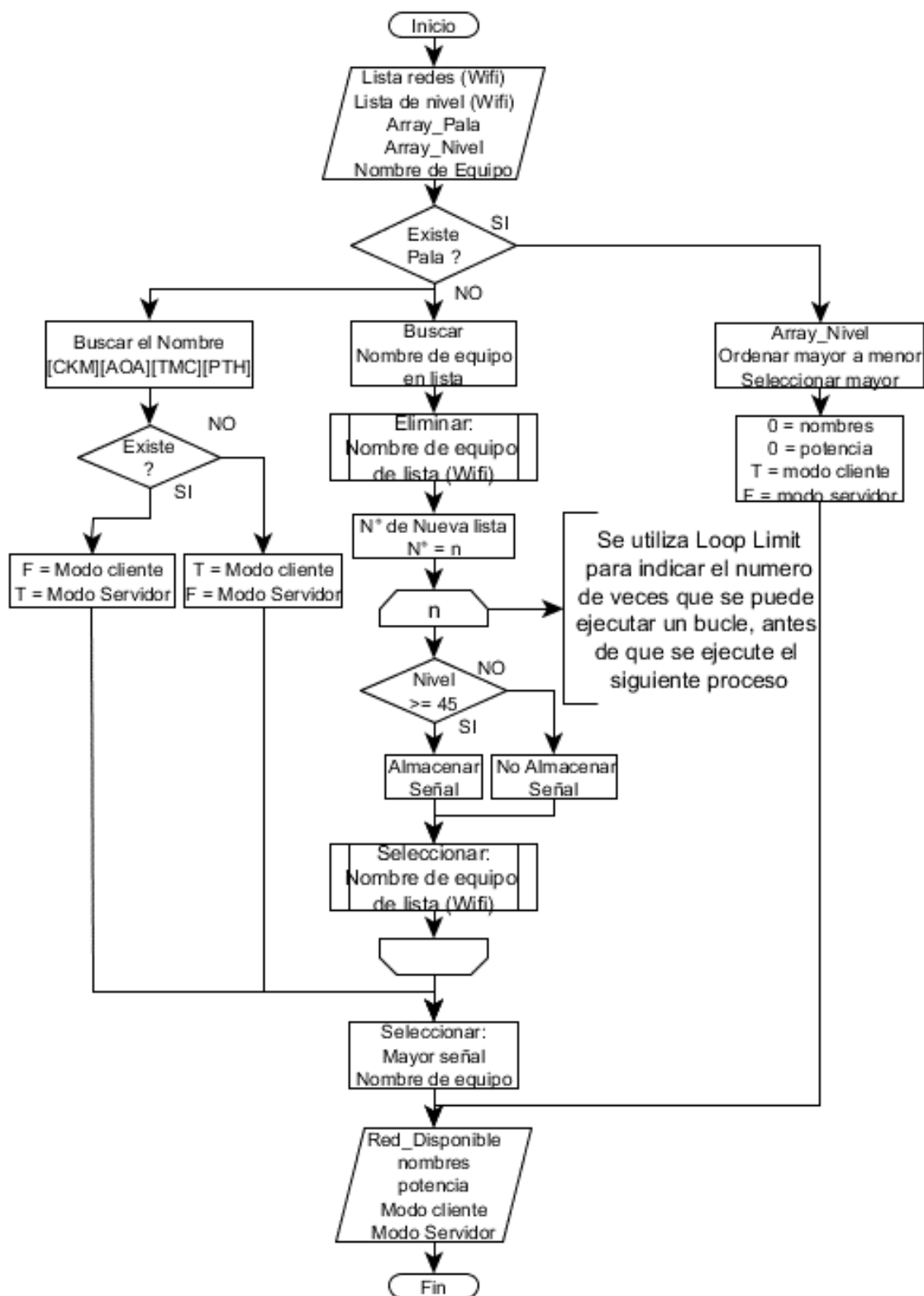


Figura 97. Diagrama de flujo - subprograma de presencia de camiones.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.8.4 Subprograma de confirmación de estabilidad de red



El programa corrobora la estabilidad de la red seleccionada, mediante un retardo de 3 ciclos. Este tiempo permitirá al programa de no conectarse a cualquier red de corta duración.

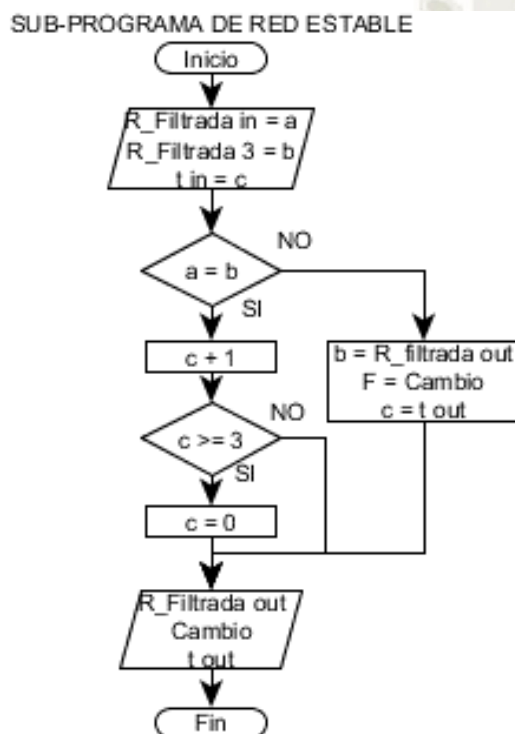


Figura 98. Diagrama de flujo - subprograma de red estable.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.8.5 Subprograma de obtención de dirección IP



El subprograma nos permite conocer si la unidad tiene asignado una dirección IP, y por consiguiente si está conectado a una red inalámbrica.

De igual manera como en el subprograma de detección de redes usamos el símbolo del sistema CMD. El comando *ipconfig* nos muestra la dirección IP, la máscara de subred y la puerta de enlace predeterminada de nuestro equipo.

SUB-PROGRAMA DE OBTENCIÓN DE DIRECCIÓN IP

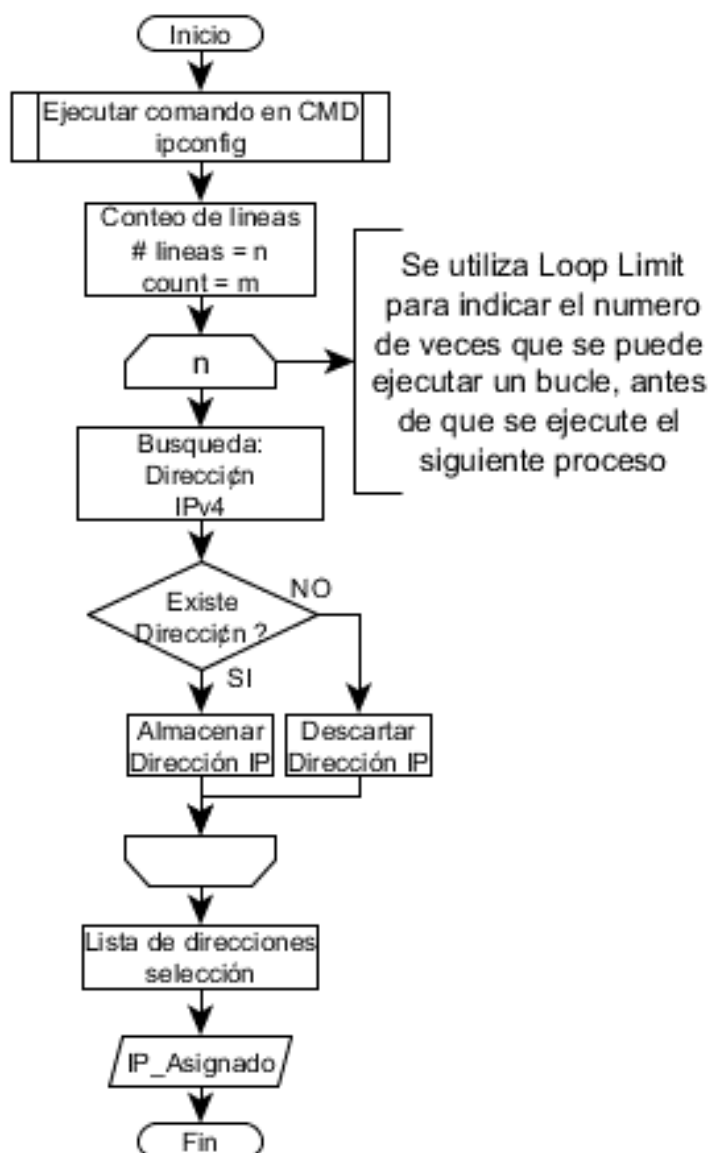


Figura 99. Diagrama de flujo - subprograma de obtención de dirección IP.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.8.6 Subprograma de rango de dirección IP



Se verifica la dirección IP, si se encuentra dentro del rango establecido de acuerdo con la clase de red.

SUB-PROGRAMA DE RANGO DE DIRECCIÓN IP

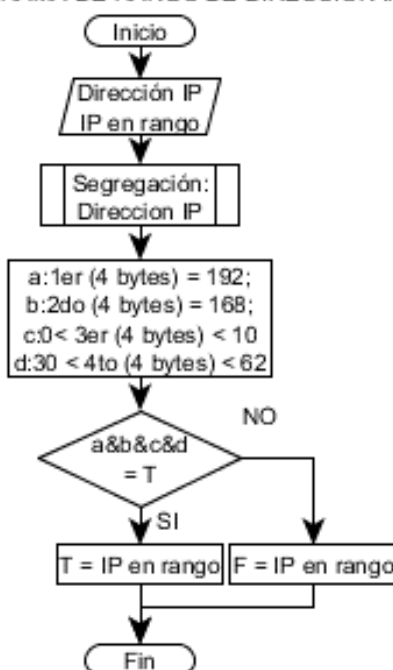


Figura 100. Diagrama de flujo - subprograma de rango de dirección IP.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.8.7 Subprograma de generación de archivo XML



Para poder realizar la conexión a una red wifi se necesita crear un archivo en formato xml con datos específicos de la red. Se crea la plantilla predeterminada con los datos generales que serán cambiados por el programa de acuerdo con la red a conectar.

- Nombre de red: WIFI_VH.
- Nombre de red en formato hexadecimal: HEXADECIMAL.
- Clave de red: PASSWORD.

Tabla 29. Variables a reemplazar en plantilla.

WIFI_VH	Reemplazar: PALA_XX, CATP_XX, KOMT_XX.
HEXADECIMAL	Nombre en formato hexadecimal 1FFFFFFF.
PASSWORD	tesis2019.

Fuente: Elaboración propia.

```
<?xml version="1.0"?>
<WLANProfile xmlns="http://www.microsoft.com/networking/WLAN/profile/v1">
  <name>WIFI_VH</name>
  <SSIDConfig>
    <SSID>
      <hex>HEXADECIMAL</hex>
      <name>WIFI_VH</name>
    </SSID>
  </SSIDConfig>
  <connectionType>ESS</connectionType>
  <connectionMode>manual</connectionMode>
  <MSM>
    <security>
      <authEncryption>
        <authentication>WPA2PSK</authentication>
        <encryption>AES</encryption>
        <useOnex>false</useOnex>
      </authEncryption>
      <sharedKey>
        <keyType>passPhrase</keyType>
        <protected>false</protected>
        <keyMaterial>PASSWORD</keyMaterial>
      </sharedKey>
    </security>
  </MSM>
</WLANProfile>
```

Figura 101. Formato de plantilla xml.

Fuente: Elaboración propia.

SUB-PROGRAMA DE GENERACIÓN DE ARCHIVO XML

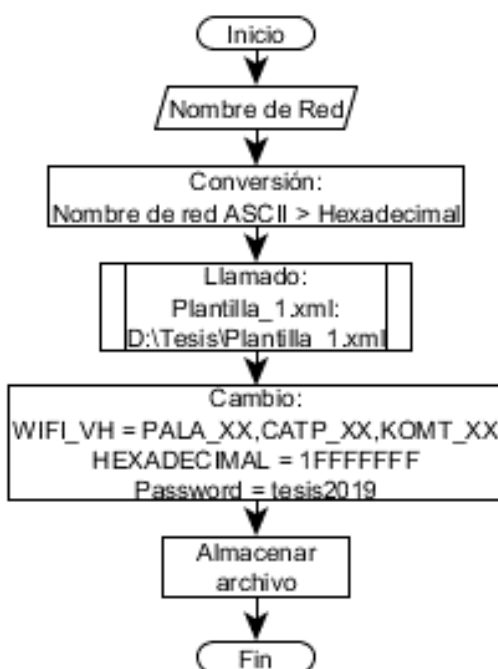


Figura 102. Diagrama de flujo - subprograma de generación de archivo XML.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.8.8 Subprograma de conexión de red



El archivo xml generado contendrá los datos correctos, se genera un perfil para ser agregado mediante el comando:

```
netsh wlan add profile filename= "D:\Tesis\Perfil\Wifi_VH.xml"
```

Seguido ingresamos el siguiente comando en la ventana CMD de Windows, para la conexión de red.

```
netsh wlan connect name= Wifi_VH
```

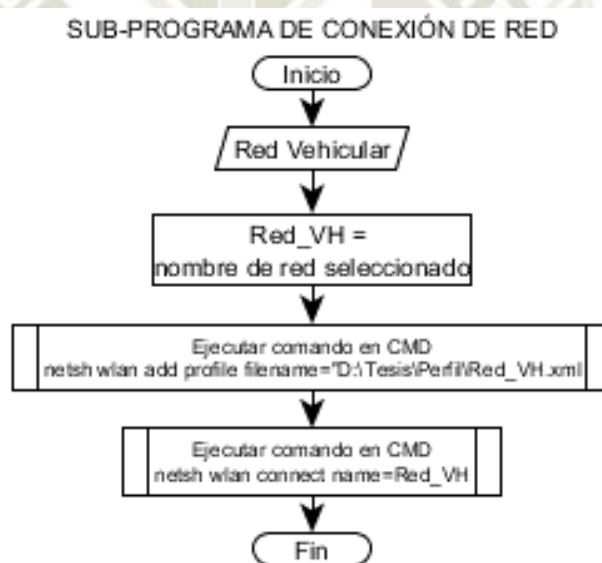


Figura 103. Diagrama de flujo - subprograma de conexión a red.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.8.9 Subprograma de desconexión de red



Ingresamos el comando en la ventana CMD de Windows: *netsh wlan disconnect*, que realizara la desconexión de la red, luego ingresamos el comando: *netsh wlan delete profile name = "Red_VH"*, para eliminar el perfil creado.

SUB-PROGRAMA DE DESCONEXIÓN DE RED

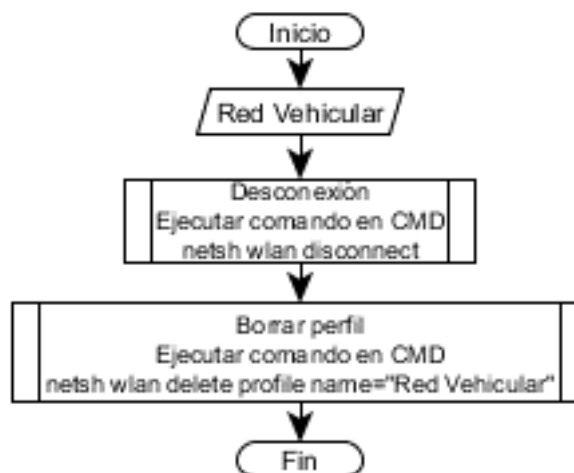


Figura 104. Diagrama de flujo - subprograma de desconexión de red.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.9 Programa de lectura de datos – clientes

El programa envía los datos obtenidos por el módulo GPS propios (ubicación y velocidad) así como recibir todos los datos enviados del servidor de la red conectada.

Se emplea máquina de estados para la programación, donde en cada estado se ejecuta un proceso diferente, abrimos comunicación mediante TCP open connection configuramos la dirección IP del servidor de la red para la recepción de datos, si no existe error en la comunicación iniciada, se procede con la lectura y escritura de datos.

Se escriben los datos mediante la función TCP Write, en la trama enviada se consulta si se pide el cierre de comunicación, de no haber petición se procede con la lectura de datos del servidor mediante la función TCP Read las tramas recibidas son convertidas en una lista para su análisis.

Debido a que los datos leídos son tramas, se hace necesario la agrupación en una lista para poder graficar, se crea un SubVI de agrupamiento.

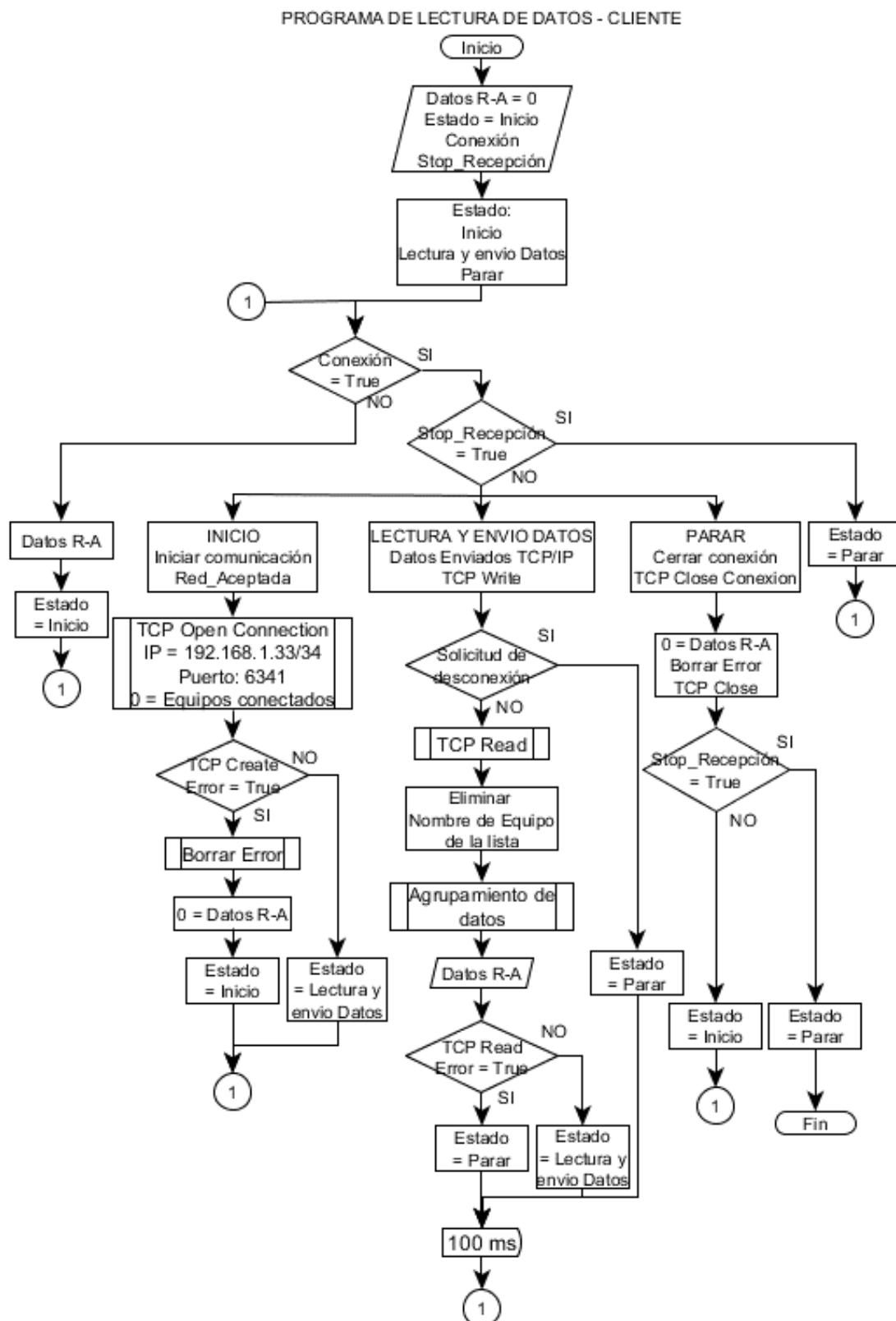


Figura 105. Diagrama de flujo - programa de lectura de datos / cliente.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.9.1 Subprograma de agrupamiento de datos



El programa toma la trama consecutiva de datos recibidos del servidor de datos, se ordena de acuerdo con el nombre inicial de cada trama, se forma una lista de los equipos conectados donde cada elemento de lista contiene los datos de posición geográfica y velocidad.

SUB-PROGRAMA DE AGRUPAMIENTO DE DATOS

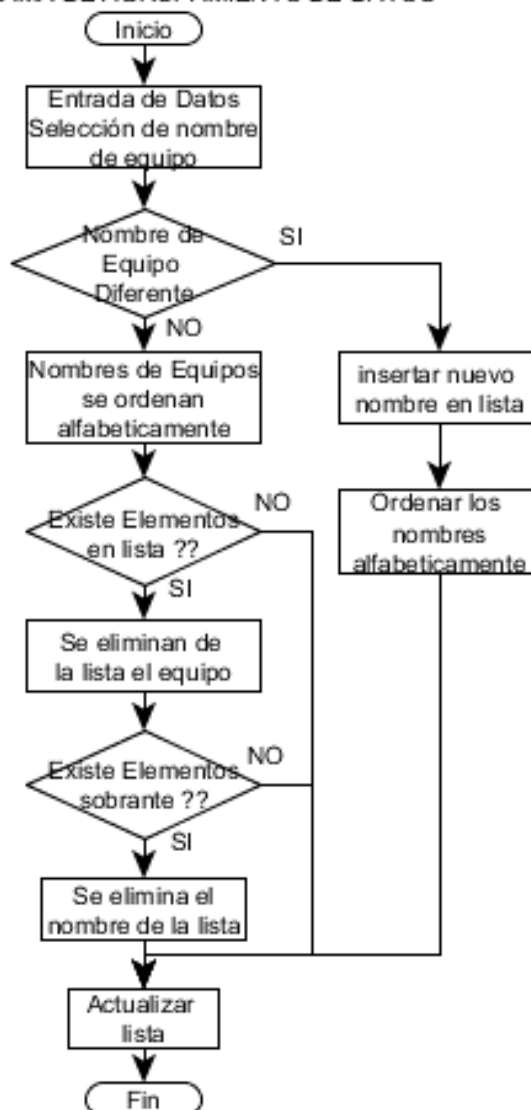


Figura 106. Diagrama de flujo - subprograma de agrupamiento de datos.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.10 Programa de envío y control de datos - cliente

El programa agrupa los datos del módulo GPS para enviar al equipo servidor de la red wifi. A la vez el programa recepcionará los datos de Velocidad y distancia con respecto a cada cliente, dichos datos serán procesados por el control difuso para activar los niveles de alarmas.

PROGRAMA DE ENVÍO Y CONTROL DE DATOS - CLIENTE

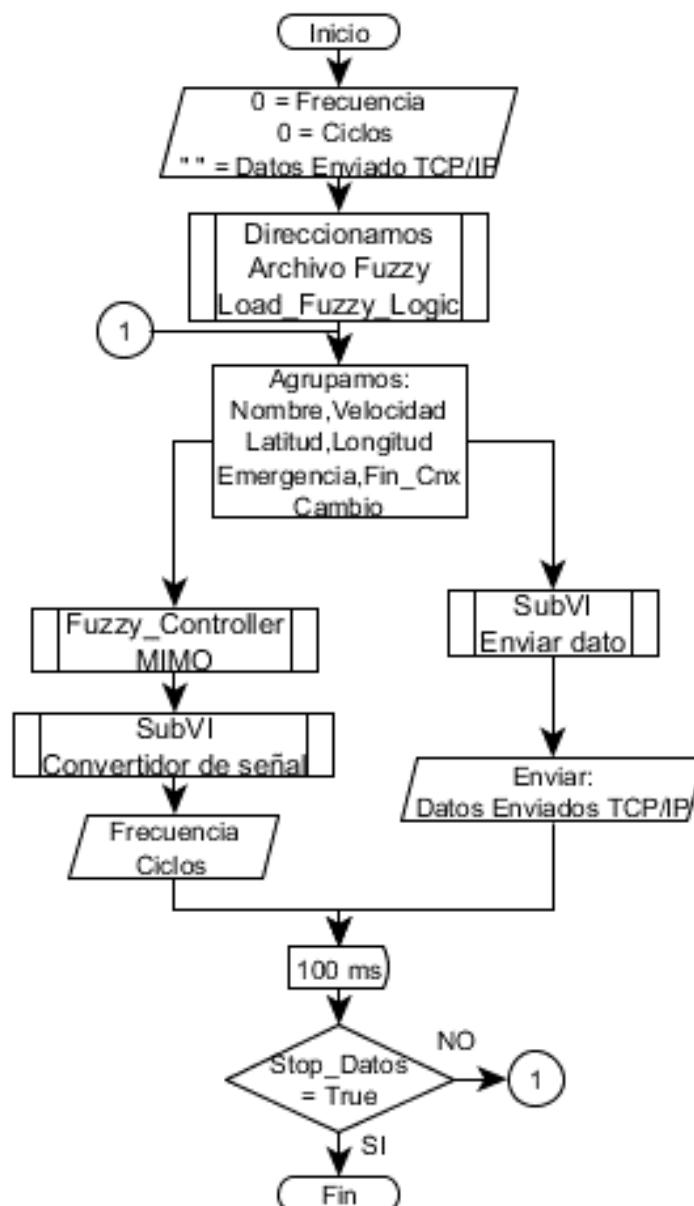


Figura 107. Diagrama de flujo - Programa de envío y control de datos / cliente.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2 Diseño de control fuzzy del sistema

Para el diseño del controlador difuso se usa la herramienta Fuzzy System Designer de LabVIEW, el archivo generado contiene las reglas de pertenencia para poder ser integrado al programa del sistema.

El controlador difuso tiene dos señales de entrada, distancia y velocidad, y dos señales de salida de intensidad de alarma y nivel de peligro.

El tipo de controlador implementado es de tipo Mamdani, por el diseño planteado y su fácil implementación. Se usa la función NI Fuzzy Logic API en modo MIMO (Múltiples entradas y múltiples salidas).



4.3.2.1 Señales de entrada del controlador

4.3.2.1.1 Distancia

El rango de visión de cada equipo pesado, determina la distancia mínima segura entre un equipo liviano y pesado.

Para el área de trabajo de una pala eléctrica, la distancia mínima es de 15 m esta distancia se determina a partir de la longitud, el desplazamiento del cucharón y el rango de visibilidad del operador.

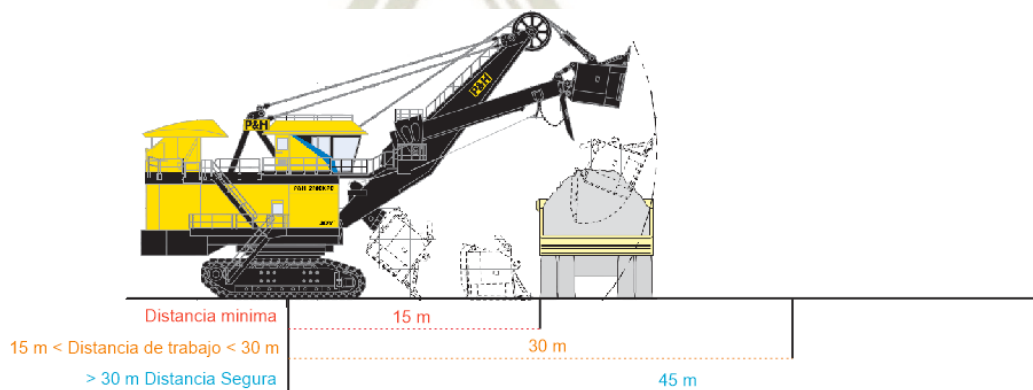


Figura 108. Distancia mínima segura para Pala Eléctrica.

Fuente: Elaboración propia.

Para camiones de acarreo, los valores de distancia mínima cambian debido al desplazamiento de equipos. Se toma como referencia el camión de mayor tamaño, como distancia mínima de 10 m para una distancia inferior a 10 m entramos en punto ciego del camión de acarreo.

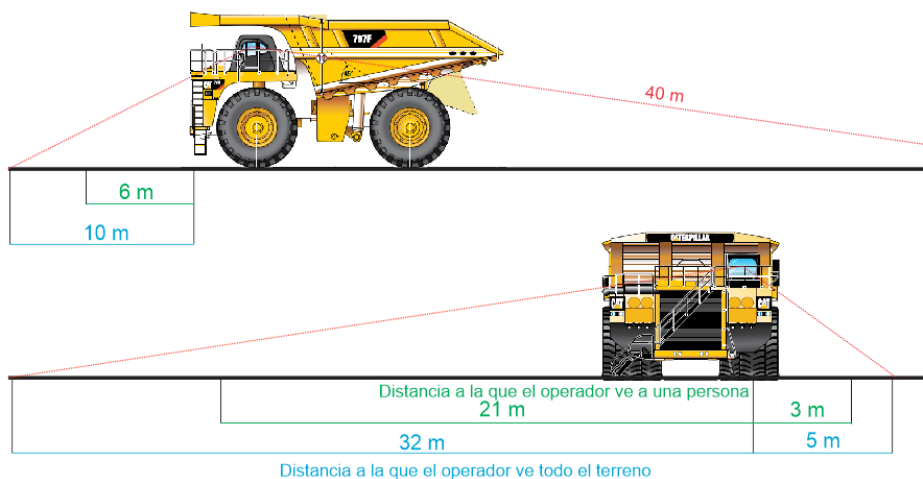


Figura 109. Distancia mínima segura para camión de acarreo.

Fuente: Elaboración propia.

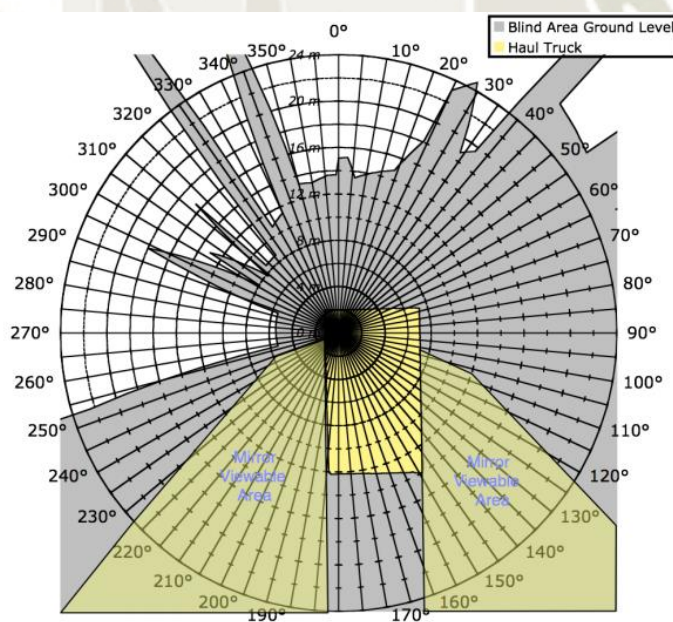


Figura 110. Radio de visión de camión de acarreo.

Fuente:

<https://www.cdc.gov/niosh/topics/highwayworkzones/bad/pdfs/BASFinalReport.pdf>

De acuerdo con los datos de las distancias mínimas. Definimos las funciones de membresía, de manera que se pueda interpretar de forma simple para el control.

Tabla 30. Valores máximos y mínimos de distancia.

Distancia	Tipo de función	Valores
Cerca	Sigmoid	0-0-10-20
Normal	Sigmoid	15-25-30-35
Lejos	Sigmoid	25-35-80-80

Fuente: Elaboración propia.

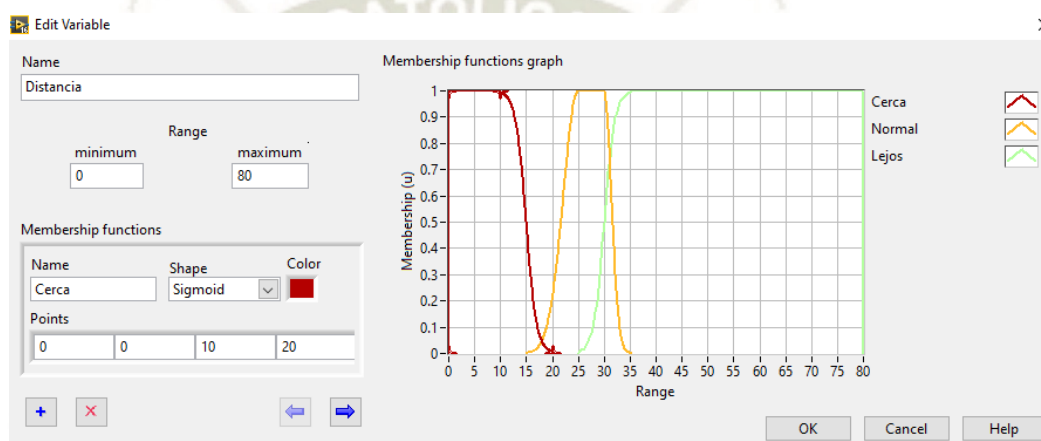


Figura 111. Variables de entrada – Distancia.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2.1.2 Velocidad

La velocidad establecida en el reglamento interno de la unidad minera, determina los valores máximos ante la presencia de equipos pesados, de acuerdo con eso se determina como velocidad máxima 60 Km/h y en el área de trabajo 45 Km/h.

Se toman 3 funciones de membresía de tipo sigmoide, gaussiano y trapecioide.

Tabla 31. Valores máximos y mínimos de velocidad.

Velocidad	Tipo de función	Valores
Lento	Sigmoid	0-0-05-15
Normal	Gaussian	10-30-38-45
Rápido	Sigmoid	40-60-80-80

Fuente: Elaboración propia.

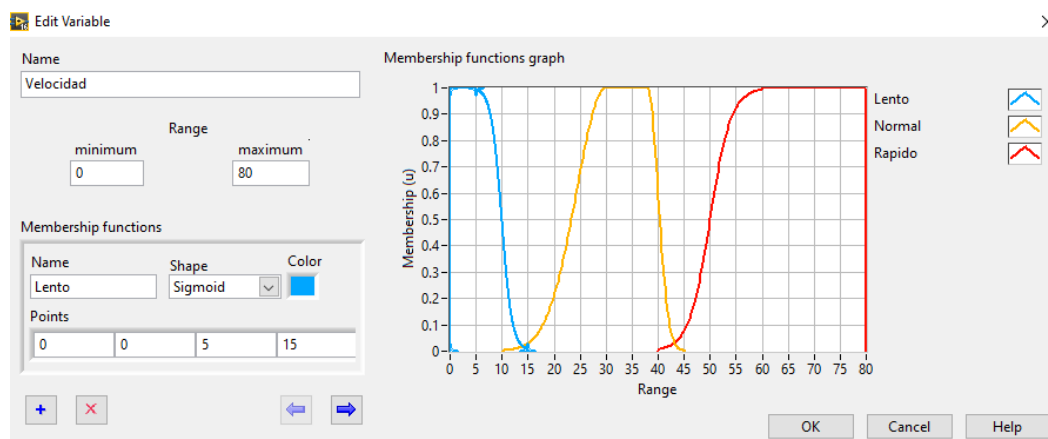


Figura 112. Variables de entrada – Velocidad.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2.2 Señales de salida del controlador

4.3.2.2.1 Alarma (Periodo)

El nivel de alarma determinará el periodo de la alarma, debido a diversos escenarios que se presentan en el área de trabajo. Una alarma fija o constante distraerá conductor del equipo.

El periodo de la alarma varía entre 0 – 10, donde 0 indicara el periodo más largo (6 s) de la alarma y 10 el periodo más corto establecido (0.5 s).

Se establece 3 funciones de membresía de tipo triangular.

Tabla 32. Valores máximos y mínimos de alarma.

Alarma	Tipo de función	Valores
Bajo	Triangle	0-0-5
Medio	Triangle	0-5-10
Alto	Triangle	5-10-10

Fuente: Elaboración propia.

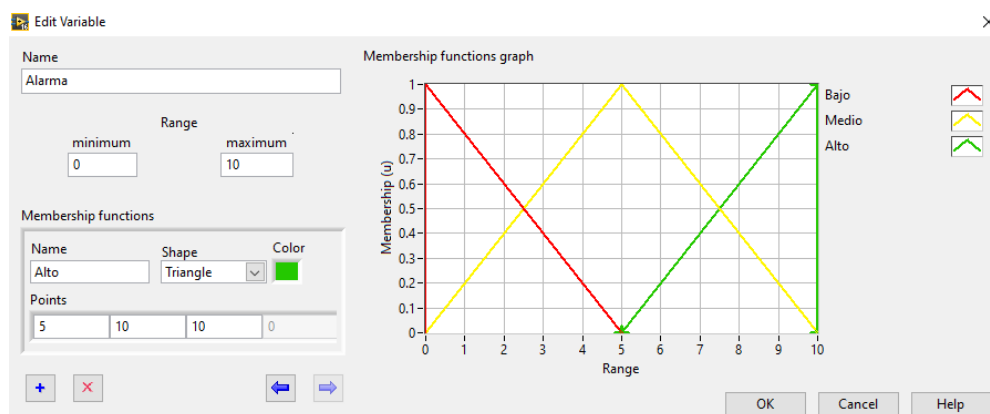


Figura 113. Variable de salida – Alarma.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2.2.2 Peligro (Frecuencia de sonido)

El nivel de peligro aumentará, disminuirá la frecuencia de sonido de alarma. Un Beep con frecuencias medias (400 Hz) para denotar una distancia segura (Valor 0) y un Beep con frecuencias agudas (3000 Hz) para indicar el límite de distancia segura (Valor 10).

Tabla 33. Valores máximos y mínimos de peligro.

Peligro	Tipo de función	Valores
Poco	Triangle	0-0-5
Moderado	Triangle	0-5-10
Bastante	Triangle	5-10-10

Fuente: Elaboración propia.

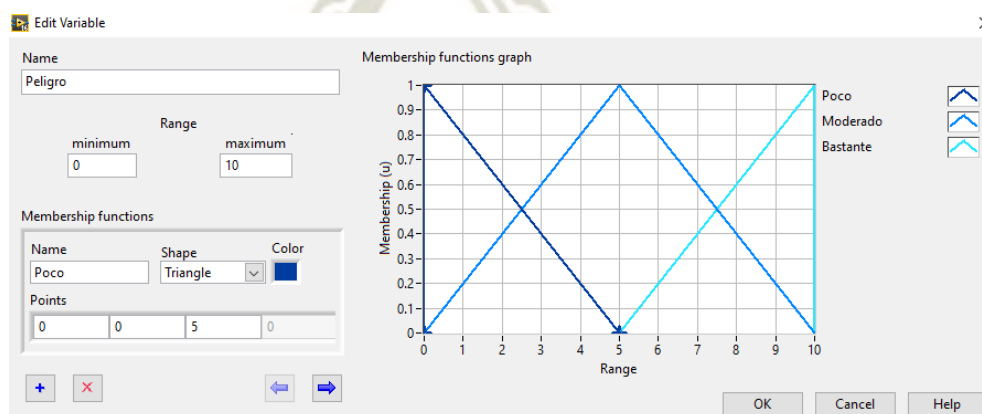


Figura 114. Variable de salida – Peligro.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2.3 Reglas difusas

Las reglas difusas se establecen de acuerdo con el comportamiento del conductor para el sistema, las combinaciones de las entradas reflejan diversos escenarios en el área de trabajo o tránsito, y de acuerdo con la lógica humana nos darán los valores para las variables de salida de Alarma y peligro para el sistema.

Tabla 34. Conjunto de reglas difusas para el controlador.

Nº	Reglas
1	IF Velocidad IS Lento AND Distancia IS Cerca THEN Alarma IS Alto ALSO Peligro IS Bastante
2	IF Velocidad IS Lento AND Distancia IS Normal THEN Alarma IS Bajo ALSO Peligro IS Moderado
3	IF Velocidad IS Lento AND Distancia IS Lejos THEN Alarma IS Bajo ALSO Peligro IS Poco
4	IF Velocidad IS Normal AND Distancia IS Cerca THEN Alarma IS Medio ALSO Peligro IS Bastante
5	IF Velocidad IS Normal AND Distancia IS Normal THEN Alarma IS Medio ALSO Peligro IS Poco
6	IF Velocidad IS Normal AND Distancia IS Lejos THEN Alarma IS Bajo ALSO Peligro IS Poco
7	IF Velocidad IS Rápido AND Distancia IS Cerca THEN Alarma IS Alto ALSO Peligro IS Bastante
8	IF Velocidad IS Rápido AND Distancia IS Normal THEN Alarma IS Alto ALSO Peligro IS Moderado
9	IF Velocidad IS Rápido AND Distancia IS Lejos THEN Alarma IS Bajo ALSO Peligro IS Poco

Fuente: Elaboración propia.

La herramienta Fuzzy System Designer, nos ofrece la posibilidad de simular los diversos escenarios, existen dos casos particulares los cuales analizaremos.

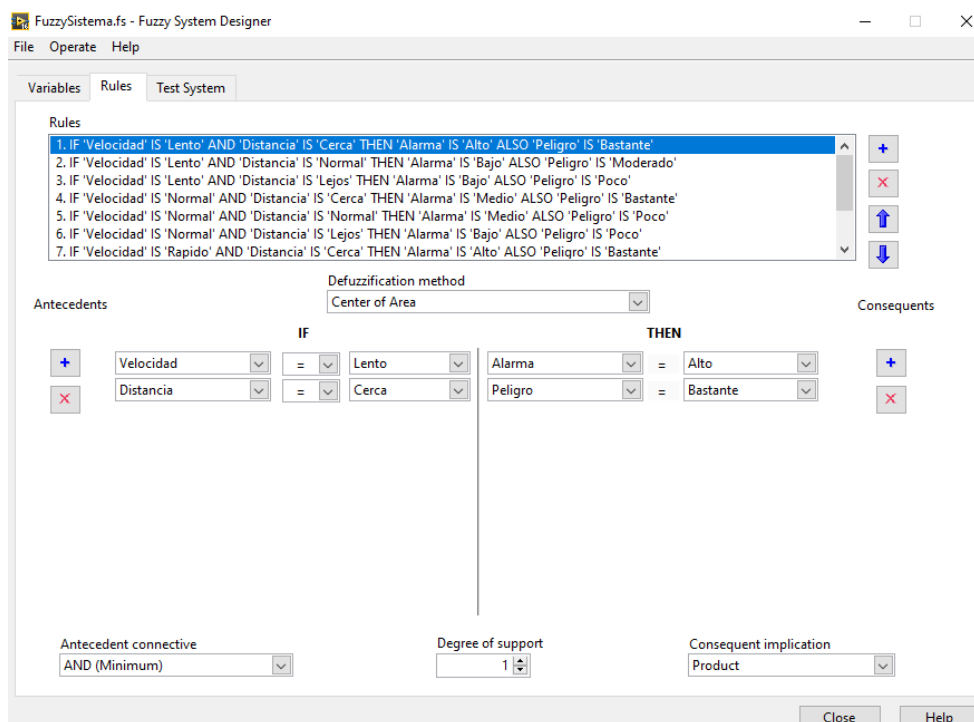


Figura 115. Reglas difusas - Fuzzy System Designer.

Fuente: Elaboración propia.

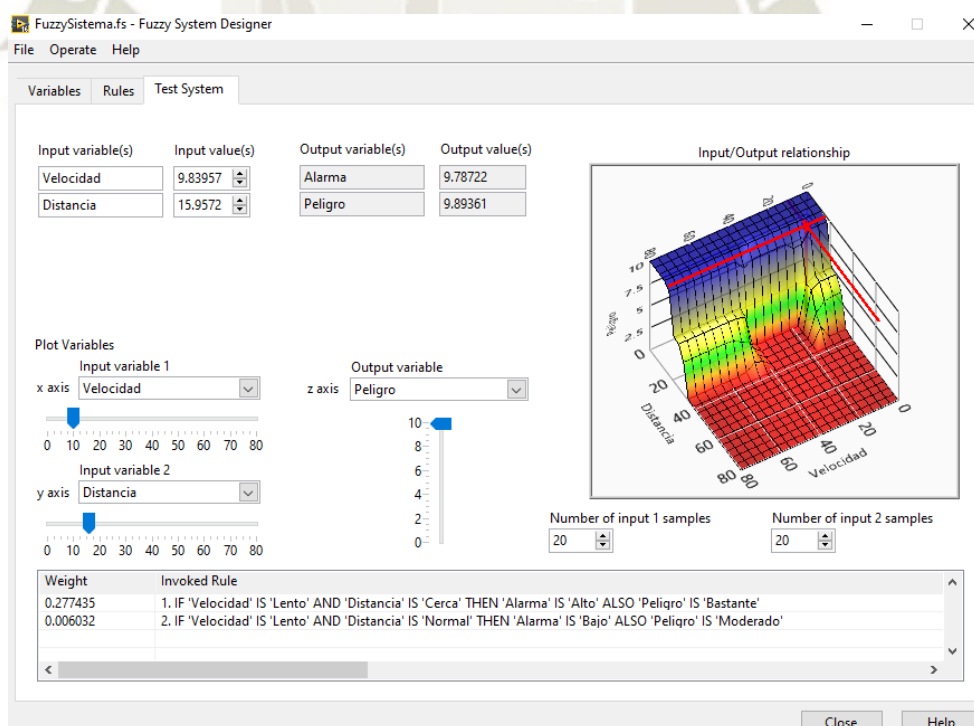


Figura 116. Resultado de simulación del controlador con mínimas variables.

Fuente: Elaboración propia.

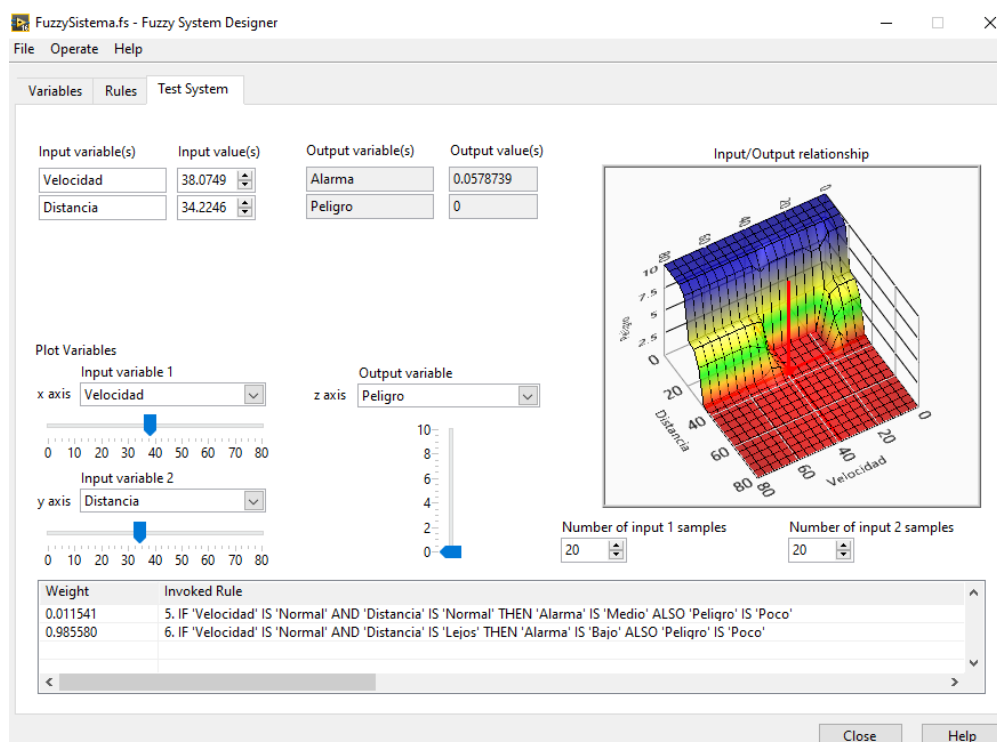


Figura 117. Resultado de simulación del controlador con máximas variables.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3 Integración del sistema de control

La integración del sistema comprende la unión de los programas previamente originados en el apartado de programas de uso general, se definen 2 tipos de subsistemas para el sistema de prevención de accidentes:

- Subsistema de prevención para Equipos pesados.
- Subsistema de prevención para Equipos livianos.

4.3.3.1 Subsistema de prevención para equipos pesados

Este subsistema es ejecutado por los equipos pesados como palas eléctricas y camiones de acarreo. Cada equipo pesado crea una red Wifi independiente que tendrá como función de servidor que agrupara los datos y repartir dichos datos a todos los equipos livianos conectados en la red.

Los programas que se utilizan este subsistema son;

- Programa de comunicación USB -GPS.
- Programa de adquisición de datos GPS.
- Programa servidor de datos – Servidor.
- Programa de envío y control de datos – Servidor.
- Programa de recepción, gráfico y ubicación de equipo.
- Programa de alarma del sistema.
- Programa de apagado del sistema.



Figura 118. Diagrama de bloques - subsistema para equipos pesados.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 119. Esquema de equipos para subsistema de prevención – Equipos pesados.

Fuente: Elaboración propia.

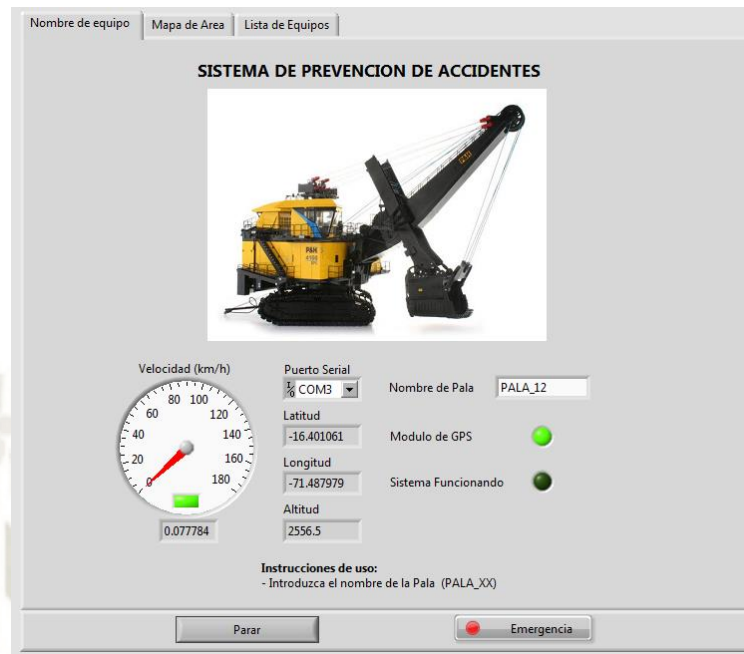


Figura 120. Panel frontal para subsistema de prevención de accidentes – Equipos pesados.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3.2 Subsistema de prevención para vehículos livianos

El subsistema para equipos livianos, se conecta a la red más cercana del área, recibe los datos en tramas consecutivas del servidor, crea la lista de datos para su procesamiento a la vez envía los datos de su posición, cumple la función de cliente.

Los programas que se utilizan este subsistema son:

- Programa de comunicación USB-GPS.
- Programa de adquisición de datos GPS.
- Programa de detección de redes y conexión.
- Programa de lectura de datos – clientes.
- Programa de envío y control de datos – clientes.
- Programa de recepción, gráfico y ubicación de equipos.
- Programa de alarmas del sistema.
- Programa de apagado del sistema.

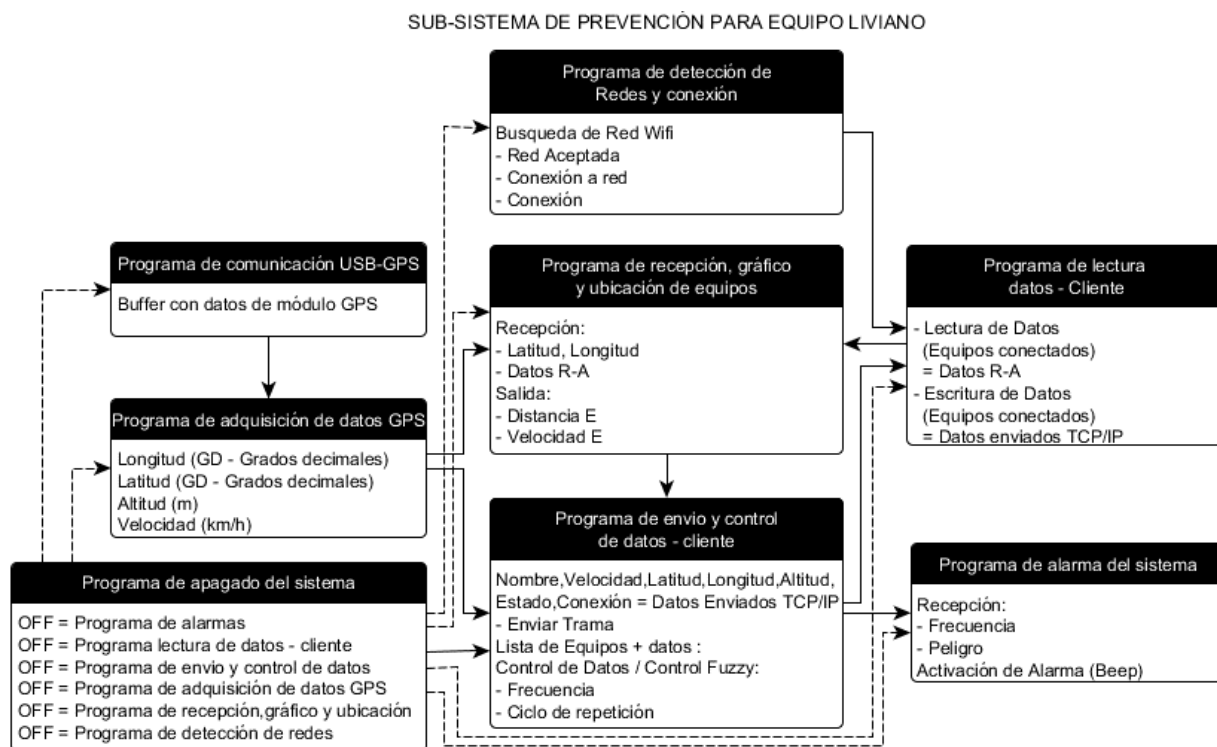


Figura 121. Diagrama de bloques - Subsistema para equipos livianos.

Fuente: Elaboración propia.

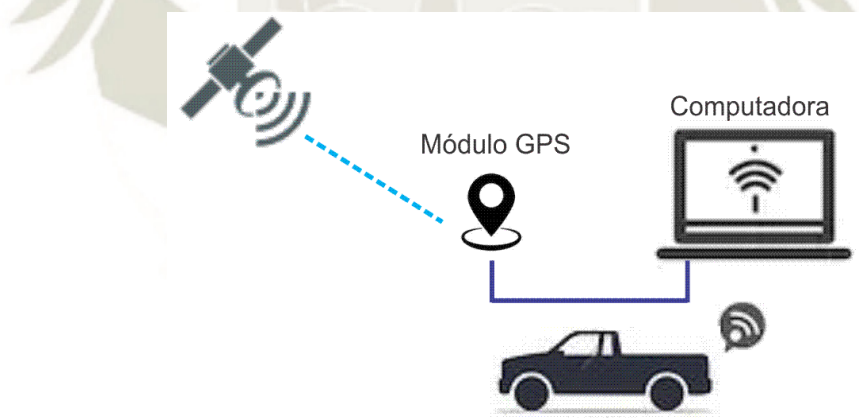


Figura 122. Esquema de equipos para subsistema de prevención - Equipos livianos.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 123. Panel frontal para subsistema de prevención de accidentes – Equipos livianos.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V

PRUEBAS Y RESULTADOS

En el presente capítulo, se muestran las pruebas de funcionamiento realizado a cada etapa del sistema, comprobamos la funcionalidad del sistema propuesto. Se realizaron pruebas de conectividad, envío y recepción de datos, control de datos, en computadoras portátiles que emulan a los equipos pesados y vehículos livianos.

Se toman en cuenta las limitaciones de hardware propias del sistema prototipo.

5.1 PRUEBAS DE RED Y CONECTIVIDAD

5.1.1 Red de equipos pesados (Pala eléctrica – Camión de acarreo)

Se realizan las pruebas del nivel de cobertura de área del punto de acceso, mediante las pruebas de conectividad y los datos que se envían a las distancias asignadas.

Usamos el comando en la ventana CMD de windows:

Netsh wlan show interface

Para ver la intensidad de la señal de la red, se toma el nivel cada 5 metros. De igual modo usamos el comando ping hacia el punto de acceso para ver la latencia o tiempo que tardan en comunicarse los equipos y comprobar la conectividad.

Ping 192.168.1.1

Tabla 35. Valores de nivel de señal para el Punto de Acceso (TP-Link).

Distancia (m)	Nivel de Señal	Conectividad
5	96 %	2 ms
10	72%	7 ms
15	66%	4 ms
20	66%	7 ms
25	48%	8 ms
30	42%	10 ms

Fuente: Elaboración propia.

Para una buena comunicación necesitaremos una latencia menos a 100 ms.

```
Tipo de red      : Infraestructura
Tipo de radio    : 802.11n
Autenticación    : WPA2-Personal
Cifrado          : CCMP
Modo de conexión : Perfil
Canal            : 11
Velocidad de recepción (Mbps) : 54
Velocidad de transmisión (Mbps) : 54
Señal            : 96%
Perfil           : PALA_12

Estado de la red hospedada: No iniciado

C:\Users\Felipe Hu>ping 192.168.1.1

Haciendo ping a 192.168.1.1 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.1.1: bytes=32 tiempo=2ms TTL=254
Respuesta desde 192.168.1.1: bytes=32 tiempo=2ms TTL=254
Respuesta desde 192.168.1.1: bytes=32 tiempo=3ms TTL=254
Respuesta desde 192.168.1.1: bytes=32 tiempo=4ms TTL=254

Estadísticas de ping para 192.168.1.1:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
              (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 2ms, Máximo = 4ms, Media = 2ms

C:\Users\Felipe Hu>
```

Figura 124. Nivel de señal y latencia a 5m.

Fuente: Elaboración propia.

```
Tipo de red      : Infraestructura
Tipo de radio    : 802.11n
Autenticación    : WPA2-Personal
Cifrado          : CCMP
Modo de conexión : Perfil
Canal            : 11
Velocidad de recepción (Mbps) : 54
Velocidad de transmisión (Mbps) : 54
Señal            : 72%
Perfil           : PALA_12

Estado de la red hospedada: No iniciado

C:\Users\Felipe Hu>ping 192.168.1.1

Haciendo ping a 192.168.1.1 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.1.1: bytes=32 tiempo=2ms TTL=254
Respuesta desde 192.168.1.1: bytes=32 tiempo=12ms TTL=254
Respuesta desde 192.168.1.1: bytes=32 tiempo=6ms TTL=254
Respuesta desde 192.168.1.1: bytes=32 tiempo=10ms TTL=254

Estadísticas de ping para 192.168.1.1:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
              (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 2ms, Máximo = 12ms, Media = 7ms

C:\Users\Felipe Hu>
```

Figura 125. Nivel de señal y latencia a 10m.

Fuente: Elaboración propia.

```
Tipo de red      : Infraestructura
Tipo de radio    : 802.11n
Autenticación    : WPA2-Personal
Cifrado          : CCMP
Modo de conexión : Perfil
Canal            : 11
Velocidad de recepción (Mbps) : 54
Velocidad de transmisión (Mbps) : 54
Señal            : 66%
Perfil           : PALA_12

Estado de la red hospedada: No iniciado

C:\Users\Felipe Hu>ping 192.168.1.1

Haciendo ping a 192.168.1.1 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.1.1: bytes=32 tiempo=3ms TTL=254
Respuesta desde 192.168.1.1: bytes=32 tiempo=4ms TTL=254
Respuesta desde 192.168.1.1: bytes=32 tiempo=4ms TTL=254
Respuesta desde 192.168.1.1: bytes=32 tiempo=5ms TTL=254

Estadísticas de ping para 192.168.1.1:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
              (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 3ms, Máximo = 5ms, Media = 4ms

C:\Users\Felipe Hu>
```

Figura 126. Nivel de señal y latencia a 15 m.

Fuente: Elaboración propia.

```
Tipo de red      : Infraestructura
Tipo de radio    : 802.11n
Autenticación    : WPA2-Personal
Cifrado          : CCMP
Modo de conexión : Perfil
Canal            : 11
Velocidad de recepción (Mbps) : 54
Velocidad de transmisión (Mbps) : 54
Señal            : 66%
Perfil           : PALA_12

Estado de la red hospedada: No iniciado

C:\Users\Felipe Hu>ping 192.168.1.1

Haciendo ping a 192.168.1.1 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.1.1: bytes=32 tiempo=15ms TTL=254
Respuesta desde 192.168.1.1: bytes=32 tiempo=4ms TTL=254
Respuesta desde 192.168.1.1: bytes=32 tiempo=6ms TTL=254
Respuesta desde 192.168.1.1: bytes=32 tiempo=5ms TTL=254

Estadísticas de ping para 192.168.1.1:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
              (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 4ms, Máximo = 15ms, Media = 7ms

C:\Users\Felipe Hu>
```

Figura 127. Nivel de señal y latencia a 20 m.

Fuente: Elaboración propia.

```
Tipo de red      : Infraestructura
Tipo de radio    : 802.11n
Autenticación    : WPA2-Personal
Cifrado          : CCMP
Modo de conexión : Perfil
Canal            : 11
Velocidad de recepción (Mbps) : 54
Velocidad de transmisión (Mbps) : 54
Señal            : 48%
Perfil           : PALA_12

Estado de la red hospedada: No iniciado

C:\Users\Felipe Hu>ping 192.168.1.1

Haciendo ping a 192.168.1.1 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.1.1: bytes=32 tiempo=10ms TTL=254
Respuesta desde 192.168.1.1: bytes=32 tiempo=6ms TTL=254
Respuesta desde 192.168.1.1: bytes=32 tiempo=5ms TTL=254
Respuesta desde 192.168.1.1: bytes=32 tiempo=11ms TTL=254

Estadísticas de ping para 192.168.1.1:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
              (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 5ms, Máximo = 11ms, Media = 8ms

C:\Users\Felipe Hu>
```

Figura 128. Nivel de señal y latencia a 25 m.

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2 Conectividad de Equipos (vehículos livianos – camiones de acarreo)

El equipo de prueba se conectará a la red más cercana, con un valor porcentual mayor de 45%, para garantizar una buena conectividad.

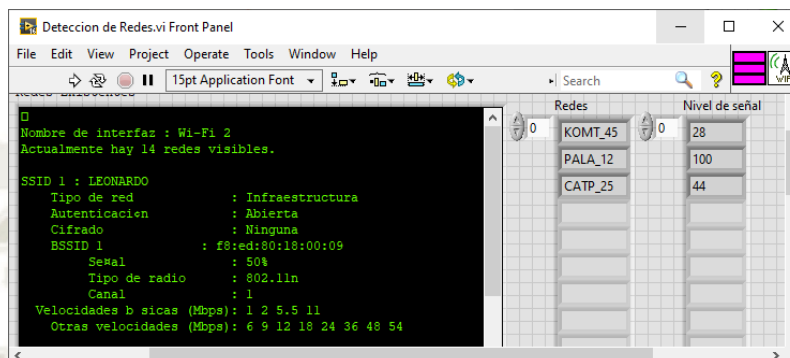


Figura 129. Redes Wi-Fi detectadas.

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la figura 129 las redes detectadas, el sistema se conectará de acuerdo con la prioridad de redes, en este caso a la red PALA_12.

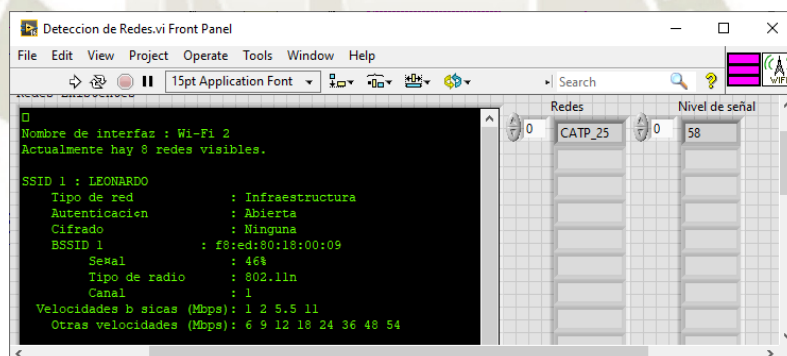


Figura 130. Red de Camión de acarreo detectada.

Fuente: Elaboración propia.

Si la señal de la pala detectada estuviese debajo del 45 %, solo se mostrará y se conectara la señal del camión de acarreo.

5.2 PRUEBAS DE POSICIONAMIENTO.

Se comprueba la conectividad del módulo GPS y la calidad de la señal recibida, para realizar la conexión. Se toma 6 valores de coordenadas del módulo GPS en el lapso de 10 minutos, para observar la variación de las coordenadas.

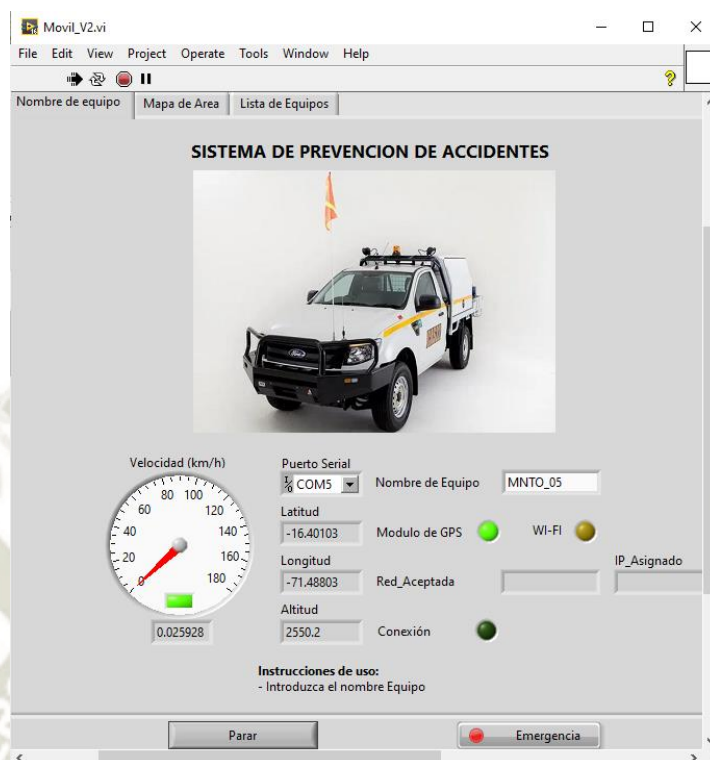


Figura 131. Toma de coordenadas 1.

Fuente: Elaboración propia.

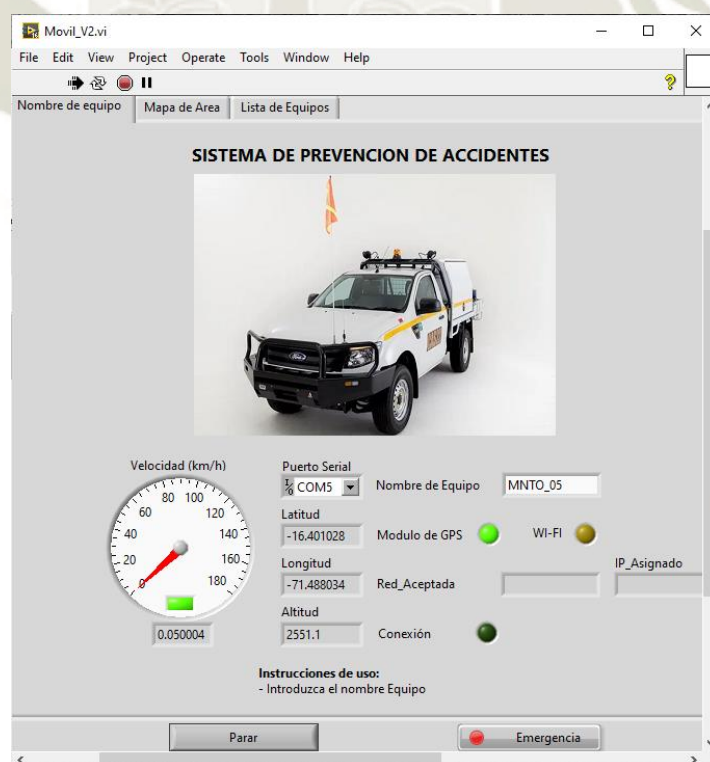


Figura 132. Toma de coordenadas 2.

Fuente: Elaboración propia.

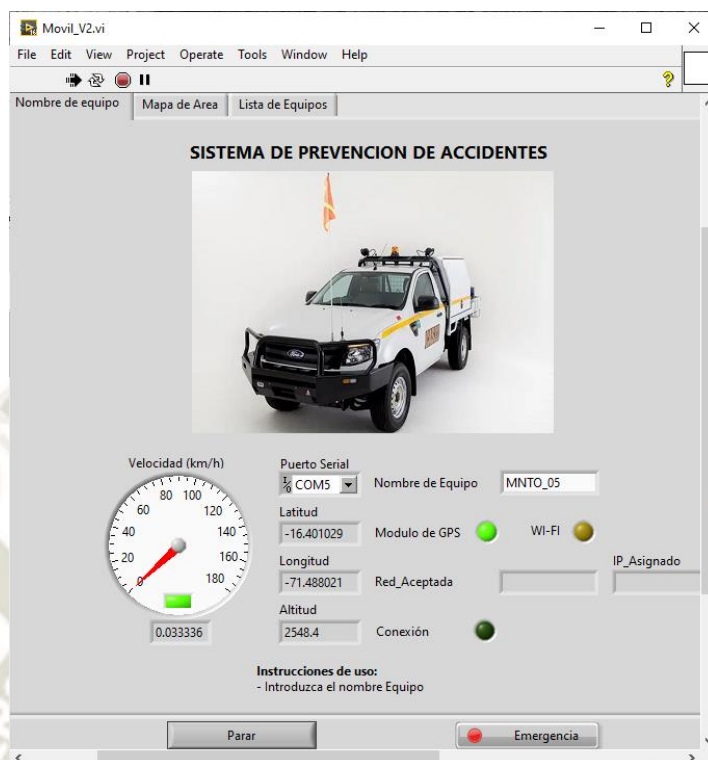


Figura 133. Toma de coordenadas 3.

Fuente: Elaboración propia.

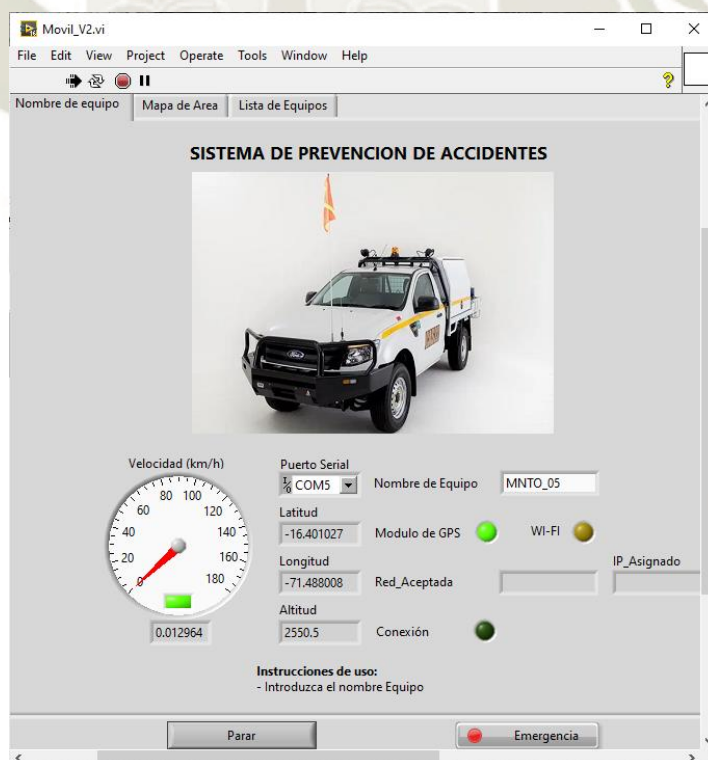


Figura 134. Toma de coordenadas 4.

Fuente: Elaboración propia.

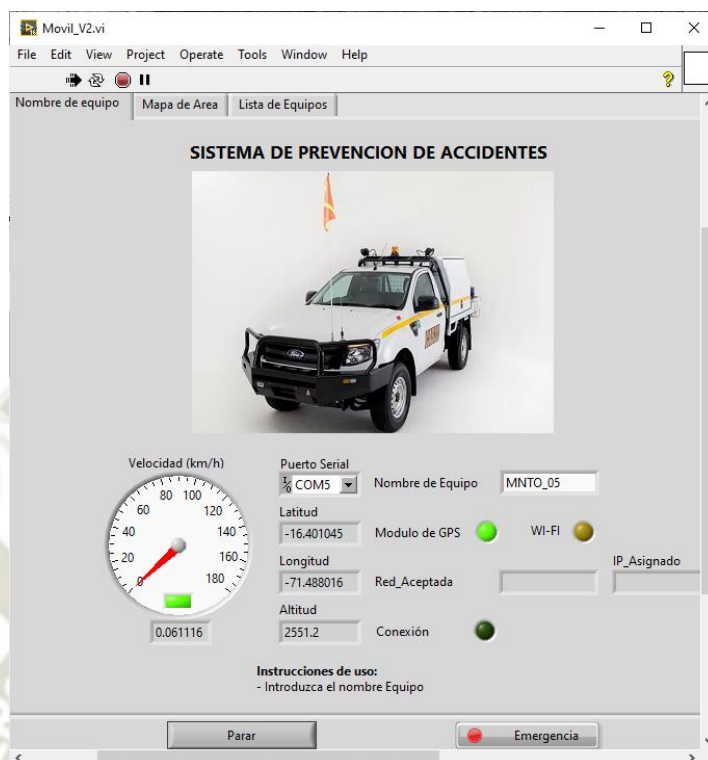


Figura 135. Toma de coordenadas 5.

Fuente: Elaboración propia.

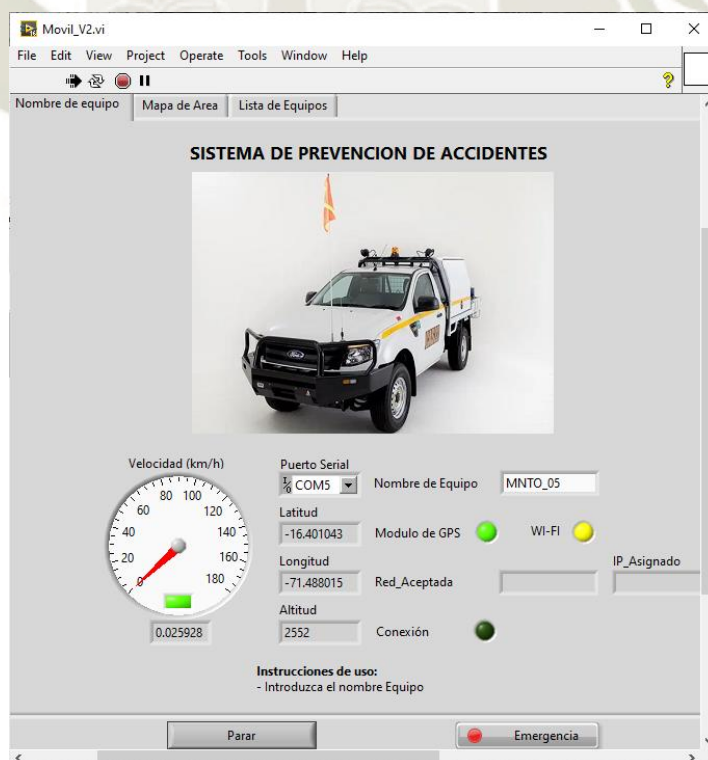


Figura 136. Toma de coordenadas 6.

Fuente: Elaboración propia.

Elaboramos una tabla para las coordenadas establecidas.

Tabla 36. Puntos de muestra de GPS.

Punto	Latitud	Longitud
Punto 1	-16.401030	-71.488030
Punto 2	-16.401028	-71.488034
Punto 3	-16.401029	-71.488021
Punto 4	-16.401027	-71.488008
Punto 5	-16.401045	-71.488016
Punto 6	-16.401043	-71.488015

Fuente: Elaboración propia.



Figura 137. Ubicación de puntos de muestra en mapa.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el fabricante el error del módulo GPS es de 2.5 m cómo se comprueba con los datos obtenidos, conocido el error podemos decir que la variación en la distancia tendrá un error de 5 m.

La exactitud de la posición, dependerá del lugar donde se están tomando las lecturas del módulo GPS, en nuestro caso las primeras lecturas fueron tomadas dentro de un cuarto de concreto donde la variación era de 5 m.

Las lecturas del módulo GPS, mejoran cuando son tomadas en un espacio libre y sin obstrucciones, hecho que se comprueba con lecturas tomadas en una unidad vehicular.

5.3 PRUEBAS DE RECEPCIÓN Y CONTROL DE DATOS

Para las pruebas de funcionamiento se usaron 02 computadoras, una computadora de escritorio el cual tomara el rol de una Pala eléctrica o camión de acarreo, y una computadora portátil instalada en una unidad móvil.

5.3.1 Pruebas del sistema en vehículos livianos:

Ejecutamos el programa en la computadora portátil. El programa contiene 03 ventanas donde se muestran los indicadores de conectividad de red, posición y datos de los demás equipos conectados a la red.

5.3.1.1 Ventana de ingreso de datos de Equipo liviano:

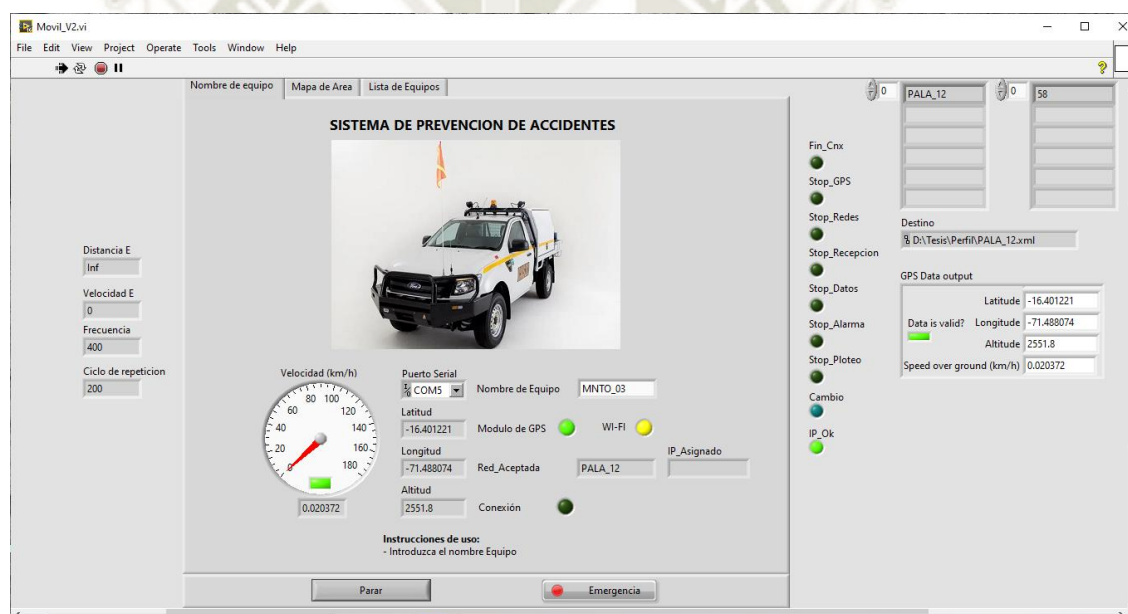


Figura 138. Ventana de ingreso de datos para equipos livianos.

Fuente: Elaboración propia.

En la primera ventana nos muestra los indicadores del sistema, se debe introducir las siglas identificadoras del equipo liviano de 4 letras seguidas de un guion bajo y un número otorgado asignado por el área. En nuestro caso se nombra a la unidad como MNT0_03 (Unidad de mantenimiento 03).

Parámetros mostrados en la ventana:

Velocidad (km/h): Nos muestra la velocidad del equipo, este dato es obtenido del módulo GPS.

Puerto serial: Se debe indicar el puerto donde se conecta el módulo GPS.

Nombre del Equipo: Introducir el nombre de acuerdo con el formato establecido.

Módulo de GPS: Este indicador nos muestra si el módulo GPS ha establecido conexión con los satélites.

Indicador Wifi: Nos muestra el funcionamiento de la detección de redes wifi.

Red Aceptada: Muestra el nombre de la red conectada.

IP Asignado: Nos muestra la dirección IP asignada a nuestro equipo para la conexión.

Indicador de Conexión: Nos muestra si la conexión establecida fue satisfactoria.

5.3.1.2 Ventana de Ubicación de equipos en el área (equipo liviano):

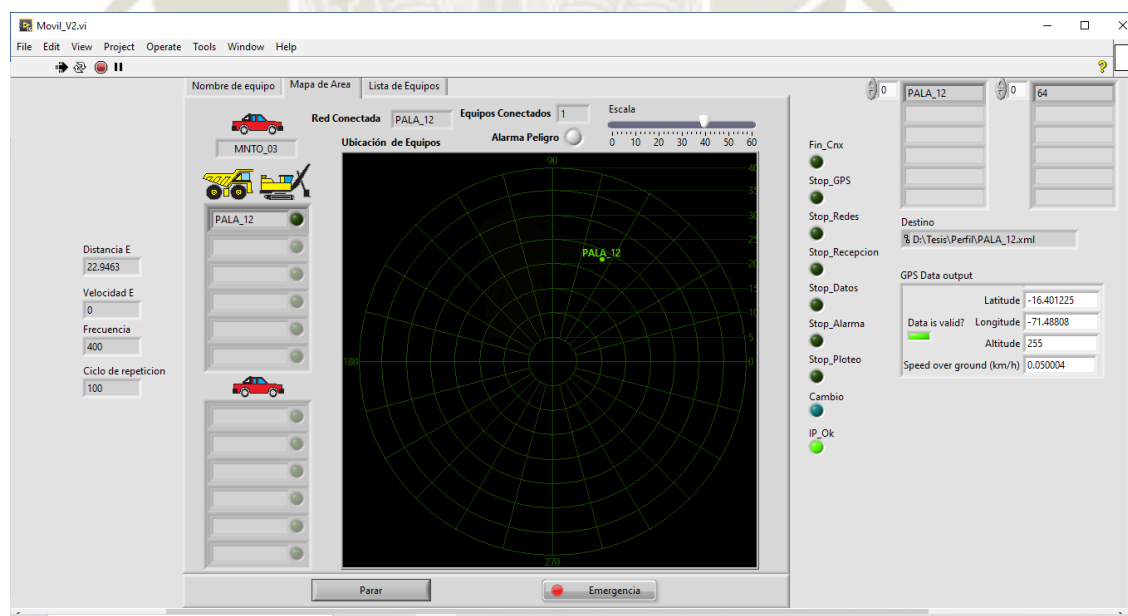


Figura 139. Ventana de ubicación de equipos – Equipo liviano.

Fuente: Elaboración propia.

En esta ventana nos muestra los equipos o vehículos conectados, una lista de equipos pesados conectados y otra lista de equipos livianos conectados.

Se usa un gráfico de coordenadas polares donde el radio es la medida que existe entre las unidades, y el ángulo la orientación donde se encuentra la unidad.

5.3.1.3 Ventana de información detallada (Equipo liviano).

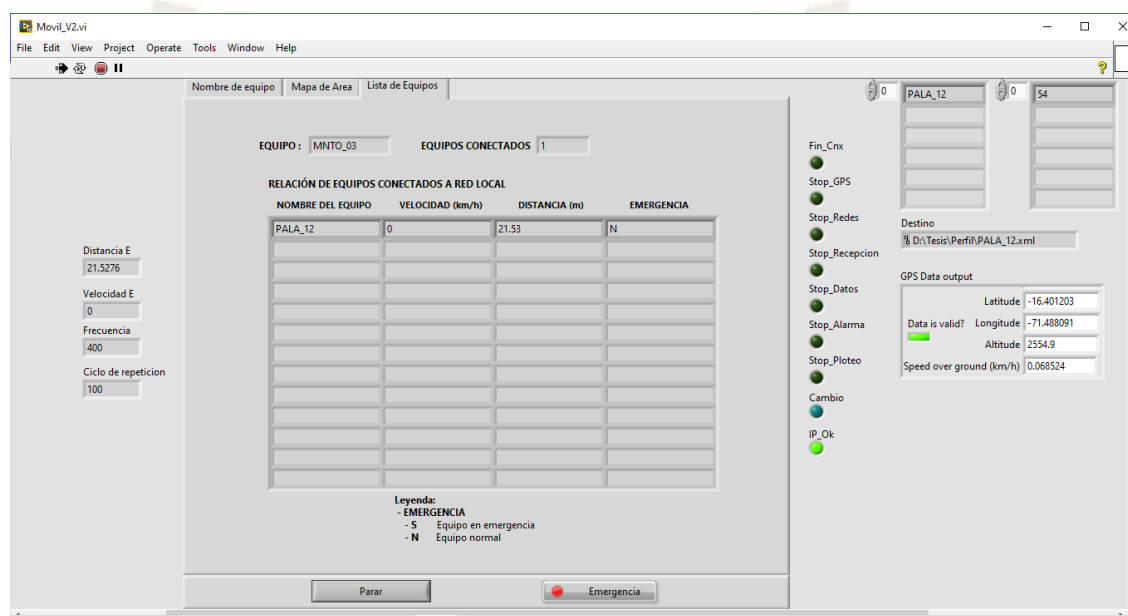


Figura 140. Ventana de información detallada - Equipo liviano.

Fuente: Elaboración propia.

Esta ventana nos muestra la relación detallada de cada equipo conectado, el nombre del equipo la velocidad en cuál transita, la distancia con respecto a la unidad y el estado del equipo.

5.3.2 Pruebas del sistema en Equipos pesado (Pala, camión de acarreo):

Para las pruebas de equipo pesado se ejecuta el programa en una computadora de escritorio, este equipo está conectado a un Punto de acceso para crear la red inalámbrica. Al igual que el programa de vehículos livianos contiene 03 ventanas donde se muestran los indicadores de posición y datos de los equipos conectados:

5.3.2.1 Ventana de ingreso de equipo pesado

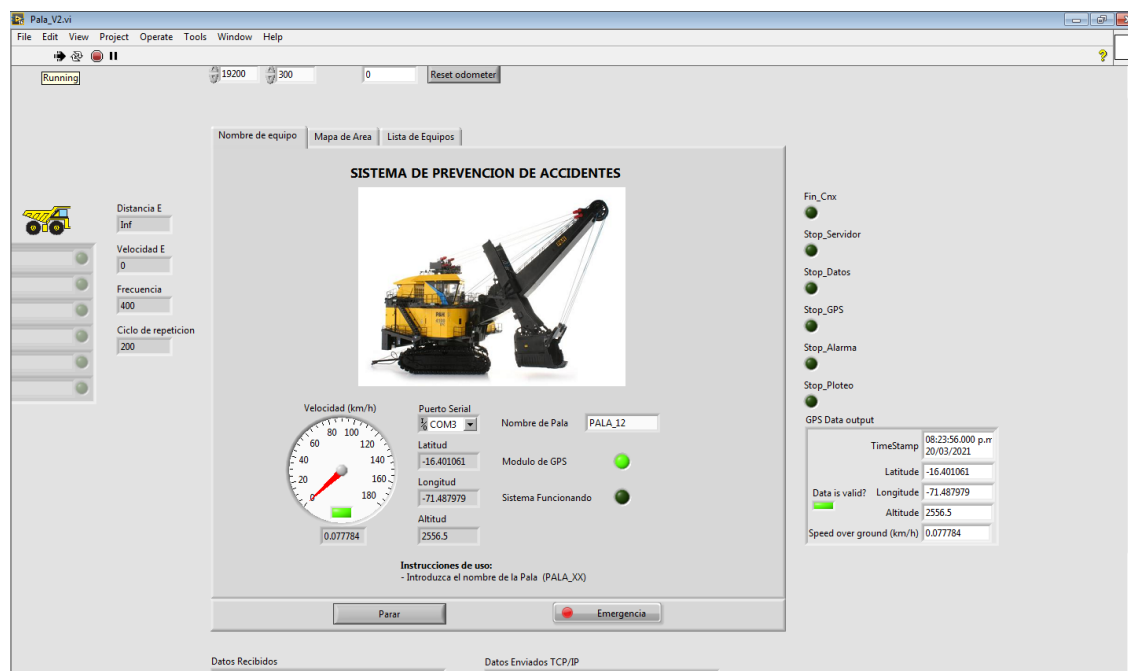


Figura 141. Ventana de ingreso de datos para equipo pesado.

Fuente: Elaboración propia.

A diferencia del programa de equipo liviano, esta carece de indicadores de conectividad de red, porque tendrá la función de servidor y no se conectará a otra red cercana.

Introducimos el nombre del equipo pesado en este caso PALA_12, el nombre es igual a la red creada por el Punto de Acceso.

Parámetros mostrados en la ventana:

Velocidad (km/h): Nos muestra la velocidad del equipo.

Puerto serial: Se debe indicar el puerto donde se conecta el módulo GPS.

Nombre del Equipo: Introducir el nombre de acuerdo con el formato establecido.

Módulo de GPS: Este indicador nos muestra si el módulo GPS ha establecido conexión con los satélites.

Indicador Sistema funcionando: Nos muestra el funcionamiento del sistema.

5.3.2.2 Ventana de ubicación de equipos en el área (equipo pesado):

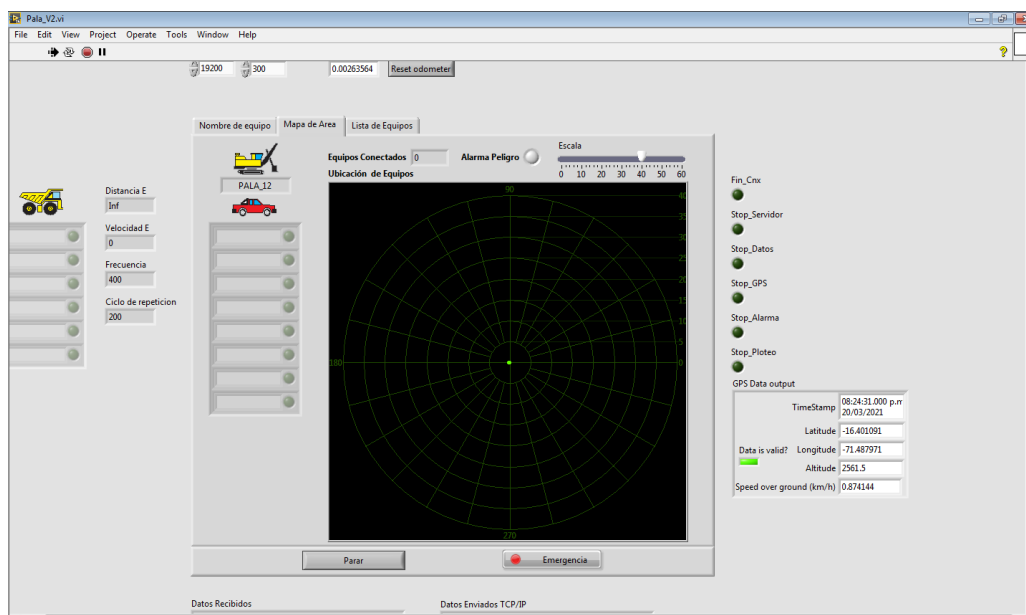


Figura 142. Ventana de ubicación de equipos - Equipo pesado.

Fuente: Elaboración propia.

A igual que la ventana del programa de vehículos livianos, muestra un mapa referencial de la ubicación de cada equipo conectado.

5.3.2.3 Ventana de información detallada (Equipo pesado).

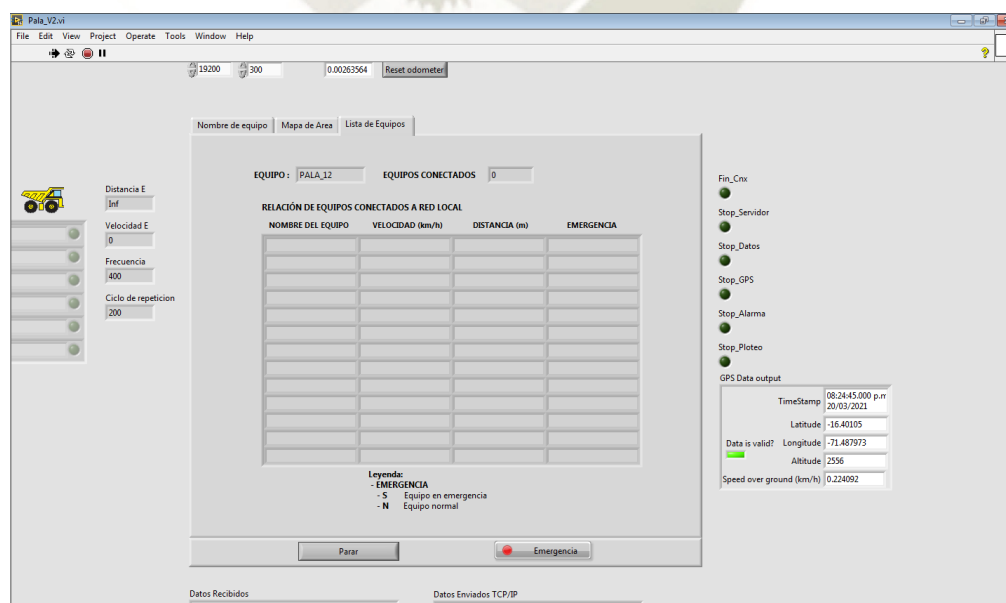


Figura 143. Ventana de información detallada - Equipo pesado.

Fuente: Elaboración propia.

Nos muestra la relación detallada de cada equipo conectado, el nombre de equipo, la velocidad, la distancia del equipo con respecto a la PALA_12 y el estado de cada uno de ellos.

5.3.3 Prueba del sistema en conjunto

5.3.3.1 Prueba N°01

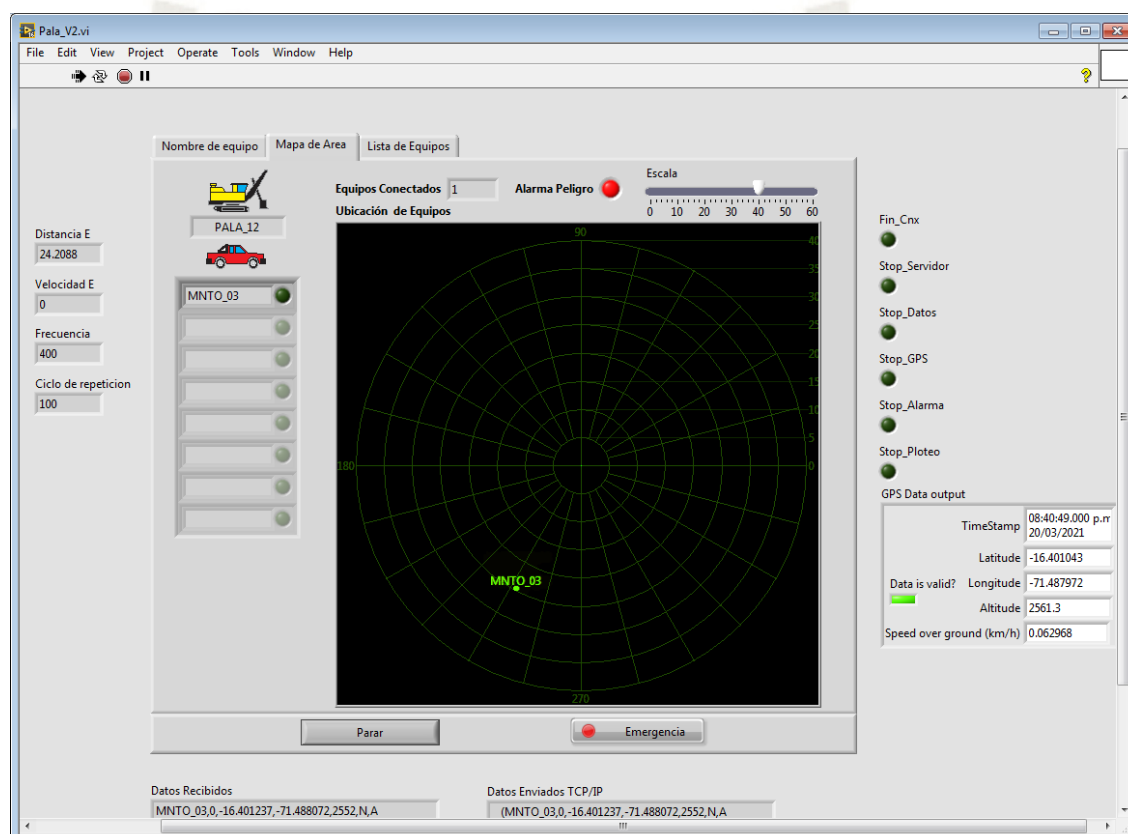


Figura 144. Prueba del sistema N°01 - Pala_12.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 144, el equipo liviano MNT0_03 conectado a la red wifi, ubicado al sur – oeste con respecto a la PALA_12, se encuentra a una distancia de 24 m.

Obtenemos los siguientes valores:

Latitud: -16.401043

Longitud: -71.487972

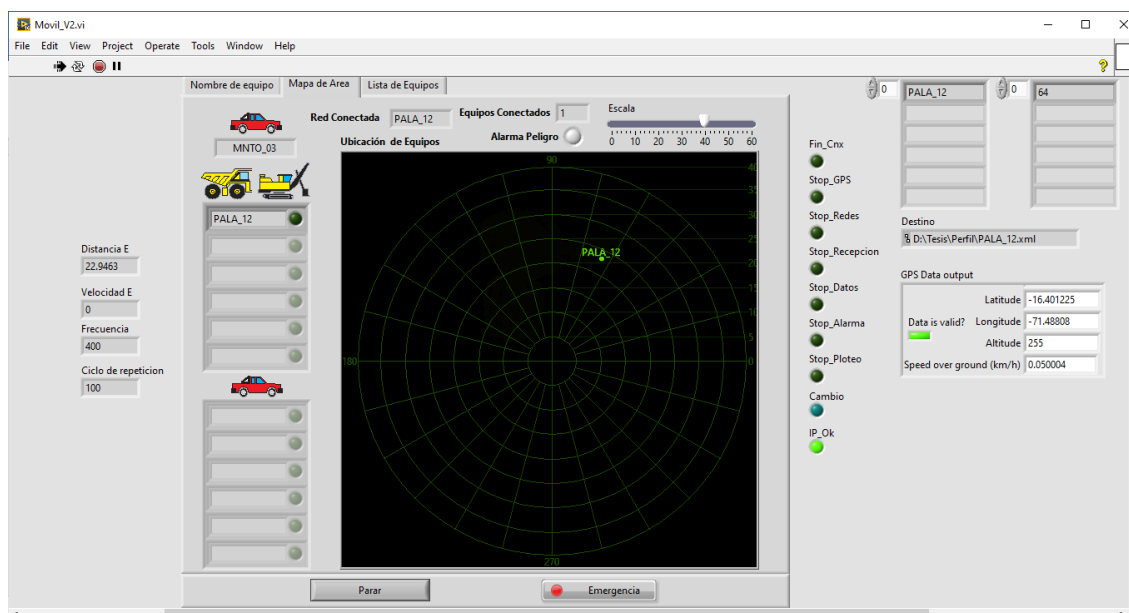


Figura 145. Prueba del sistema N°01 - MNT0_03.

Fuente: Elaboración propia.

La figura 145 muestra la posición de la PALA_12, ubicado al nor-este con respecto al equipo MNT0_03 a una distancia de 23 m.

Obtenemos los siguientes valores:

Latitud: -16.401225

Longitud: -71.488080



Figura 146. Verificación de distancia entre puntos – N° 01.

Fuente: Elaboración propia.

Para la verificación de la distancia obtenida, nos apoyamos de Google maps para poder ubicar las coordenadas y obtener la distancia real. Se obtiene una distancia de 23.43 m cuyo valor es casi similar al obtenido por el sistema de 23-24 m.

Se debe resaltar la distancia obtenida tendrá un error máximo de 5 m.

5.3.3.2 Prueba N°02

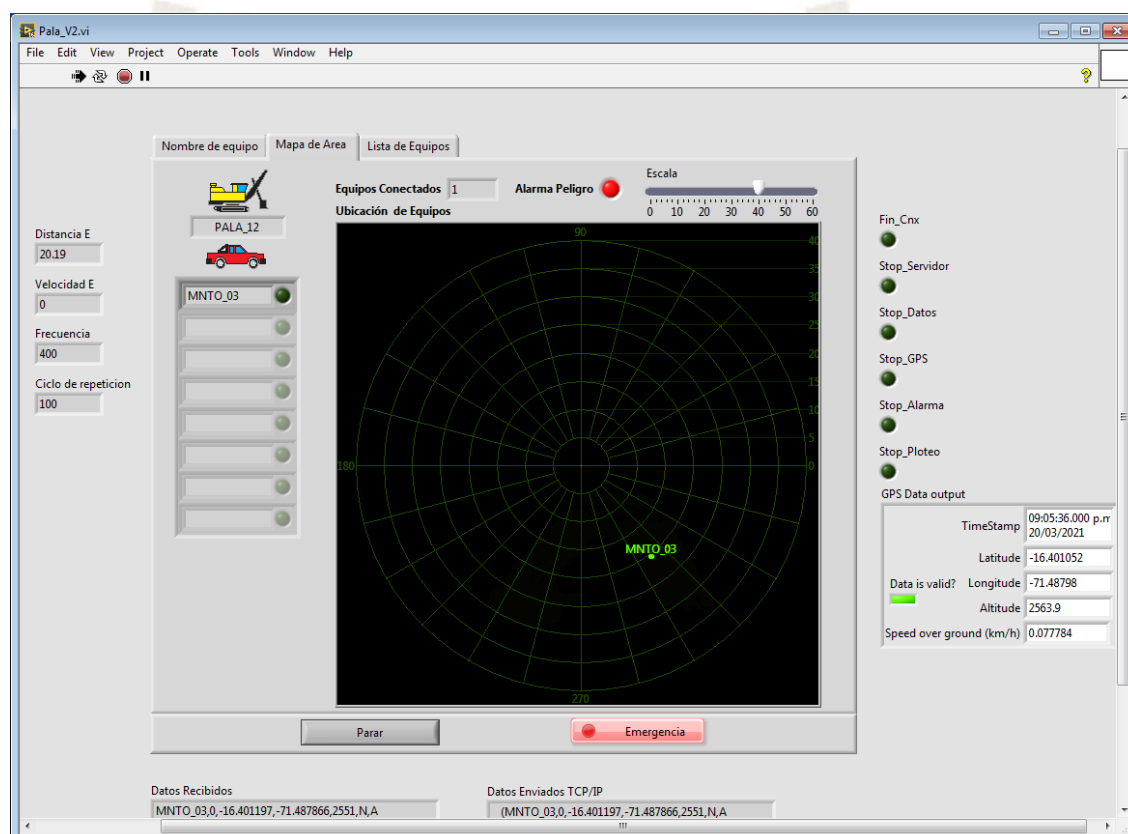


Figura 147. Prueba del sistema N°02 - PALA_12.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 147, el equipo liviano MNT0_03 conectado a la red wifi, ubicado al sur – este con respecto a la PALA_12, se encuentra a una distancia de 20 m.

Obtenemos los siguientes valores:

Latitud: -16.401052

Longitud: -71.487980

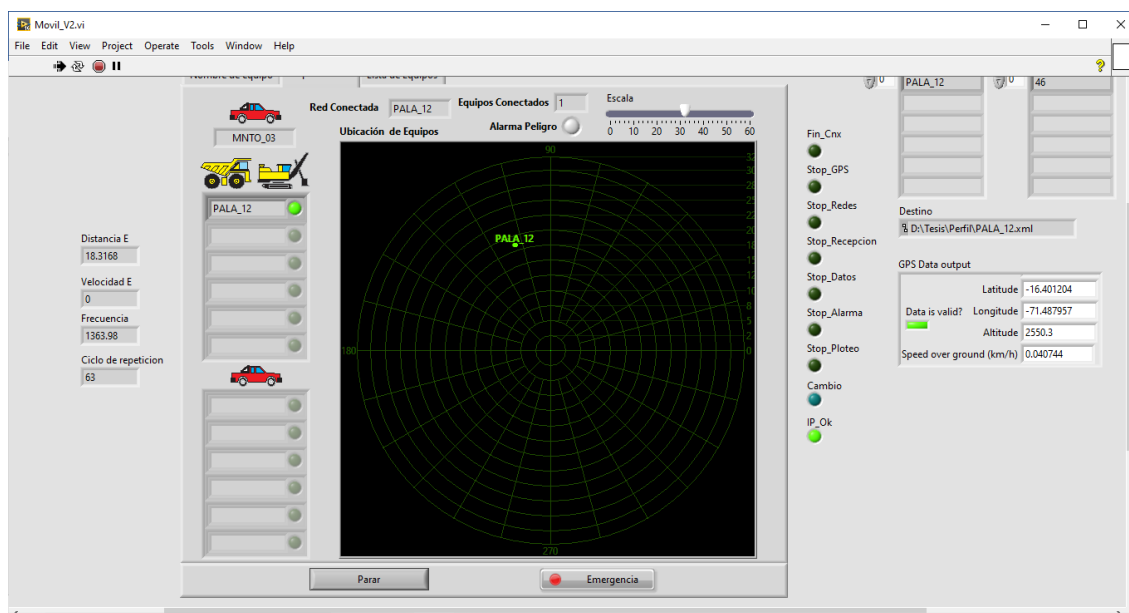


Figura 148. Prueba del sistema N°02 - MNT0_03.

Fuente: Elaboración propia.

La figura 148 muestra la posición de la PALA_12, ubicado al nor-oeste con respecto al equipo MNT0_03 a una distancia de 18 m.

Obtenemos los siguientes valores:

Latitud: -16.401204

Longitud: -71.487957

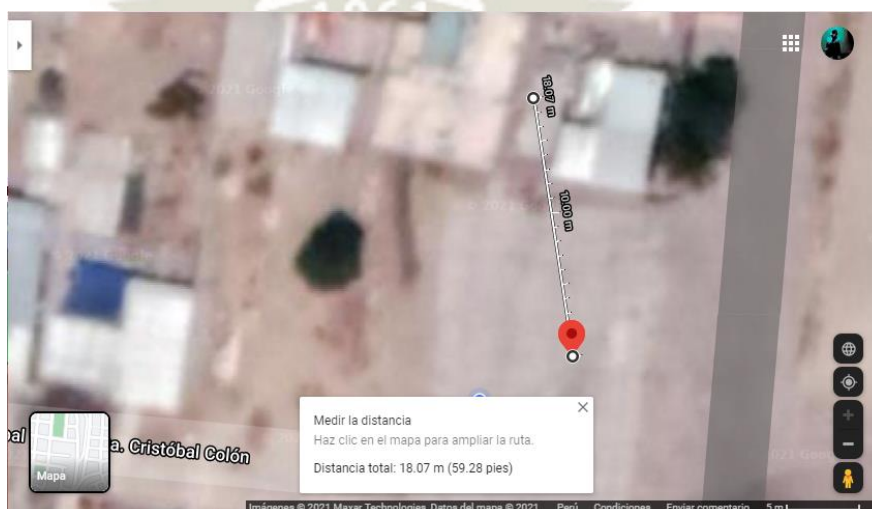


Figura 149. Verificación de distancia entre puntos - N° 02.

Fuente: Elaboración propia.

Se verifica la distancia obtenida, mediante Google maps para poder ubicar las coordenadas y obtener la distancia real. Se obtiene una distancia de 18 m cuyo valor es casi similar al obtenido por el sistema de 20-18 m.

5.3.3.3 Prueba 03

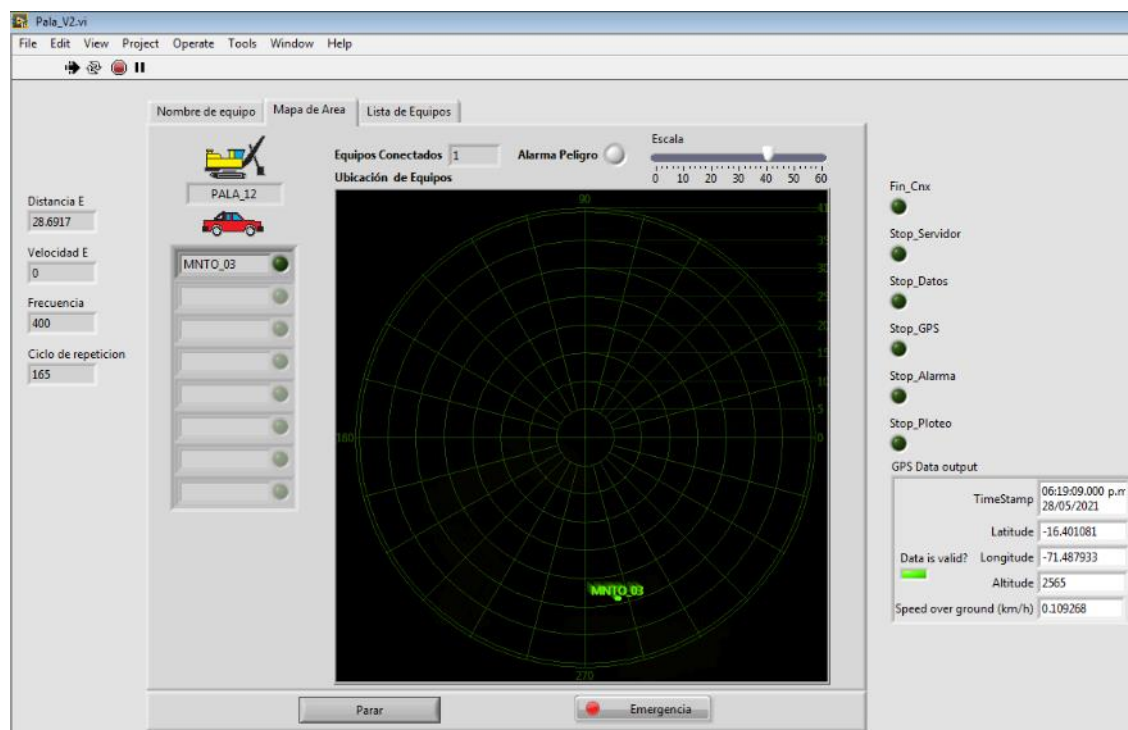


Figura 150. Prueba del sistema N°03 - PALA_12.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 150, el equipo liviano MNTD_03 conectado a la red wifi, ubicado al sur – este con respecto a la PALA_12, se encuentra a una distancia de 28.69 m.

Obtenemos los siguientes valores:

Latitud: -16.401081

Longitud: -71.487933

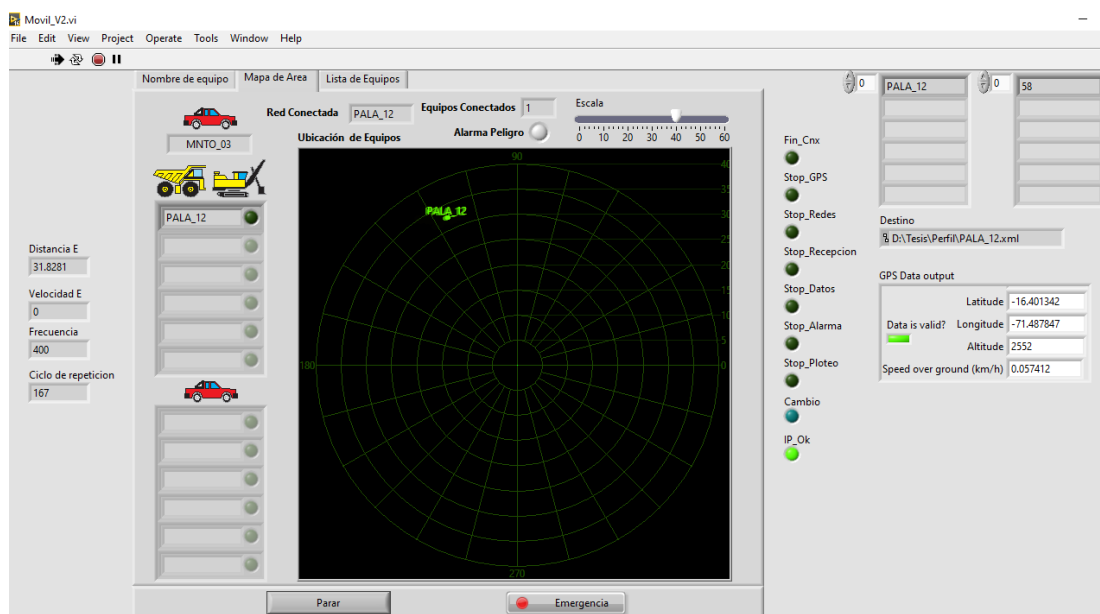


Figura 151. Prueba del sistema N°03 - MNT0_03.

Fuente: Elaboración propia.

La figura 151 muestra la posición de la PALA_12, ubicado al nor-oeste con respecto al equipo MNT0_03 a una distancia de 31.8 m.

Obtenemos los siguientes valores:

Latitud: -16.401342

Longitud: -71.487847

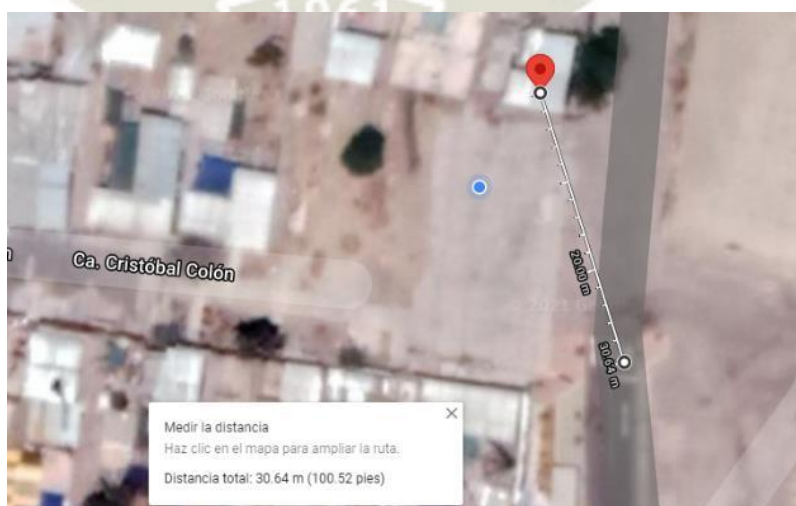


Figura 152. Verificación de distancia entre puntos N°03.

Fuente: Elaboración propia.

La verificación de la distancia obtenida, se realiza mediante Google maps ubicamos las coordenadas y obtenemos la distancia real. Se obtiene una distancia de 30.64 m el valor obtenido es cercano al mostrado por el sistema de 28.69 – 31.8 m.

5.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos de las pruebas muestran la ubicación de cada equipo conectado en la red, la exactitud de ubicación dependerá de una buena posición del módulo receptor de GPS,

En la etapa I de redes móviles. WIFI, se encontró con la limitación de cobertura de área, por el uso de un Punto de Acceso de tipo residencial, el alcance máximo obtenido fue de 30 m, si bien se cumplió con la distancia mínima segura sirvió para comprobar el funcionamiento del sistema.

En la etapa II de ubicación y posicionamiento, los módulos GPS dieron la ubicación exacta de posición, pero depende de una buena ubicación del módulo receptor, si la ubicación del módulo se encuentra con interferencia como edificios de concreto se obtiene un error mayor de 3 m mejorando la recepción en un espacio libre.

En la Etapa III de programación e integración, el programa muestra los equipos conectados con sus nombres respectivos, así como la velocidad, estado de cada equipo y las alarmas de acuerdo con la distancia. El flujo de datos es determinado por el número de equipos conectados, el sistema se comportó óptimamente frente a 9 equipos conectados, mayor a 10 equipos se produce un retraso en tiempo de actualización del mapa de ubicaciones.

CAPÍTULO VI

COSTOS Y PRESUPUESTOS

En este capítulo se presentan los gastos de hardware y software, para la implementación de los prototipos del sistema de prevención.

6.1 HARDWARE Y SOFTWARE PARA EQUIPOS PESADOS

La tabla 37 presenta el costo por unidad de los elementos, para la implementación del prototipo.

Tabla 37. Costo de implementación de prototipo de sistema para equipos pesados.

Item	Descripción	Tipo	P. Uni	Uni.	P. Total
1	Modem/AP TP-Link TDW8901G	Hardware	S/ 150.00	1	S/ 150.00
2	Patch cord	Hardware	S/ 5.00	1	S/ 5.00
3	Estación de control - Laptop	Hardware	S/ 3700	1	S/ 3700
4	Módulo GPS NEO 6M	Hardware	S/ 50.00	1	S/ 50.00
5	Módulo conversor CP2102	Hardware	S/ 10.00	1	S/ 10.00
6	Cable extensor USB-USB	Hardware	S/ 5.00	1	S/ 5.00
7	Case para módulo GPS	Hardware	S/ 10.00	1	S/ 10.00
8	LabVIEW 2016 – completo	Software	S/ 15152.70	1	S/ 15152.70
9	Programación de software	Software	S/ 6000	1	S/ 6000
Total					S/ 25082.7

Fuente: Elaboración propia.

6.2 HARDWARE PARA EQUIPOS LIVIANOS.

La tabla presenta 38 el costo de los elementos para la implementación del prototipo.

Tabla 38. Costo de implementación de prototipo de sistema para equipos livianos.

Item	Descripción	Tipo	P. Uni	Uni.	P. Total
1	Estación de control - Laptop	Hardware	S/ 3700	1	S/ 3700
2	Módulo GPS NEO 6M	Hardware	S/ 50.00	1	S/ 50.00
3	Módulo conversor CP2102	Hardware	S/ 10.00	1	S/ 10.00
4	Cable extensor USB-USB	Hardware	S/ 5.00	1	S/ 5.00
5	Case para módulo GPS	Hardware	S/ 10.00	1	S/ 10.00
Total					S/ 3775

Fuente: Elaboración propia.

6.3 COSTOS DEL SISTEMA CON EQUIPOS PARA INSTALACIÓN

Los equipos a considerar para el sistema, a ser instalado en los equipos pesados de producción.

Tabla 39. Costo de implementación del sistema para equipos pesados.

Item	Descripción	Tipo	P. Uni	Uni.	P. Total
1	Cisco Aironet 1250	Hardware	S/ 2350.00	1	S/ 2350.00
2	Patch cord	Hardware	S/ 5.00	1	S/ 5.00
3	Estación de control - Tablet	Hardware	S/ 503.00	1	S/ 503.00
4	Módulo GPS NEO 6M	Hardware	S/ 50.00	1	S/ 50.00
5	Módulo conversor CP2102	Hardware	S/ 10.00	1	S/ 10.00
6	Cable extensor USB-USB	Hardware	S/ 5.00	1	S/ 5.00
7	Case para módulo GPS	Hardware	S/ 10.00	1	S/ 10.00
8	LabVIEW 2016 – completo	Software	S/ 15152.70	1	S/ 15152.70
9	Programación de software	Software	S/ 6000	1	S/ 6000
Total					S/ 24085.7

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 40 presenta el costo de los elementos para la implementación en unidades livianas.

Tabla 40. Costo de implementación del sistema para equipos livianos.

Item	Descripción	Tipo	P. Uni	Uni.	P. Total
1	Estación de control – Tablet	Hardware	S/ 503.00	1	S/ 503.00
2	Módulo GPS NEO 6M	Hardware	S/ 50.00	1	S/ 50.00
3	Módulo conversor CP2102	Hardware	S/ 10.00	1	S/ 10.00
4	Cable extensor USB-USB	Hardware	S/ 5.00	1	S/ 5.00
5	Case para módulo GPS	Hardware	S/ 10.00	1	S/ 10.00
Total					S/ 578.00

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO VII

REQUERIMIENTOS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

7.1 REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DE LOS EQUIPOS A USAR EN LOS VEHÍCULOS.

7.1.1 Requerimiento mínimo para equipos pesados:

Estación de control

- Pentium 4G (o equivalente) o posterior (32 bits), Pentium 4 G1 (o equivalente) o posterior (64 bits).
- Windows 10 (versión 1909) / 8.1 Actualización 1/7 SP1, Windows Server 2016 (versión 1607) / 2012 R2 / 2008 R2 SP1.
- 1GB de RAM y 5 GB de espacio en el disco duro.
- Resolución de pantalla 1024 x 768 pixeles (NI recomienda 1366 x 768 o mayor).
- Tarjeta de red Fast Ethernet integrada (RJ-45).
- Tarjeta inalámbrica 802.11 n /g/b.

Modulo GPS:

- Sensibilidad: -165 dBm tracking / -148 dBm Acquisition.
- Tipo de receptor: 22 tracking / 66 canales de lectura.
- Estándares GPS/WAAS/EGNOS/MSAS.
- Frecuencia de actualización 5 Hz.
- Velocidad de desplazamiento máxima 500 m/s.
- Precisión: posición 2.5 m CEP / SBAS 2.0 m CEP.
- Protocolo: NMEA (9600 bps).
- Interfaz: UART/USB/SPI/DDCI.
- Antena cerámica activada incluida.
- Voltaje de operación: 2.7 – 3.6 VDC.

Punto de acceso:

- Tipo de punto de acceso industrial
- Grado de protección IP 68.
- Soporte para conexiones 802.11 a/b/g/n.
- Bandas de frecuencias 2.4-2.497 GHz.

- Potencia de transmisión 100 mW (20dBm); 50mW (17 dBm); 30 mW (15 dBm); 20 mW (13 dBm); 5 mW (7 dBm); 1 mW (0 dBm).
- Alcance típico: 40 m @ 11Mbps; 107 m @ 1 Mbps.
- Interfaz RJ-45 10/100/1000 Base.

Patch cord:

- Categoría Cat 5E.
- Tipo; Ethernet Patch (RJ-45).
- Longitud: 1.80 m.
- Calibre 4 PR – 24 AWG.

Modulo conversor USB-TTL:

- Conector USB tipo A.
- Especificación USB 2.0 12Mbps.
- Buffer de Recepción 576 Bytes.
- Buffer de transmisión 640 Bytes.

Cable extensor:

- Tipo Macho – hembra.
- Conector USB tipo A.
- Longitud: 2 m.

7.1.2 Requerimiento mínimo para equipos livianos:

Estación de control

- Pentium 4G (o equivalente) o posterior (32 bits), Pentium 4 G1 (o equivalente) o posterior (64 bits).
- Windows 10 (versión 1909) / 8.1 Actualización 1/7 SP1, Windows Server 2016 (versión 1607) / 2012 R2 / 2008 R2 SP1.
- 1GB de RAM y 5 GB de espacio en el disco duro.
- Resolución de pantalla 1024 x 768 pixeles (NI recomienda 1366 x 768 o mayor).
- Tarjeta de red Fast Ethernet integrada (RJ-45).
- Tarjeta inalámbrica 802.11 n /g/b.

Modulo GPS:

- Sensibilidad: -165 dBm tracking / -148 dBm Acquisition.

- Tipo de receptor: 22 tracking / 66 canales de lectura.
- Estándares GPS/WAAS/EGNOS/MSAS.
- Frecuencia de actualización 5 Hz.
- Velocidad de desplazamiento máxima 500 m/s.
- Precisión: posición 2.5 m CEP / SBAS 2.0 m CEP.
- Protocolo: NMEA (9600 bps).
- Interfaz: UART/USB/SPI/DDCI.
- Antena cerámica activada incluida.
- Voltaje de operación: 2.7 – 3.6 VDC.

Modulo conversor USB-TTL:

- Conector USB tipo A.
- Especificación USB 2.0 12Mbps.
- Buffer de Recepción 576 Bytes.
- Buffer de transmisión 640 Bytes.

Cable extensor:

- Tipo Macho – hembra.
- Conector USB tipo A.
- Longitud: 2 m.

7.2 TABLA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PROTOTIPO.

Tabla 41. Especificaciones técnicas - Parte 1

Equipo			Liviano	Pesado
Estación de control			Laptop	Laptop
Hardware	Modelo		L745-SP4142CL	L845-SP4303FA
	Procesador		I5 – 2410M	I3 – 3110M
	Memoria		4 GB DDR3	8 GB DDR3
	Comunicación Wifi		802.11 b/g/n	802.11b/b/n
	Ethernet		LAN RJ-45	LAN RJ-45
Software	Windows		10 profesional	8 profesional
	Sistema		Programa para equipo liviano	Programa para equipo pesado
	Driver universal		CP2102	CP2102
	GNSS		U-center	U-center
Punto de acceso				
Hardware	Modelo		-	TD-W8901G
	Estándar de red		-	IEEE 802.11 g
	Interfaz		-	Port RJ-45
	Tasa de datos	Mbps	-	54
	Potencia	dBm	-	17
	Seguridad		-	WEP 64/128
	Autenticación		-	WPA/WPA2, WPA- PKS/WPA2-PSK
	Alcance		-	30 m
	Dimensión (L*W*H)	mm	-	165*108*28
	Voltaje	VDC	-	9
	Corriente	A	-	0.85
Patch cord				
Hardware	Longitud	m	-	1.5
	Categoría		-	Cat 5E
	Tipo		-	Ethernet Patch (RJ-45)
Modulo GPS				
Hardware	Modelo		NEO 6M GPS	NEO 6M GPS
	Interface		TTL	TTL
	Receptor		GPS	GPS
	Taza de actualización	Hz	5	5
	Sensibilidad	dBm	-162	-162
	Precisión	m	2.5	2.5
	Voltaje	VDC	3.3-5	3.3-5
	Corriente	mA	45	45
	Impedancia TXD/RXD	Ohm	510	510
	Dimensión (L*W*H))	mm	12.5*5*1.7	12.5*5*1.7

Fuente: Elaboración propia

Tabla 42. Especificaciones técnicas - Parte 2

Cable extensor				
Hardware	Tipo	2.0	Macho-hembra	Macho-hembra
	Modelo		PE-US0310	PE-US0310
	Longitud	m	5	5
Modulo conversor USB-TTL				
Hardware	Modelo		CP2102	CP2102
	Conector		USB tipo A	USB tipo A
	Especificación USB2.0	Mbps	12	12
	Buffer de recepción	Bytes	576	576
	Buffer de transmisión	Bytes	640	640
Sistema				
Red Wifi	Radio de cobertura	m	-	30
	Radio mínimo seguro	m	10	-
	Radio seguro	m	30	-
	Nivel para conexión a red Wifi	%	45	-
Alarma sonora	Frecuencia máxima	Hz	3000	3000
	Frecuencia mínima	Hz	400	400
	Periodo máximo	s	6	6
	Periodo mínimo	s	0.5	0.5
	Distancia mínima entre equipos	m	30	30
	Velocidad máxima de equipos	Km/h	60	60

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

Primera: Se pudo diseñar e implementar un sistema prototipo de prevención y alerta de accidentes de tránsito en área mina, pese a inconvenientes presentados para su desarrollo en la implementación de la etapa de adquisición de datos, así como en la programación del software.

Segunda: Se opta por la implementación de redes inalámbricas, sobre otras opciones, debido al tipo de distribución y cobertura de datos requeridos y conexión de cada equipo que se integraría a las redes existentes.

Tercera: El uso del software LabVIEW permite una programación fácil e intuitiva, principalmente en el área de control difuso al poseer módulos específicos y permitir las simulaciones correspondientes.

Cuarta: El sistema cumple con el objetivo de indicar la posición de los equipos a todos los usuarios conectados a la red.

Quinta: El sistema planteado es de fácil implementación para cada unidad liviana, como requerimiento de ingreso a mina, aumentando los estándares de seguridad en el tránsito.

Sexta: Para el planteo del sistema se consideraron las principales causas más frecuentes asociados a los incidentes de tránsito que ocurren en el área de trabajo en mina entre equipos.

Séptima: El proyecto desarrollado serviría como un apoyo al sistema implementado existente en el área mina, siendo un sistema activo que permitirá al conductor saber que equipos están en el área de trabajo.

RECOMENDACIONES

Primera: Se recomienda usar un Punto de acceso de aplicaciones industriales para tener un área de mayor cobertura de la red inalámbrica.

Segunda: Se recomienda el uso de tablets con sistema operativo Windows 10, en reemplazo de las computadoras usadas para el prototipo del proyecto. Por la portabilidad y el hardware potente que hoy en día ofrecen.

Tercera: Para el uso de los módulos GPS, se recomienda su instalación en un lugar libre de interferencias para obtener una mejor recepción de señal de los satélites.

Cuarta: Se recomienda la implementación del sistema, como una alternativa de mayor seguridad a los equipos involucrados en el área de tránsito de mina.

Quinta: El sistema de prevención basado en comunicación inalámbrica, puede mejorar la comunicación entre equipos mediante la transmisión de otras variables o estados, y complementar a la comunicación instalada.

Sexta: El proyecto desarrollado está orientado como supervisión de posición a equipos livianos por parte de equipos pesados, debido a que los equipos pesados tienen implementado su propio sistema de supervisión de posición Dispatch.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Osinergmin. (enero de 2018). *Análisis estadístico de seguridad y compendio ilustrativo de Accidentes en el sector de mediana minería y gran minería – 2018*. Recuperado el 16 de noviembre de 2019 de https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/mineria/Documentos/Publicaciones/Compendio-Ilustrativo-Accidentes-Mineria-2018.pdf
- [2] Osinergmin. (31 de enero de 2019). *Boletín estadístico de la gerencia de supervisión minera Accidentes mortales mediana minería y gran minería – 2019*. Recuperado el 16 de noviembre de 2019 de http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/mineria/estadisticasei/indicadores/accidentes-mortales/Boletin-GSM-Accidentes-Mortales-2019-01.pdf
- [3] CAT Minestar. (2019). *Detección de objetos: cómo ayudar a los operadores a “ver” los posibles peligros*. Recuperado el 17 de noviembre de 2019 de https://www.cat.com/es_US/support/operations/technology/cat-minestar/minestar-in-action/helping-operators-see.html
- [4] Moreno Martin, M. (enero 2015). *Análisis, diseño y despliegue de una red Wifi en Santillana del Mar*. [Tesis de pregrado], Universidad autónoma de Madrid, Madrid, España. Recuperado el 18 de octubre de 2019, de <http://arantxa.ii.uam.es/~jms/pfcsteleco/lecturas/20150123MartaMorenoMartin.pdf>
- [5] Barbosa Reyes, J.J. & Orjuela Ayala, D.F. (2010). *Diseño de la red inalámbrica WIFI para la empresa PROCIBERNETICA*. [Monografía], Universidad Libre, Bogotá, Colombia. Recuperado el 20 de octubre de 2019, de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/8798/monografia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [6] Hometech. (2019). *Como diseñar una red Wifi*. Recuperado el 20 de octubre de 2019, de <http://www.hometechcolombia.com/boletines/PDF/DisenarRedWiFi.pdf>

- [7] Ramírez, M & Polanco, C & Farias, B. *Seguridad inalámbrica*. [Artículo], Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile. Recuperado el 20 de octubre de 2019, de <http://profesores.elo.utfsm.cl/~agv/elo322/1s13/project/reports/SEGURIDAD.pdf>
- [8] Aguello Fajardo, M. & Mata Cecilio, J. & Navarrete Vaquero, I. (junio de 2009). *Propuesta de análisis y diseño de la red inalámbrica en la DCYC del instituto politécnico nacional*. [Tesina]. Instituto Politécnico Nacional Escuela Superior de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Culhuacán, México. Recuperado el 22 de octubre de 2019, de <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/5322/1/ESIME%20Red%20Dcyc.pdf>
- [9] Martin Alonso, J. (8 de junio de 2009). *Modelo de propagación empírico para predicción de pérdidas de potencia en señales inalámbricas bajo estándar IEEE 802.11B/G*. [Artículo de investigación]. Unidades Tecnológicas de Santander UTS, Bucaramanga, Colombia. Recuperado el 25 de octubre de 2019 de <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistagti/article/download/771/1076/>
- [10] Martínez Mozo, C. (17 de mayo de 2004). *Adquisición de la posición de un vehículo utilizando GPS*. [Tesis profesional]. Universidad de las Américas Puebla, Puebla México. Recuperado el 25 de octubre de 2019 de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/martinez_m_c/capitulo2.pdf
- [11] Giménez Rodríguez, T & Ros Bernabéu, M. E. (2010). *Sistema de posicionamiento global (GPS)*. Recuperado el 27 de octubre de 2019 de https://webs.um.es/bussons/GPSresumen_TamaraElena.pdf
- [12] Alambiaga Pascual, J. (septiembre de 2017). *Adquisición y procesado de información de posicionamiento GPS mediante dispositivo inalámbrico basado en Arduino*. [Memoria]. Universidad politécnica de Valencia, Valencia, España. Recuperado el 27 de noviembre de 2019 de

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/88976/ALAMBIAGA%20-%20Adquisici%C3%B3n%20y%20procesado%20de%20informaci%C3%B3n%20de%20posicionamiento%20GPS%20mediante%20dispositivo%20in....pdf?sequence=1>

- [13] De los Ríos, C.D. (noviembre de 2004) *Evaluación de estructuras y medios de ajuste de reguladores PID-Difusos*. [Tesis de titulación]. Universidad de Piura, Piura, Perú. Recuperado el 23 de octubre de 2019 de http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_185_184_133_1746.pdf
- [14] Sociedad Minera Cerro Verde. (2019). *Reglamento general de transito de SMCV*. Recuperado el 25 de octubre de 2019, de https://cerroverde.pe/wp-content/uploads/2019/04/SSOre0004_Reglamento-General-de-Transito-SMCV_v05.pdf
- [15] Sociedad Minera Cerro Verde (2015). *Riesgos asociados al carguío y acarreo*.
- [16] Lajara Vizcaino, J.R & Pelegrí Sebastián, J. (2007). *LabVIEW Entorno gráfico de programación*. Alfaomega Marcombo, México D.F.
- [17] Moreno Velasco, I. & Sánchez Ortega, (2010). *Introducción a la Instrumentación Virtual. Programación en LabVIEW*. Recuperado el 14 de agosto de 2019, de http://www.gte.us.es/ASIGN/IE_4T/Programacion%20en%20labview.pdf
- [18] Banner. (2019). *Sistema anticolidión basado en radar*. Recuperado el 28 de octubre de 2019, de <https://www.bannerengineering.com/mx/es/solutions/vehicle-detection/radar-based-collision-avoidance.html>
- [19] CAT Minestar (2019). *Eche un vistazo a los alrededores Detect*. Recuperado el 28 de octubre de 2019, de https://www.cat.com/es_US/support/operations/technology/cat-minestar/detect.html

- [20] Walker, S. (febrero de 2015). *La detección de proximidad ayuda a concientizar las minas*. Recuperado el 30 de octubre de 2019, de <https://www.equipo-minero.com/contenidos/la-deteccion-de-proximidad-ayuda-a-concientizar-las-minas/>
- [21] WildPackets (noviembre de 2002). *Converting Signal Strength Percentage to dBm Values*. Recuperado el 30 de noviembre de 2019, de https://d2cpnw0u24fjm4.cloudfront.net/wp-content/uploads/Converting_Signal_Strength.pdf
- [22] TPlink. (2019). *Modem Router Inalámbrico ADSL2+54M*. Recuperado el 1 de noviembre de 2019, de <http://www.tplink.cl/products/productDetails24fd.html?class=adsl&content=spe&model=TD-W8901G>
- [23] JOYGLOBAL (2019), *2800XPC Electric Mining Shovel – AC Drive Product Overview*. Recuperado el 30 de noviembre de 2019, de <https://s3.amazonaws.com/webklat/wp-content/uploads/2018/10/10012341/komatsu-pala-cable-PH-2800XPC-EN.pdf>
- [24] CAT (2019), *Camión Minero 797F*. Recuperado el 03 de noviembre de 2019, de <https://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C782781>
- [25] Silicon Laboratories. (2019). *Single Chip USB – UART CP2102*. Recuperado el 04 de noviembre de 2019, de <https://www.sparkfun.com/datasheets/IC/cp2102.pdf>
- [26] NEO-6, *Data Sheet NEO-6 u-blox 6 GPS Module*. Recuperado el 03 de noviembre de 2019, de [https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_\(GPS.G6-HW-09005\).pdf](https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_(GPS.G6-HW-09005).pdf)
- [27] AristaSur. (2019). *Sistema de Coordenadas Geográficas: longitud y latitud*. Recuperado el 10 de noviembre de 2019, de

<https://www.aristasur.com/contenido/sistema-de-coordenadas-geograficas-longitud-y-latitud>

- [28] Guerrero, J. (13 de noviembre de 2012). *Distancia entre dos puntos de la superficie terrestre mediante la fórmula de Haversine con Python*. Recuperado el 10 de noviembre de 2019, de <https://joseguerreroa.wordpress.com/2012/11/13/distancia-entre-dos-puntos-de-la-superficie-terrestre-mediante-la-formula-de-haversine-con-python/>



ANEXOS

Anexo 1: Programas y subprogramas del sistema

Conjunto de programas para equipos pesados

Panel frontal – Interfaz del control del sistema (Equipo pesado)

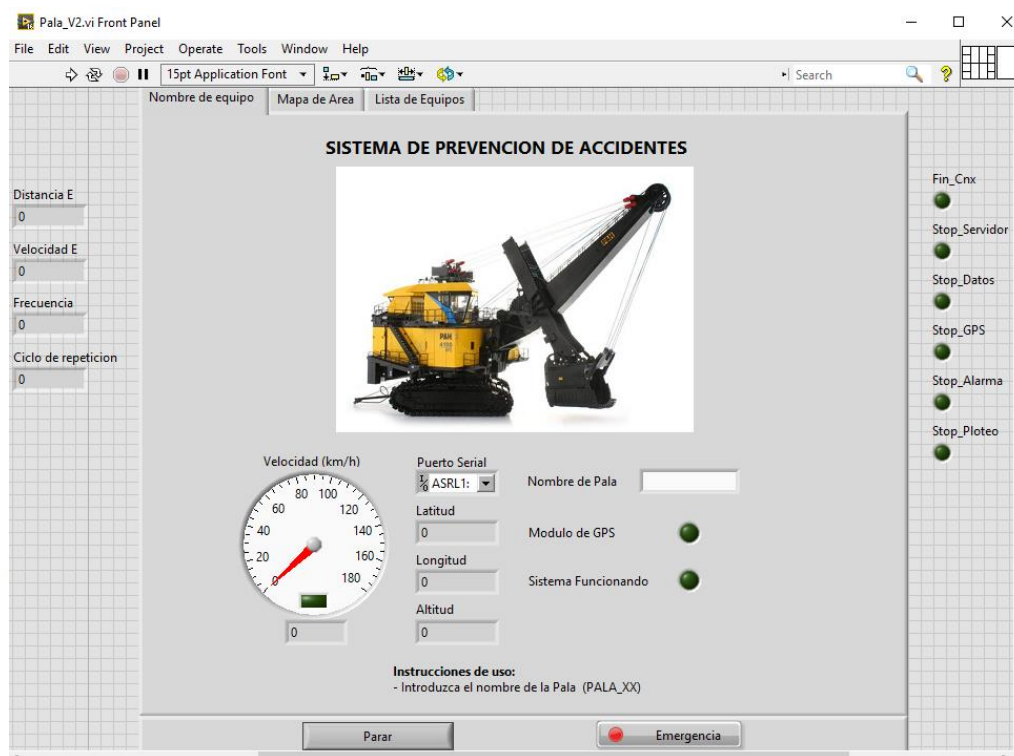


Ilustración 1. Ventana de ingreso de datos.

Fuente: Elaboración propia.

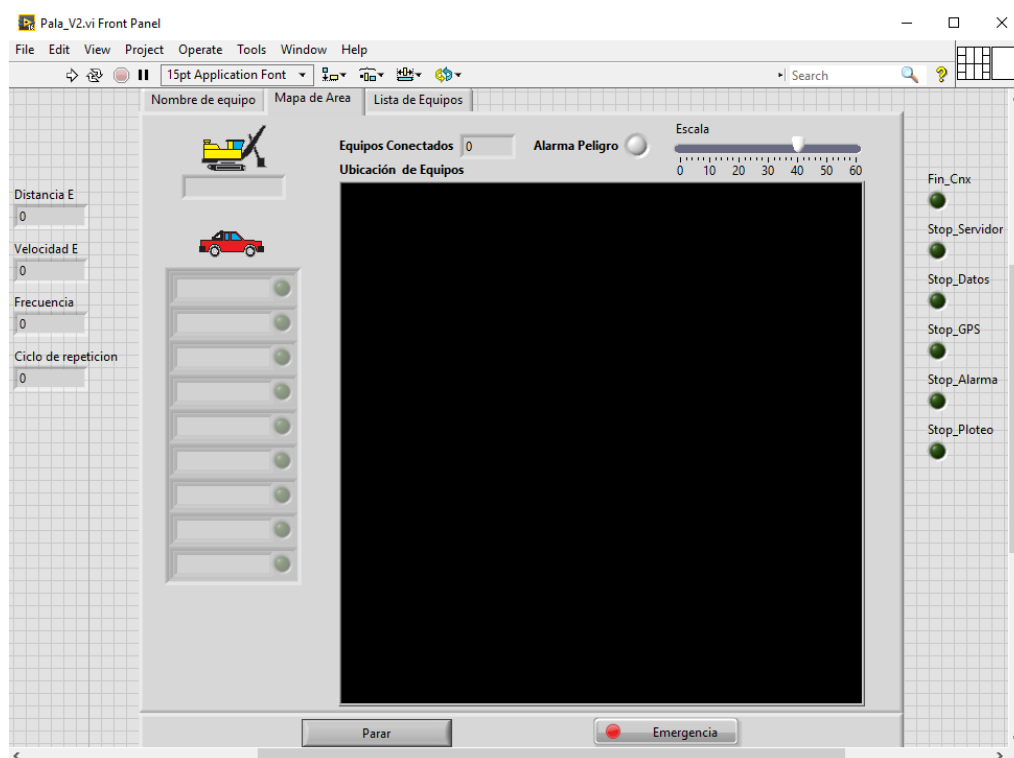


Ilustración 2. Ventana de ubicación de equipos.

Fuente: Elaboración propia.

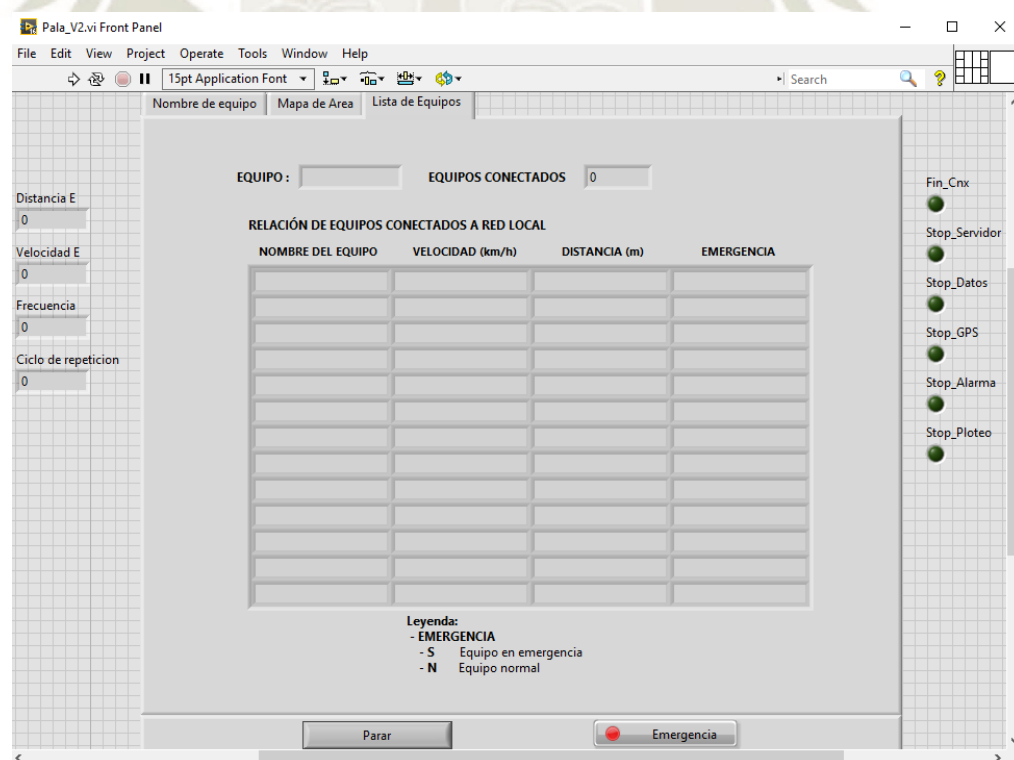


Ilustración 3. Ventana de datos detallados de equipos.

Fuente: Elaboración propia.

Diagrama de bloques (Equipo pesado):

Programa de comunicación USB-GPS

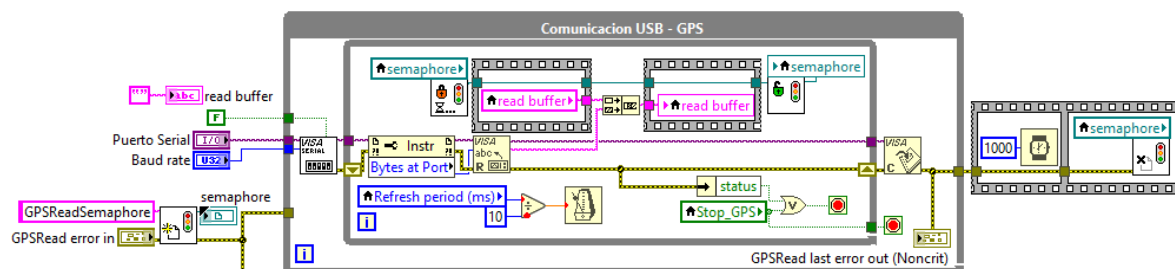


Ilustración 4. Programa de comunicación USB-GPS.

Fuente: Elaboración propia.

Programa de adquisición de datos

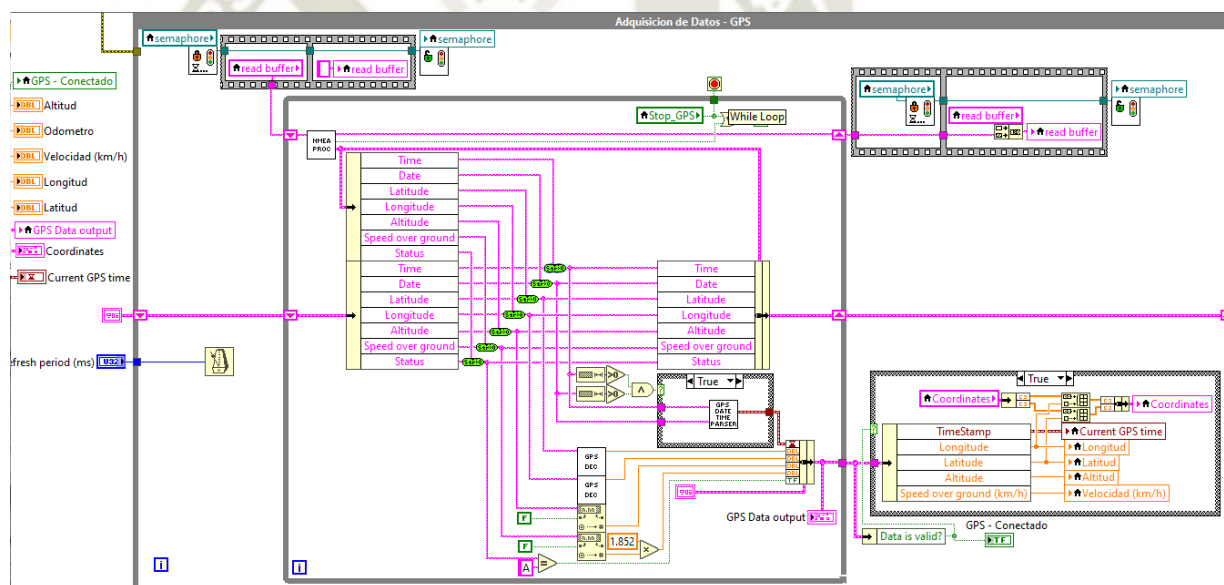


Ilustración 5. Programa de adquisición de datos GPS – Parte 1.

Fuente: Elaboración propia.

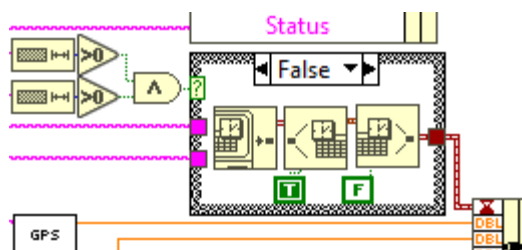


Ilustración 6. Programa de adquisición de datos GPS - Parte 2.

Fuente: Elaboración propia.

SubVI Procesado principal NMEA

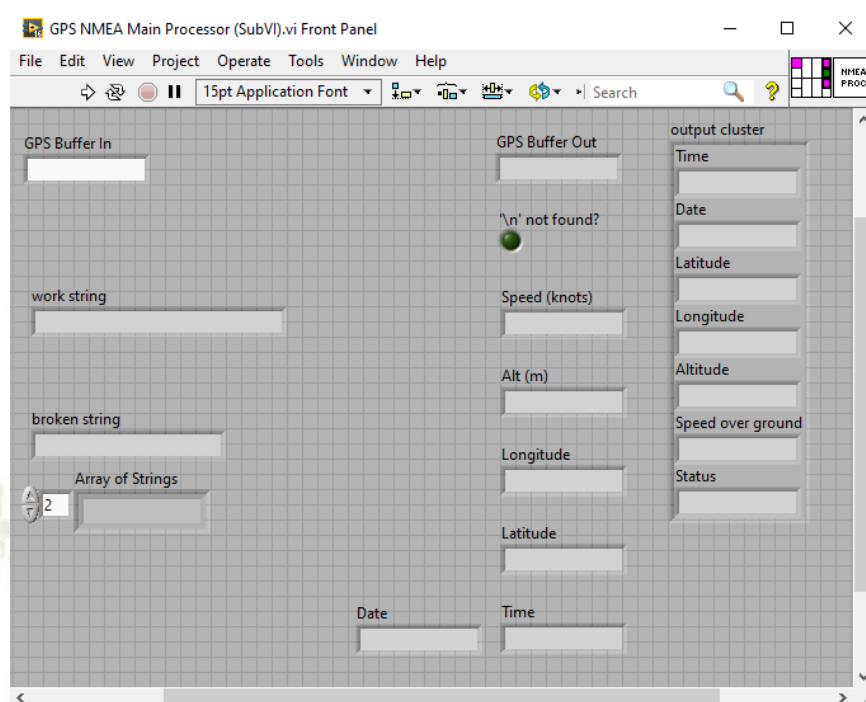


Ilustración 7. Panel frontal SubVI proceso NMEA.

Fuente: Elaboración propia.

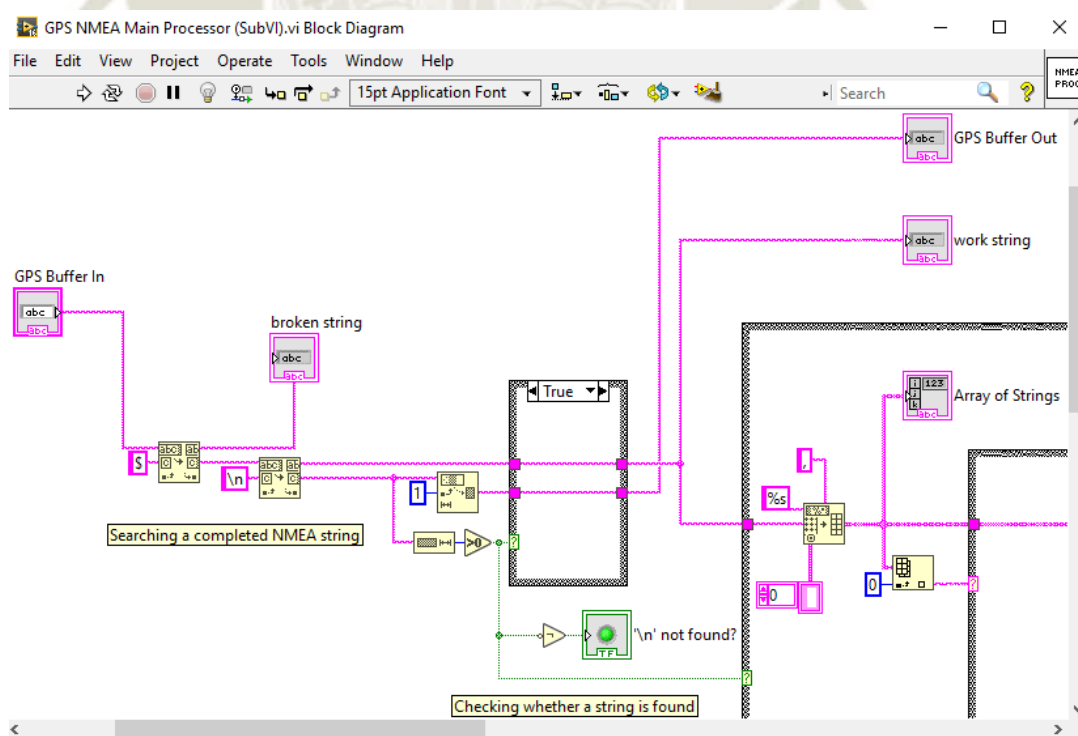


Ilustración 8. Programa SubVI proceso NMEA - Parte 1.

Fuente: Elaboración propia.

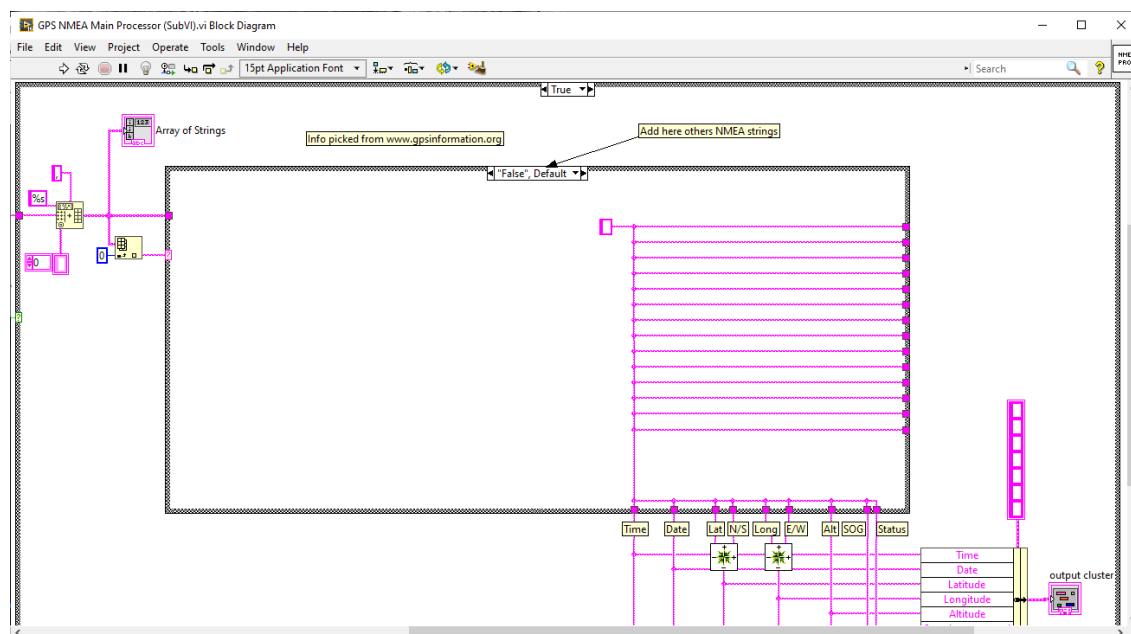


Ilustración 9. Programa SubVI proceso NMEA - Parte 2.

Fuente: Elaboración propia.

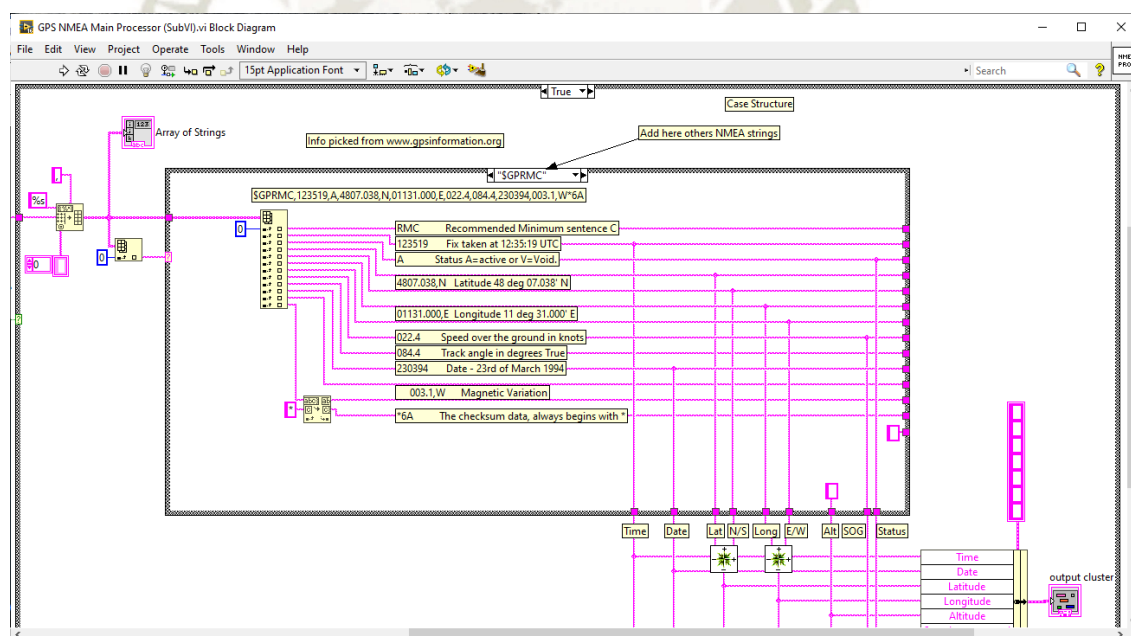


Ilustración 10. Programa SubVI proceso NMEA - Parte 3.

Fuente: Elaboración propia.

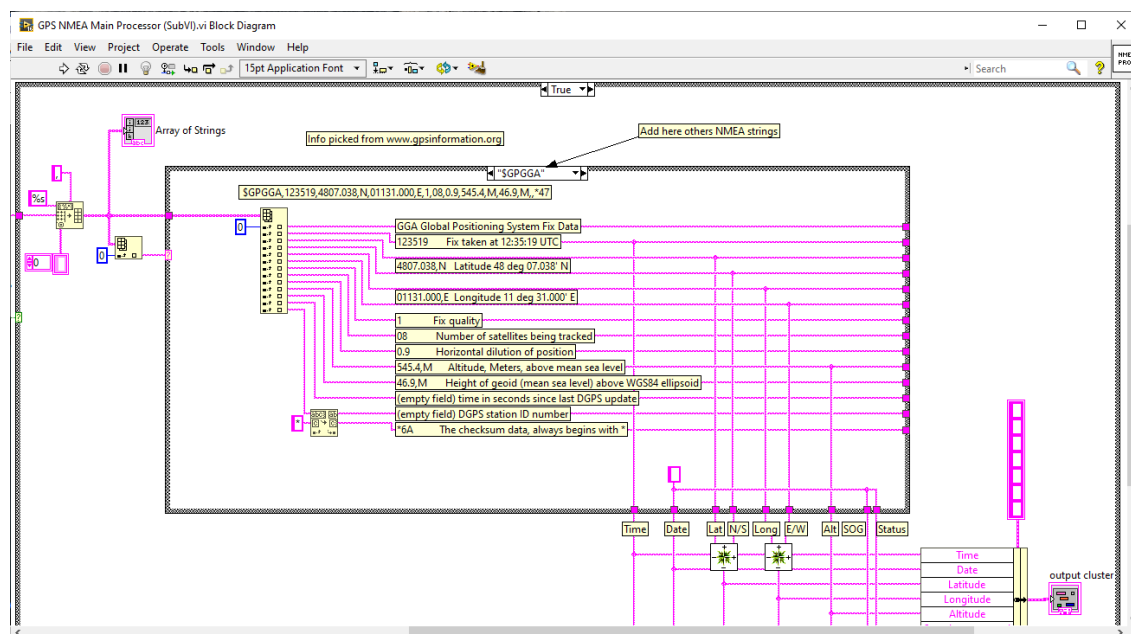


Ilustración 11. Programa SubVI proceso NMEA - Parte 4.

Fuente: Elaboración propia.

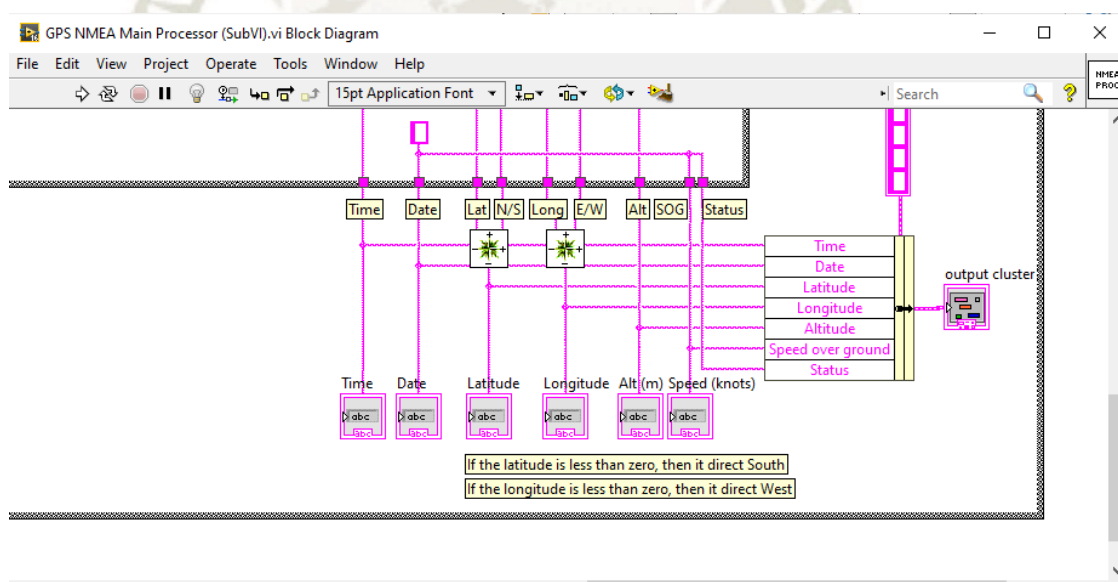


Ilustración 12. Programa SubVI proceso NMEA - Parte 5.

Fuente: Elaboración propia.

SubVI Conversión de formatos de coordenadas

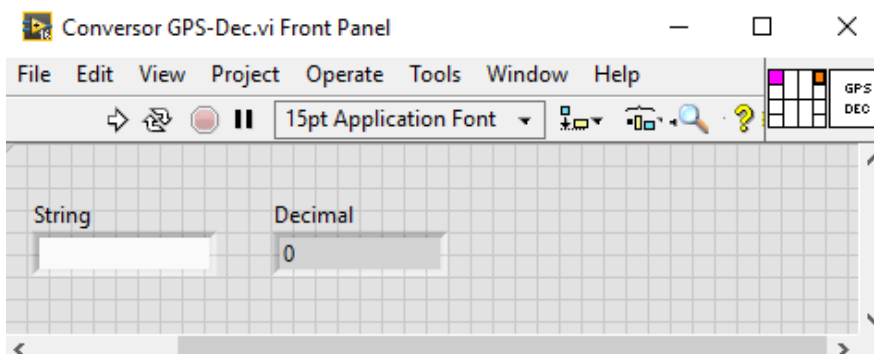


Ilustración 13. Panel frontal SubVI Conversor de formatos GPS-DEC.

Fuente: Elaboración propia.

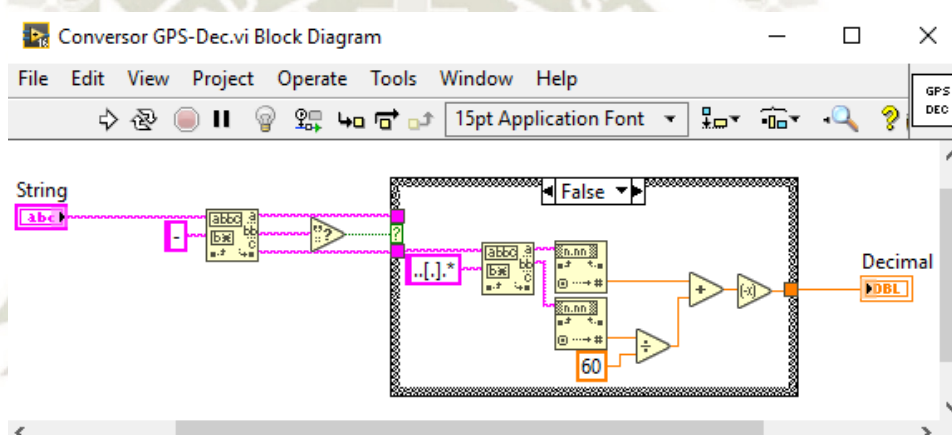


Ilustración 14. Programa SubVI Conversor de formatos GPS-DEC – Parte 1.

Fuente: Elaboración propia.

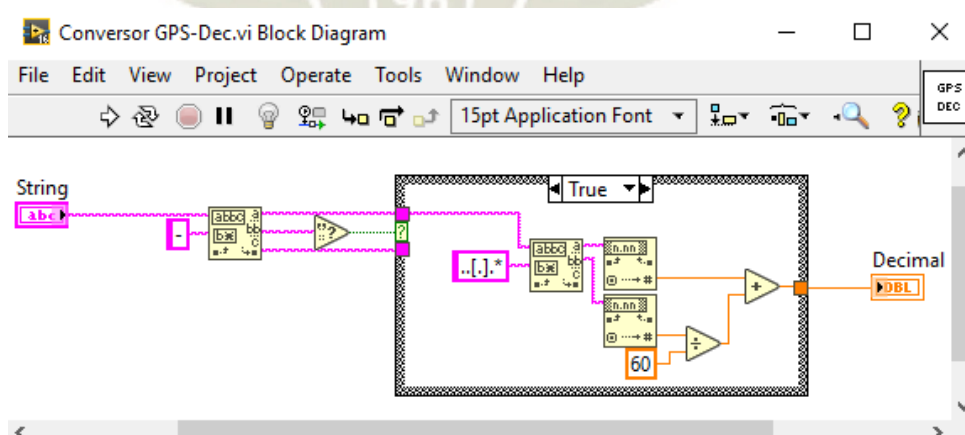


Ilustración 15. Programa SubVI Conversor de formatos GPS-DEC - Parte 2.

Fuente: Elaboración propia.

SubVI Interpretación de fecha y hora

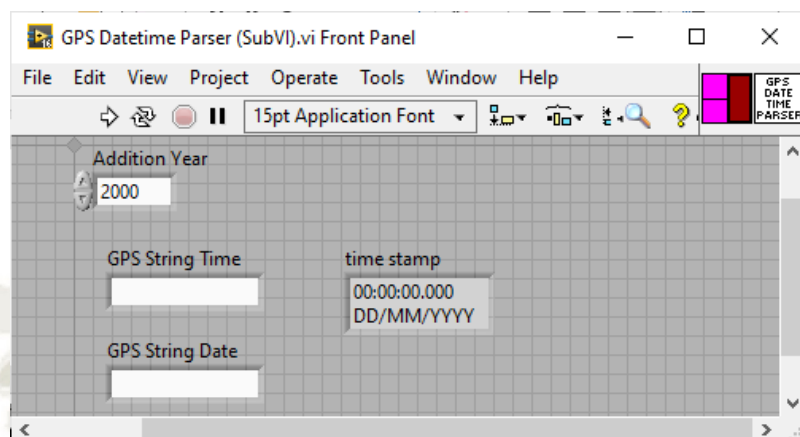


Ilustración 16. Panel frontal SubVI Interpretación de fecha y hora.

Fuente: Elaboración propia.

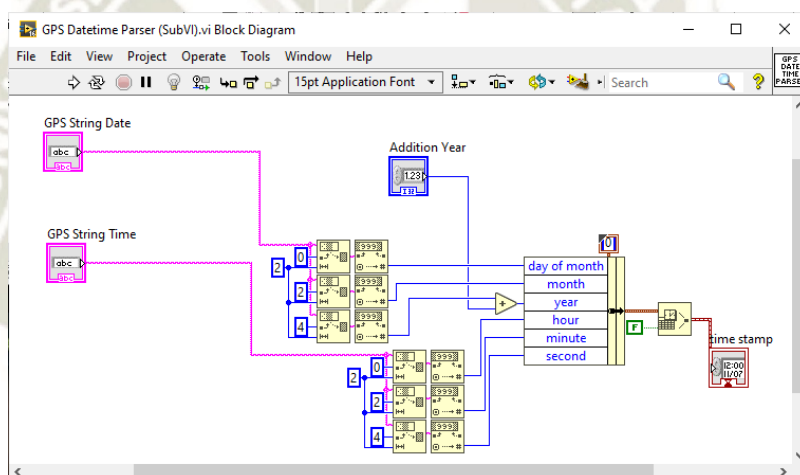


Ilustración 17. Programa SubVI interpretación de fecha y hora.

Fuente: Elaboración propia.

SubVI Permanencia de ultimo valor

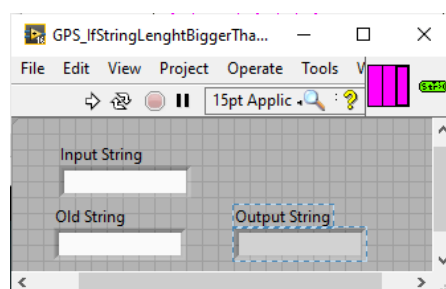


Ilustración 18. Panel frontal SubVI permanencia de ultimo valor.

Fuente: Elaboración propia.

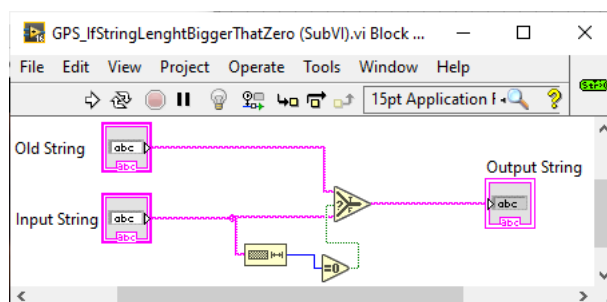


Ilustración 19. Programa SubVI permanencia de ultimo valor.

Fuente: Elaboración propia.

Programa servidor de datos

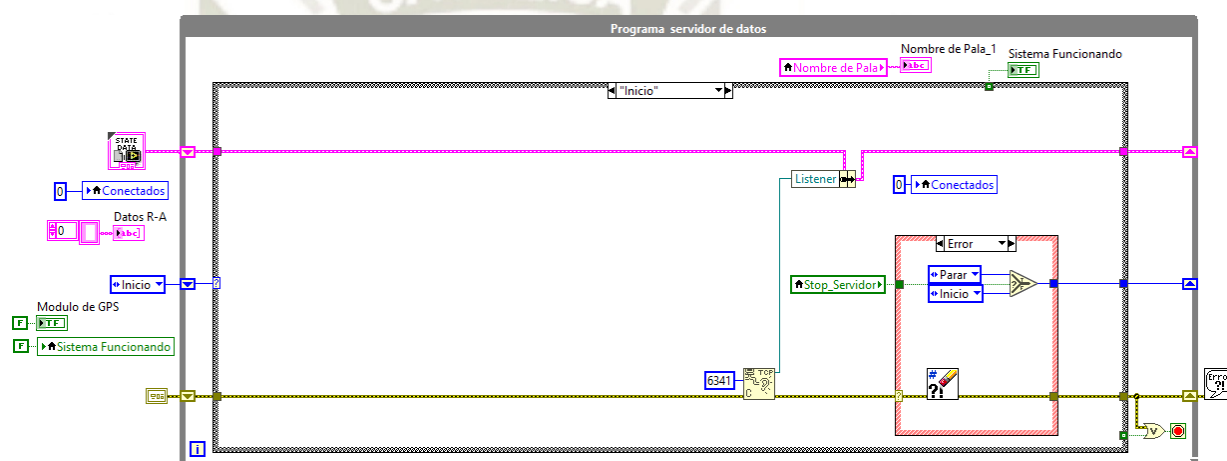


Ilustración 20. Programa servidor de datos - Parte 1.

Fuente: Elaboración propia.

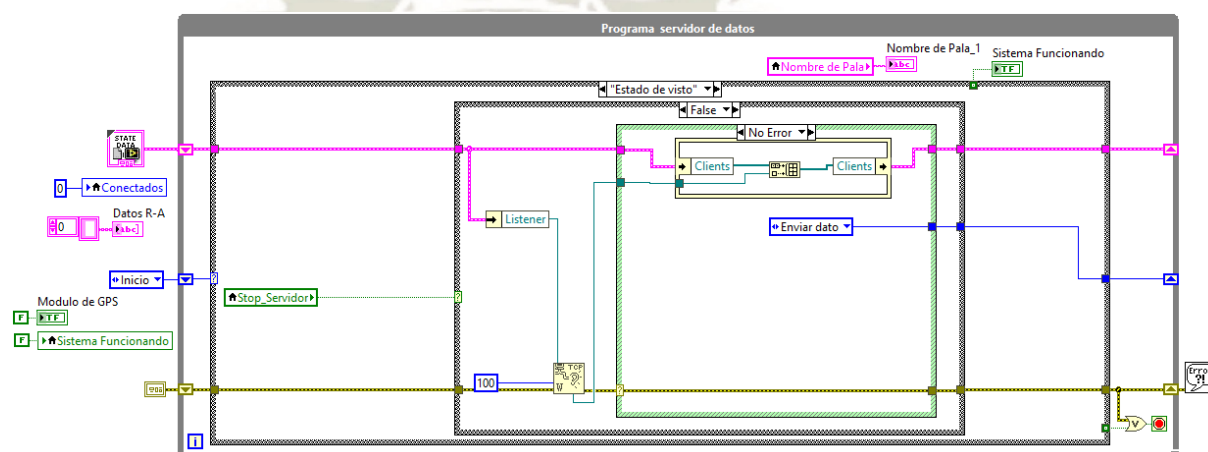


Ilustración 21. Programa servidor de datos - Parte 2.

Fuente: Elaboración propia.

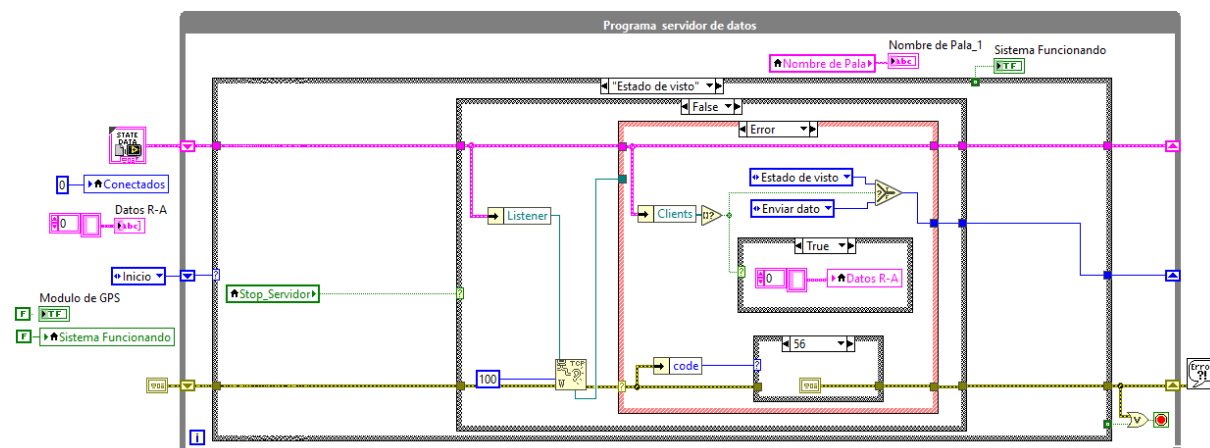


Ilustración 22. Programa servidor de datos - Parte 3.

Fuente: Elaboración propia.

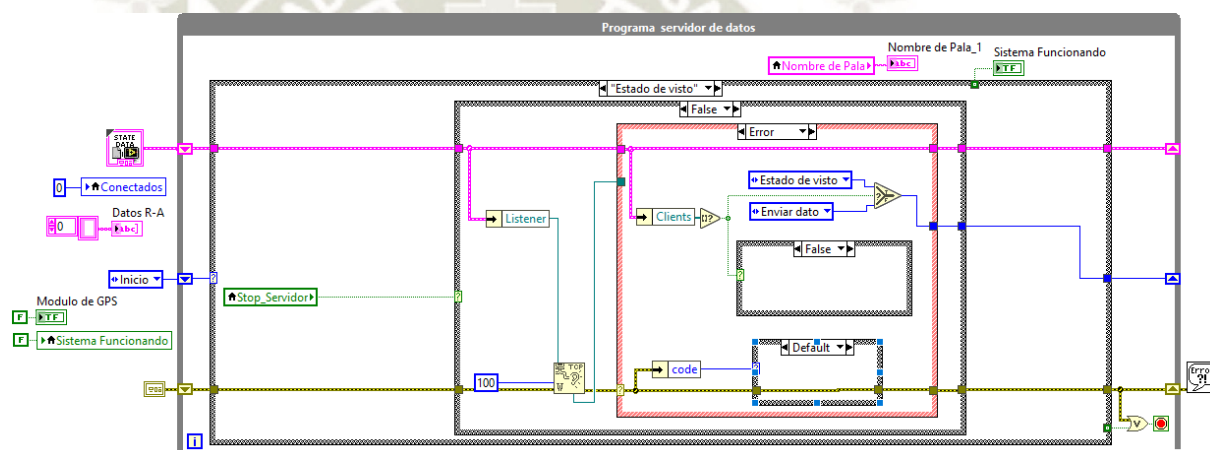


Ilustración 23. Programa de servidor de datos - Parte 4.

Fuente: Elaboración propia.

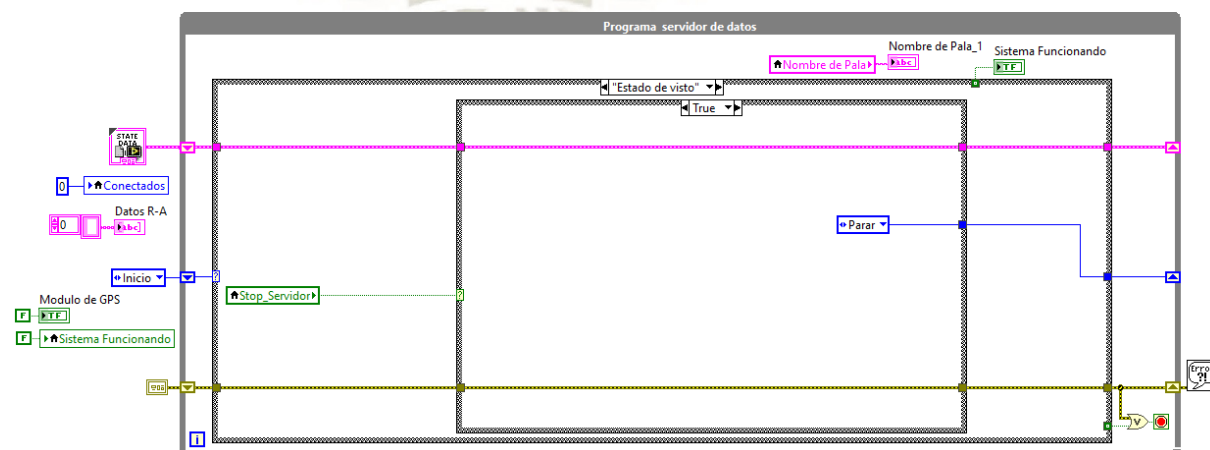


Ilustración 24. Programa de servidor de datos - Parte 5.

Fuente: Elaboración propia.

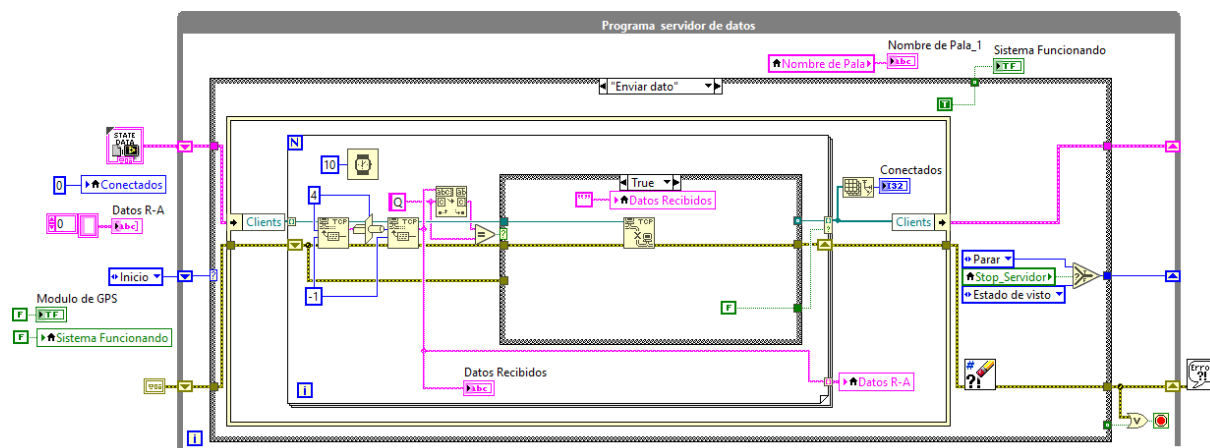


Ilustración 25. Programa servidor de datos - Parte 6.

Fuente: Elaboración propia.

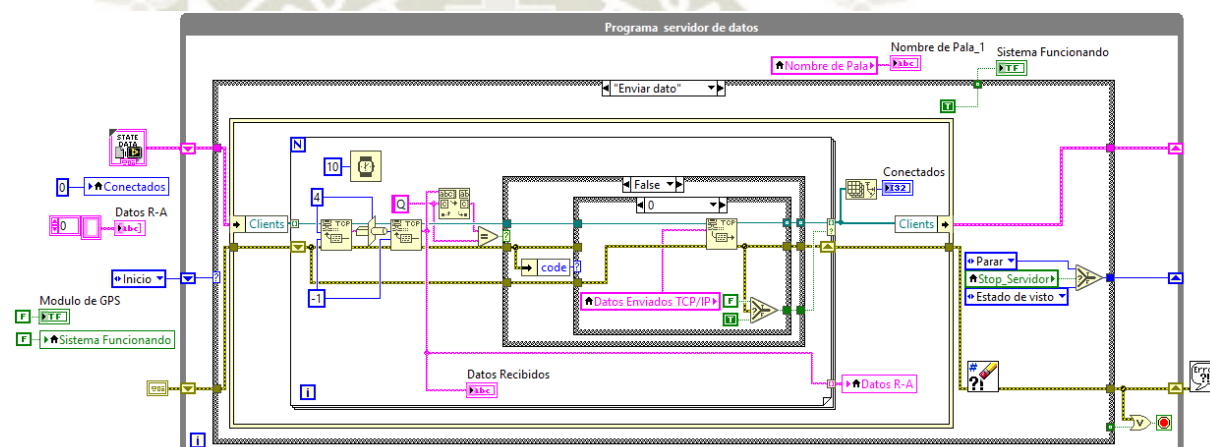


Ilustración 26. Programa servidor de datos - Parte 7.

Fuente: Elaboración propia.

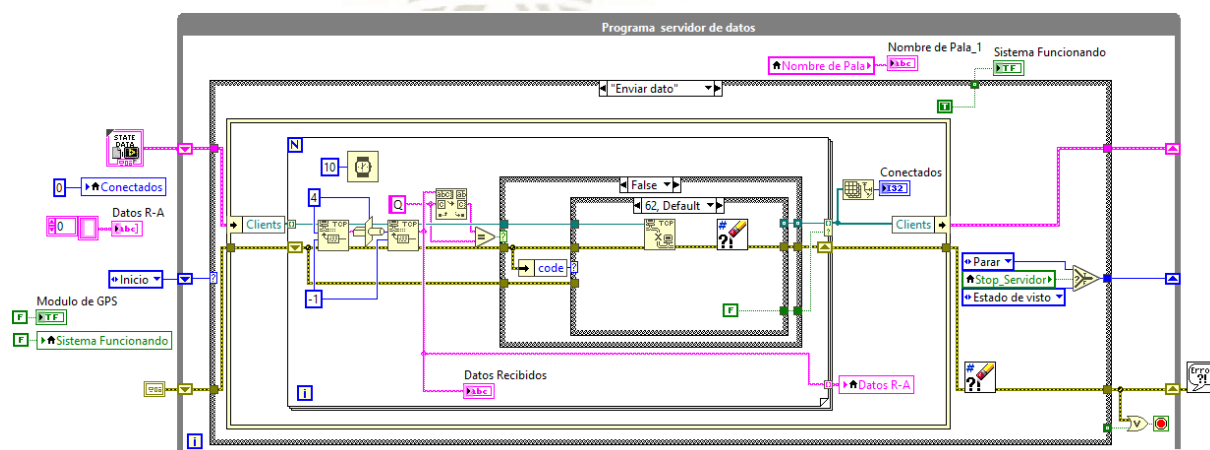


Ilustración 27. Programa servidor de datos - Parte 8.

Fuente: Elaboración propia.

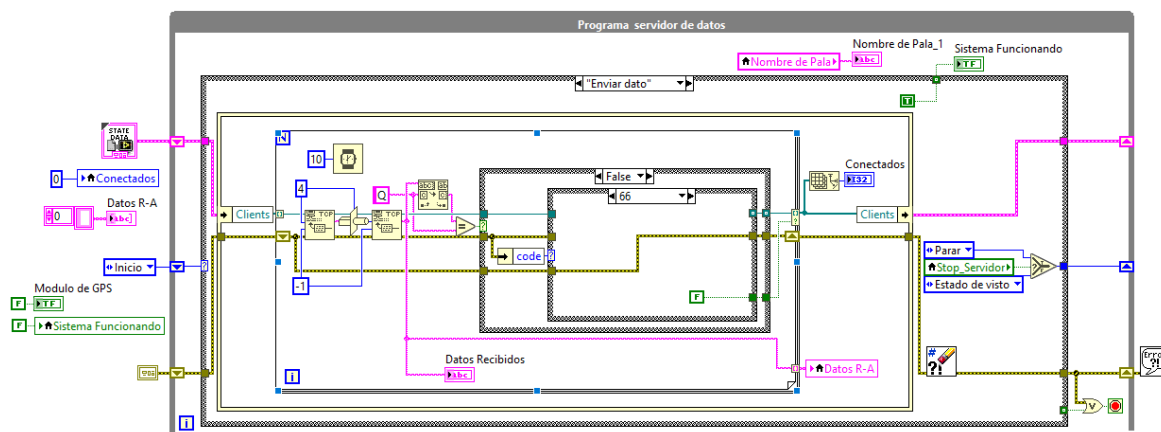


Ilustración 28. Programa servidor de datos - Parte 9.

Fuente: Elaboración propia.

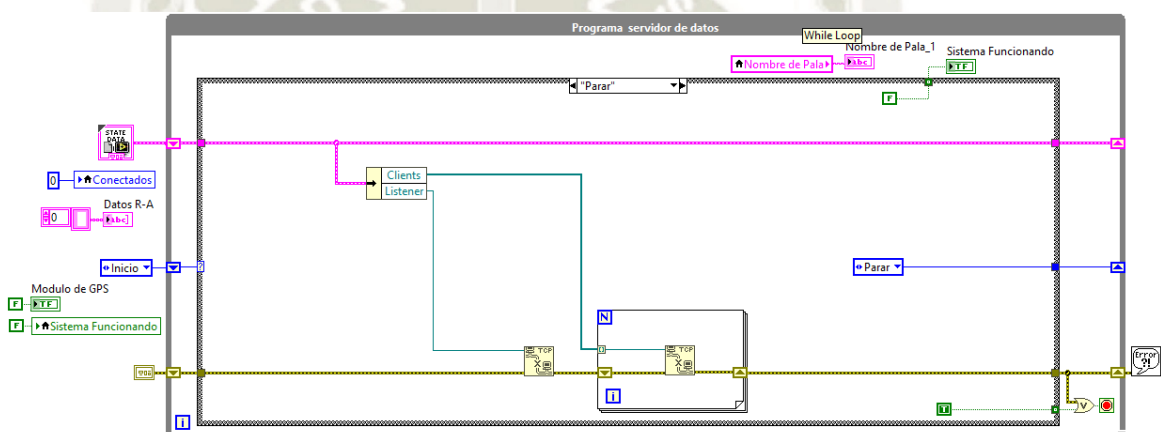


Ilustración 29. Programa servidor de datos - Parte 10.

Fuente: Elaboración propia.

Programa de envío y control de datos

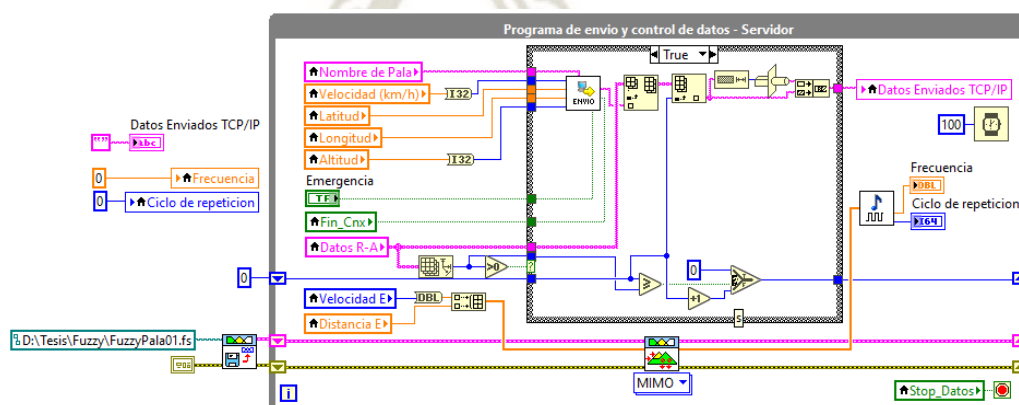


Ilustración 30. Programa envío y control de datos – Parte 1.

Fuente: Elaboración propia.

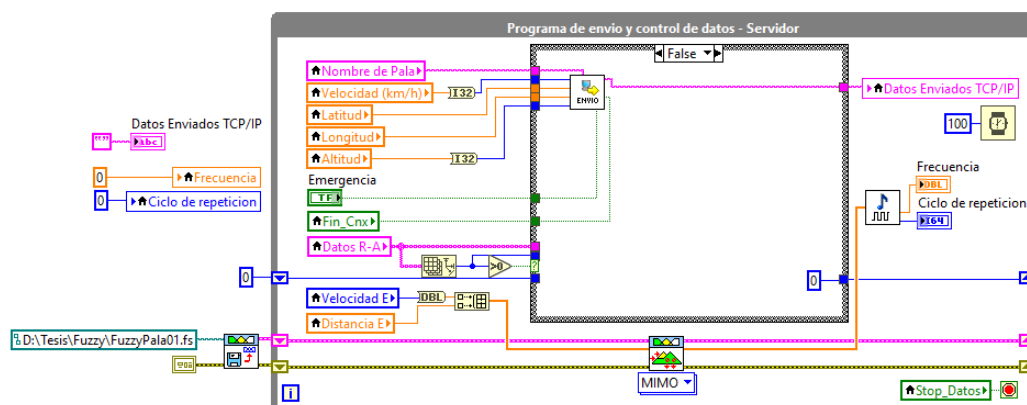


Ilustración 31. Programa envío y control de datos - Parte 2.

Fuente: Elaboración propia.

SubVI Envío de datos

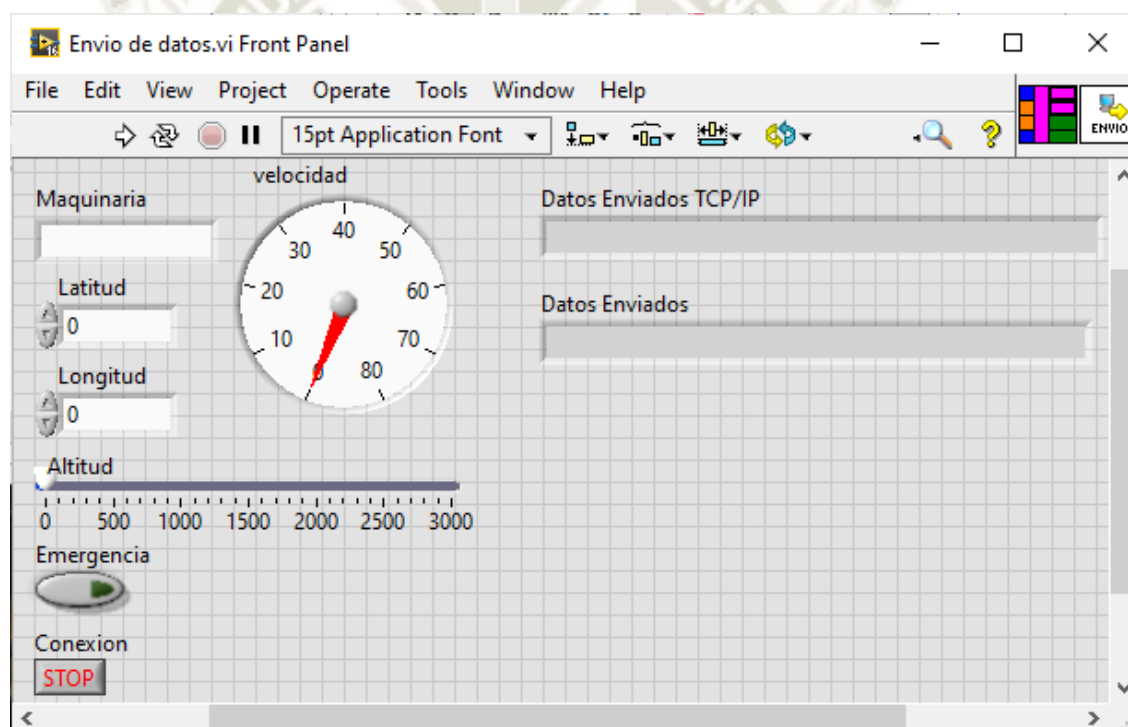


Ilustración 32. Panel frontal SubVI envío de datos.

Fuente: Elaboración propia.

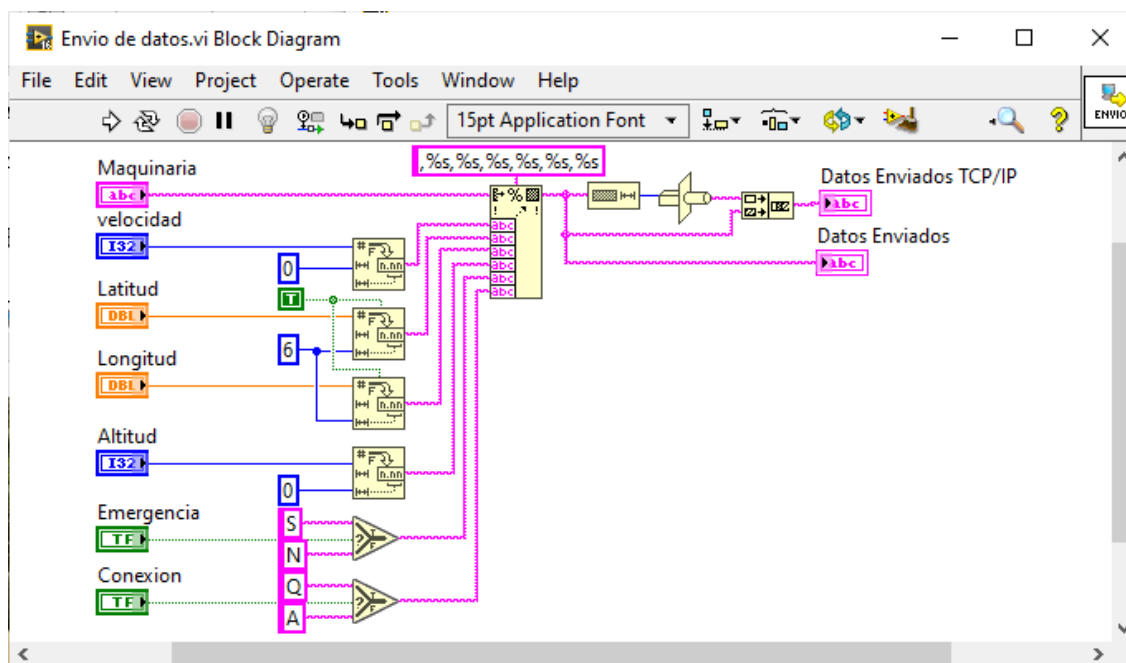


Ilustración 33. Programa SubVI envío de datos.

Fuente: Elaboración propia.

SubVI Convertidor a señal sonora

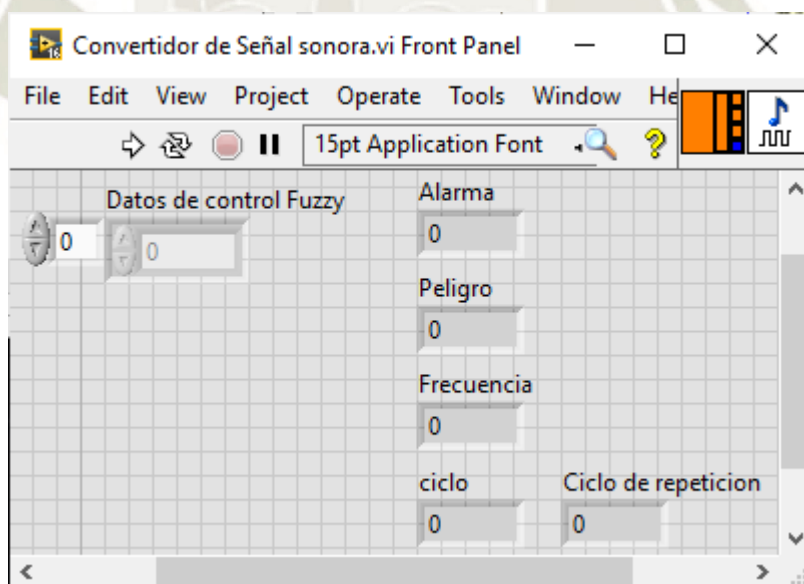
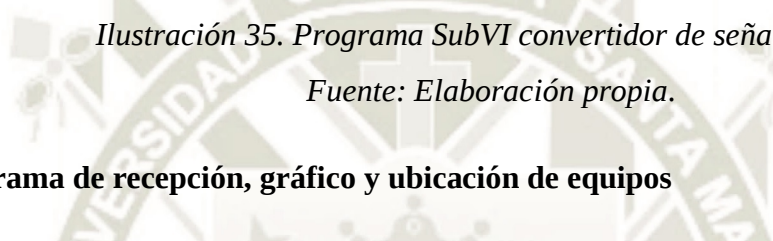
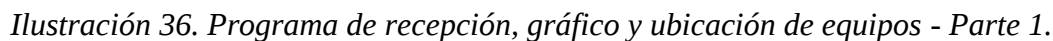


Ilustración 34. Panel frontal SubVI Convertir a señal sonora.

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.



184

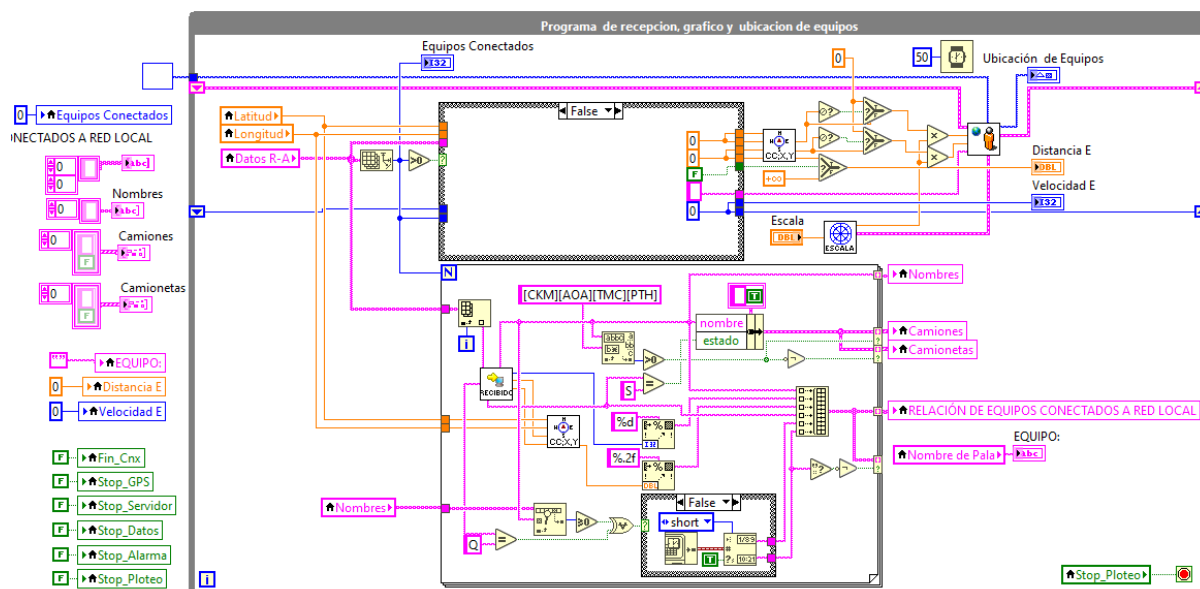


Ilustración 37. Programa de recepción, gráfico y ubicación de equipos - Parte 2.

Fuente: Elaboración propia.

SubVI Recepción de datos

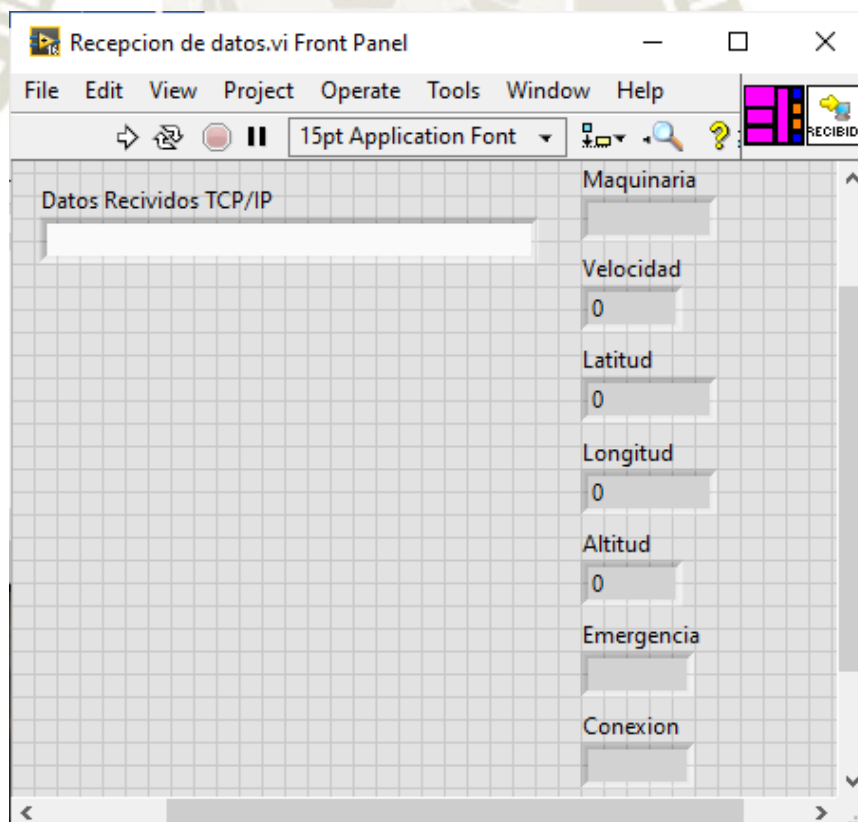


Ilustración 38. Panel frontal SubVI recepción de datos.

Fuente: Elaboración propia.

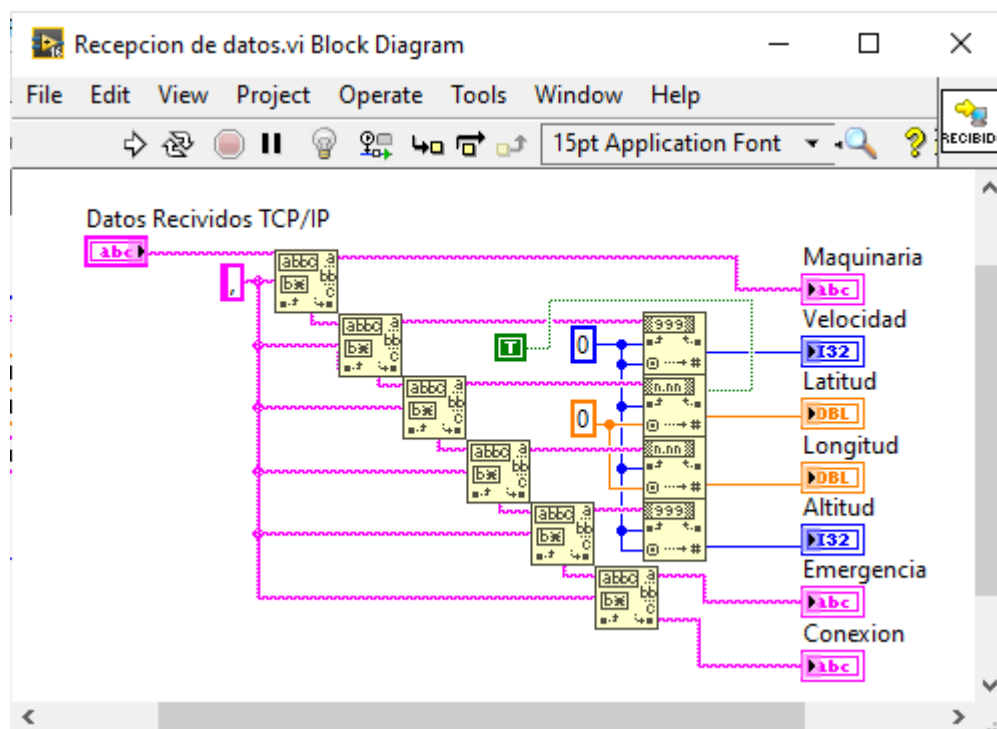


Ilustración 39. Programa SubVI recepción de datos.

Fuente: Elaboración propia.

SubVI Calculo de coordenadas

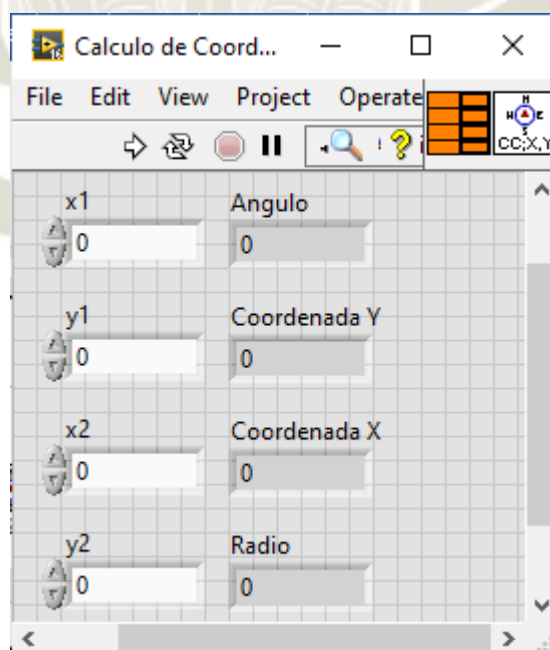


Ilustración 40. Panel frontal SubVI Calculo de coordenadas.

Fuente: Elaboración propia.

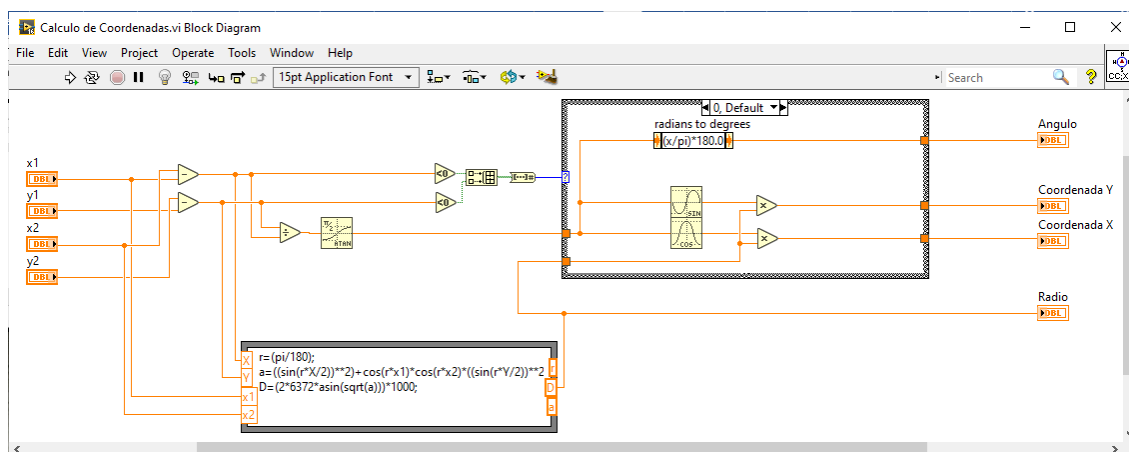


Ilustración 41. Programa SubVI cálculo de coordenadas - Parte 1.

Fuente: Elaboración propia.

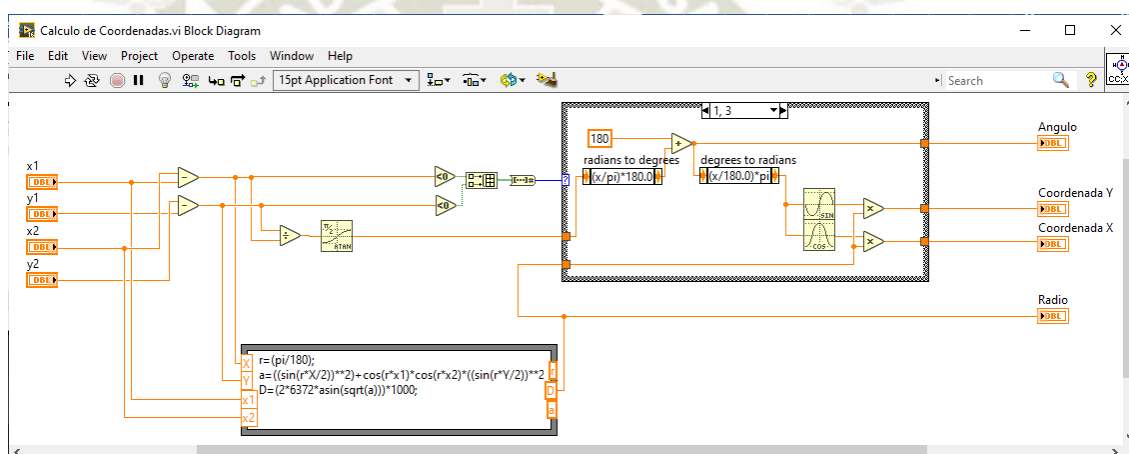


Ilustración 42. Programa SubVI cálculo de coordenadas - Parte 2.

Fuente: Elaboración propia.

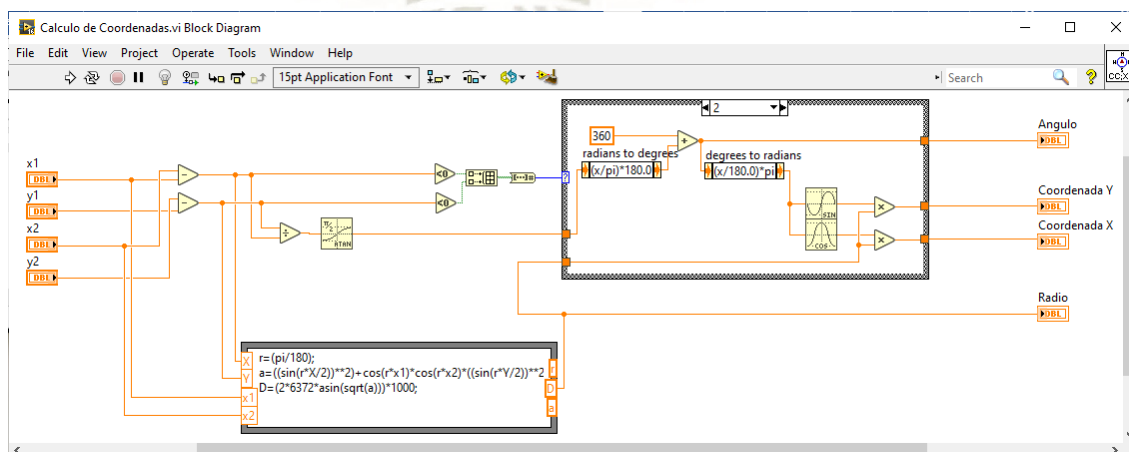


Ilustración 43. Programa SubVI cálculo de coordenadas - Parte 3.

Fuente: Elaboración propia.

SubVI Ploteo de coordenadas

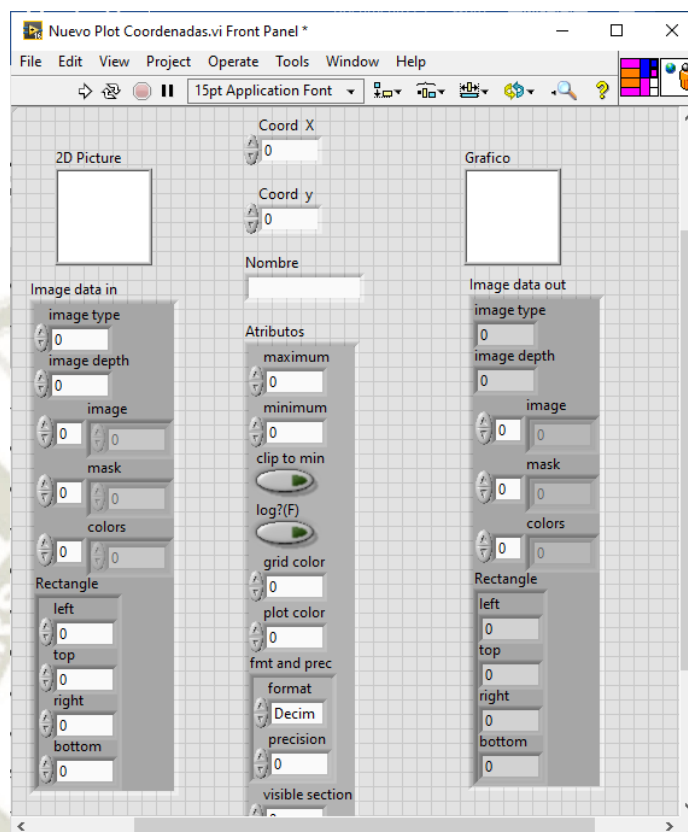


Ilustración 44. Panel frontal SubVI ploteo de coordenadas.

Fuente: Elaboración propia.

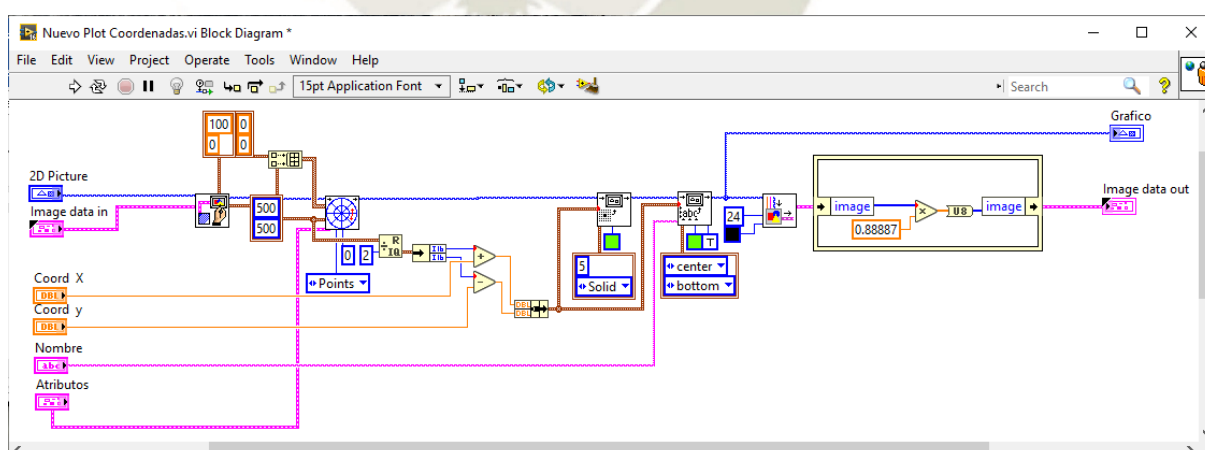


Ilustración 45. Programa SubVI ploteo de coordenadas.

Fuente: Elaboración propia.

SubVI Escala de grafico

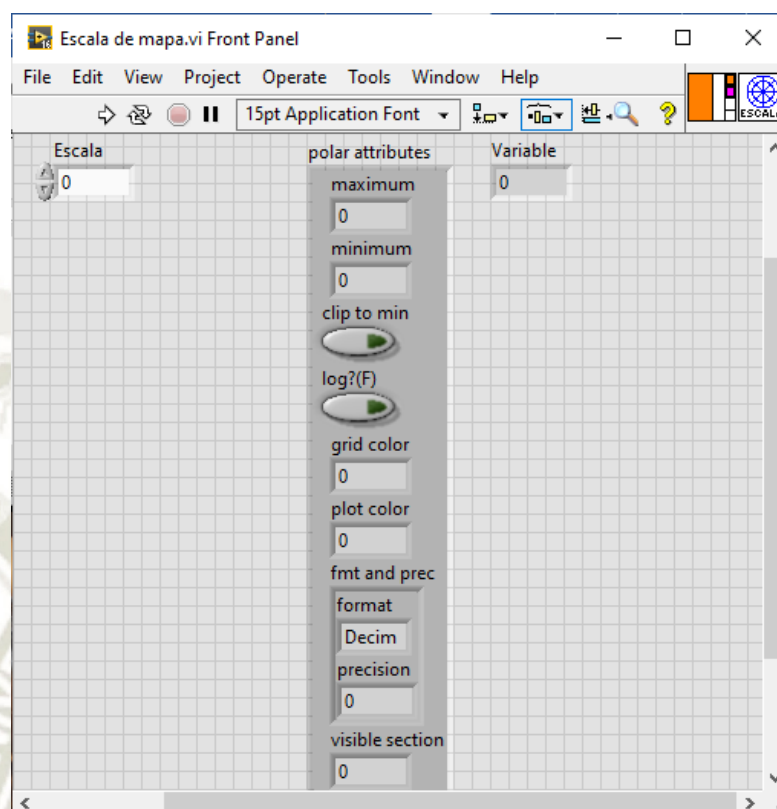


Ilustración 46. Panel frontal SubVI escala de gráfico.

Fuente: Elaboración propia.

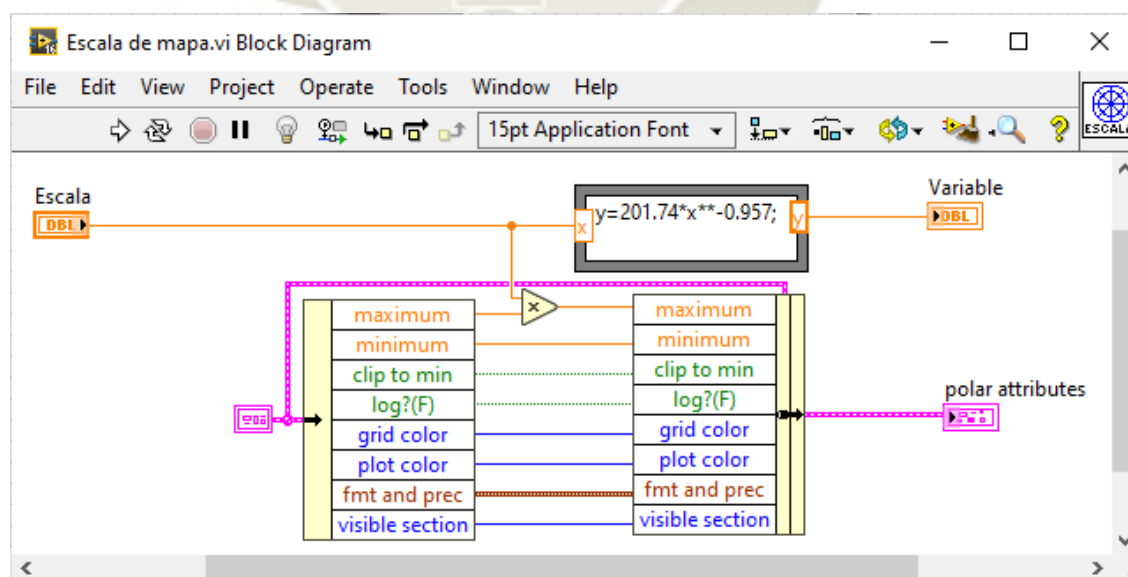


Ilustración 47. Programa SubVI escala de gráfico.

Fuente: Elaboración propia.

Programa de alarmas del sistema

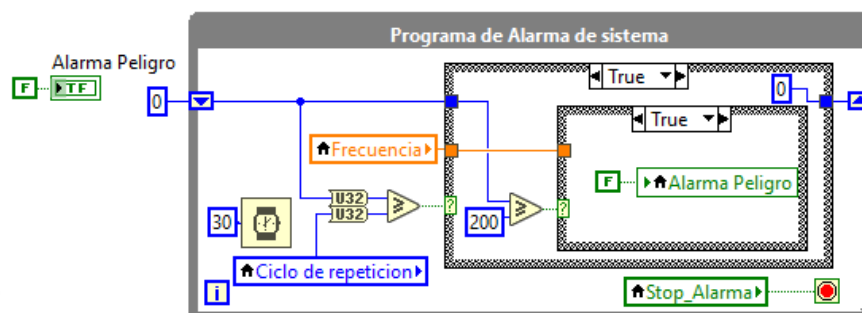


Ilustración 48. Programa de alarmas del sistema - Parte 1.

Fuente: Elaboración propia.

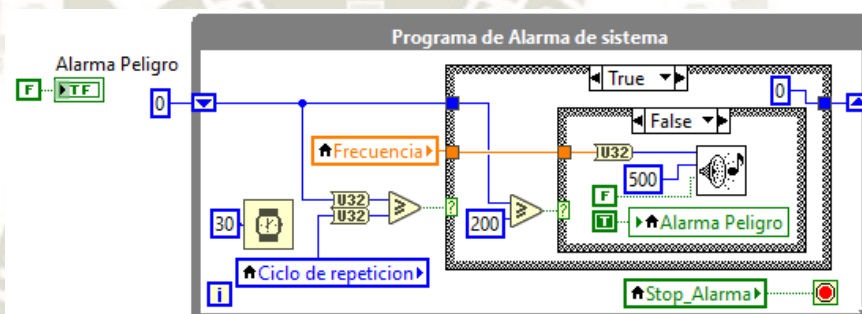


Ilustración 49. Programa de alarmas del sistema - Parte 2.

Fuente: Elaboración propia.

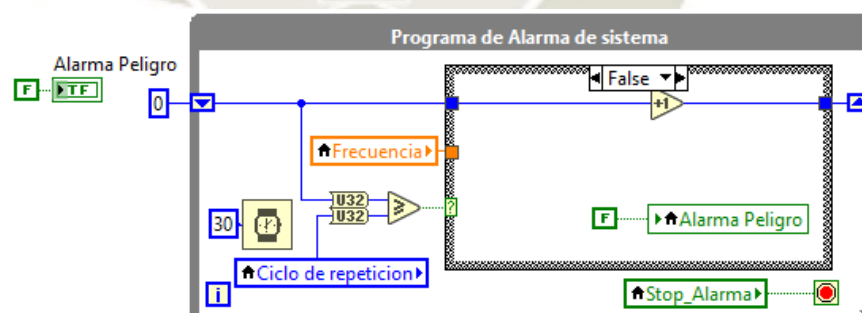


Ilustración 50. Programa de alarmas del sistema - Parte 3.

Fuente: Elaboración propia.

Programa de apagado del sistema

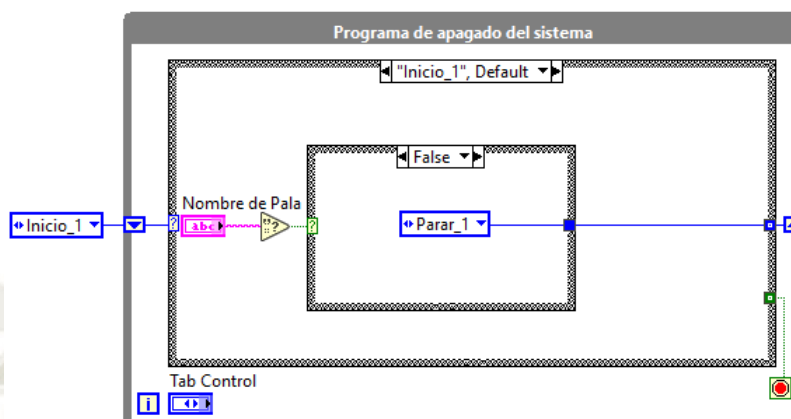


Ilustración 51. Programa de apagado del sistema - Parte 1.

Fuente: Elaboración propia.

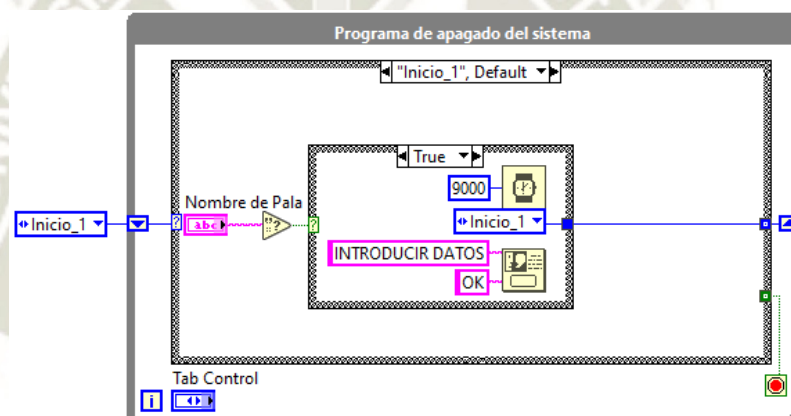


Ilustración 52. Programa de apagado del sistema - Parte 2.

Fuente: Elaboración propia.

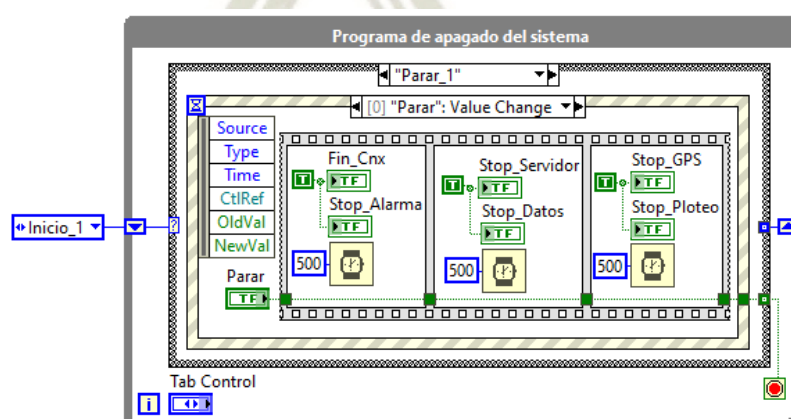


Ilustración 53. Programa de apagado del sistema - Parte 3.

Fuente: Elaboración propia.

Conjunto de programas para equipos livianos

Panel frontal – Interfaz del control del sistema (Equipo Liviano)

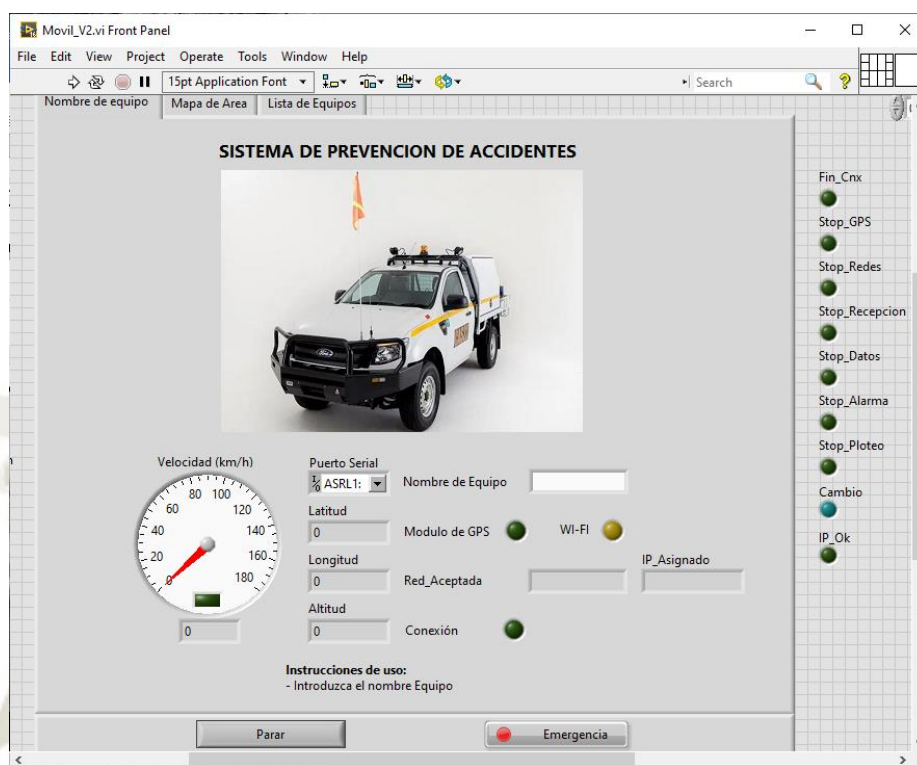


Ilustración 54. Ventana de ingreso de datos.

Fuente: Elaboración propia.

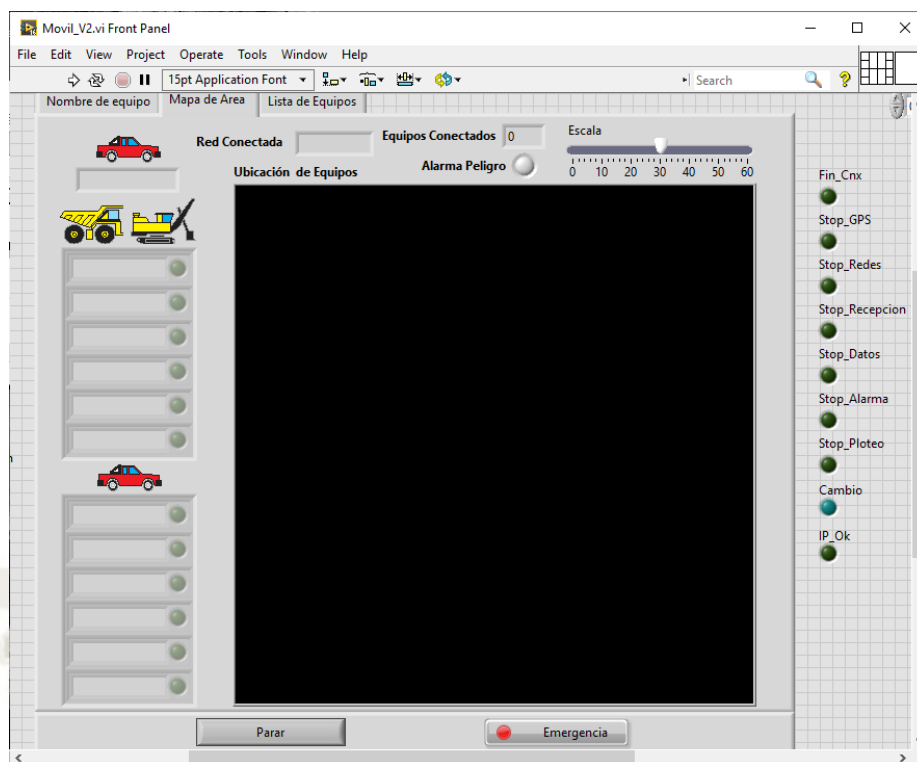


Ilustración 55. Ventana de ubicación de equipos.

Fuente: Elaboración propia.

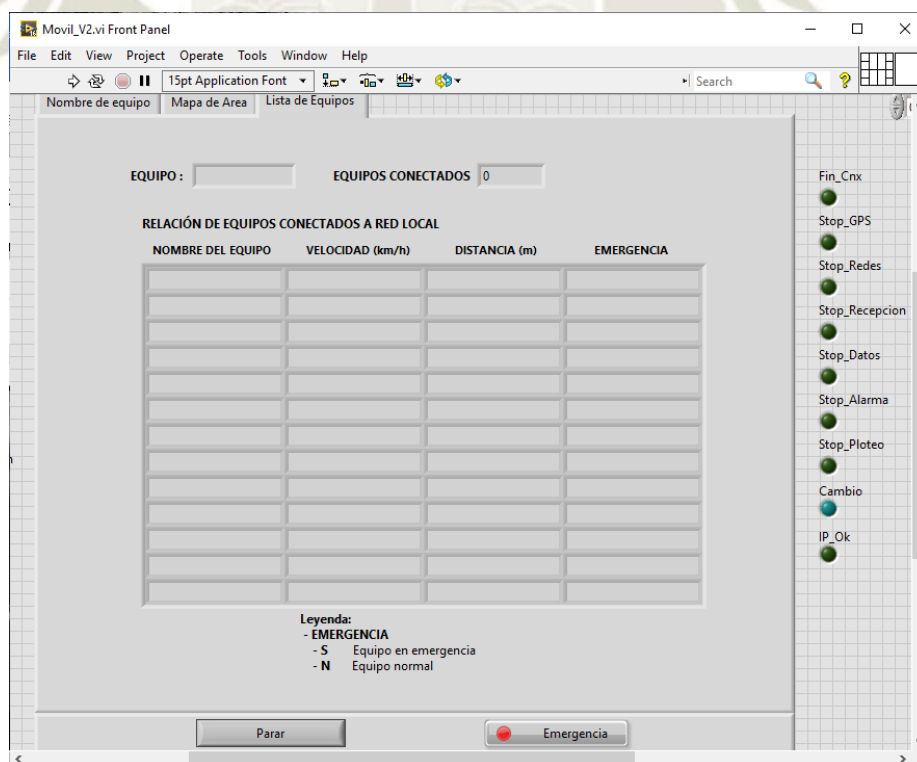


Ilustración 56. Ventana de datos detallados de equipos.

Fuente: Elaboración propia

Diagrama de bloques (Equipo Liviano):

Programa de comunicación USB-GPS

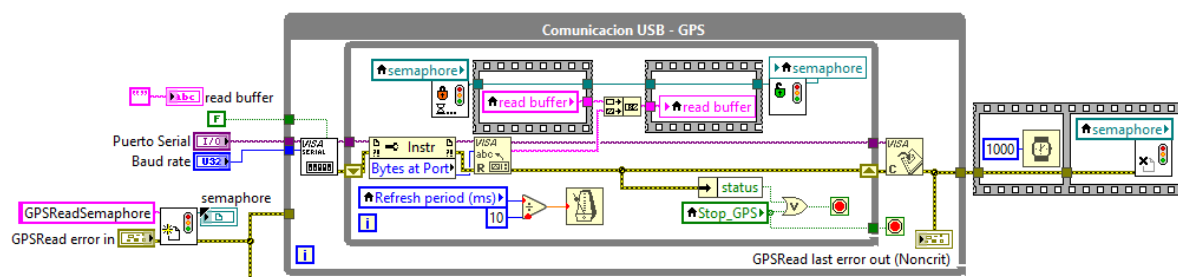


Ilustración 57. Programa de comunicación USB-GPS.

Fuente: Elaboración propia.

Programa de adquisición de datos

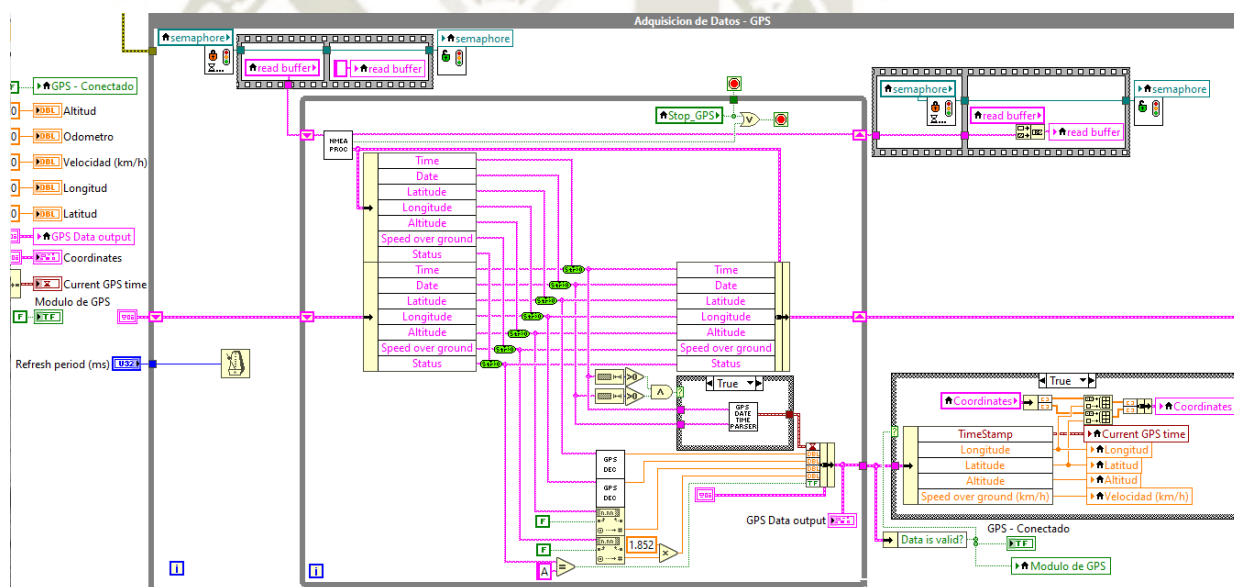


Ilustración 58. Programa de adquisición de datos.

Fuente: Elaboración propia.

Programa de detección de redes y conexión

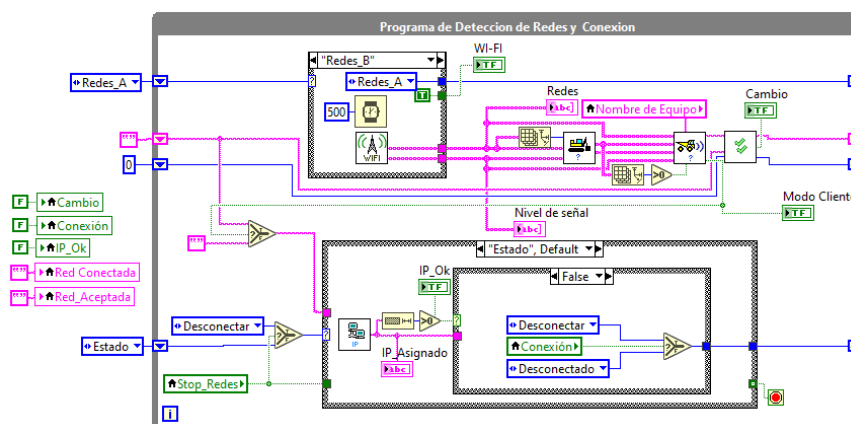


Ilustración 59. Programa de detección de redes y conexión - Parte 1.

Fuente: Elaboración propia.

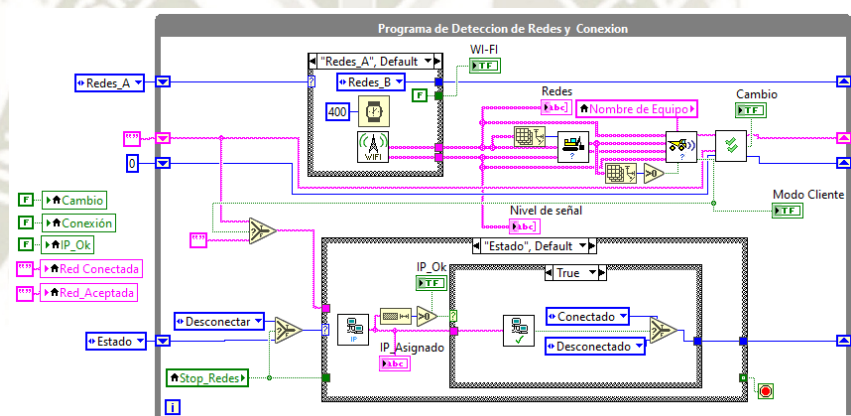


Ilustración 60. Programa de detección de redes y conexión - Parte 2.

Fuente: Elaboración propia.

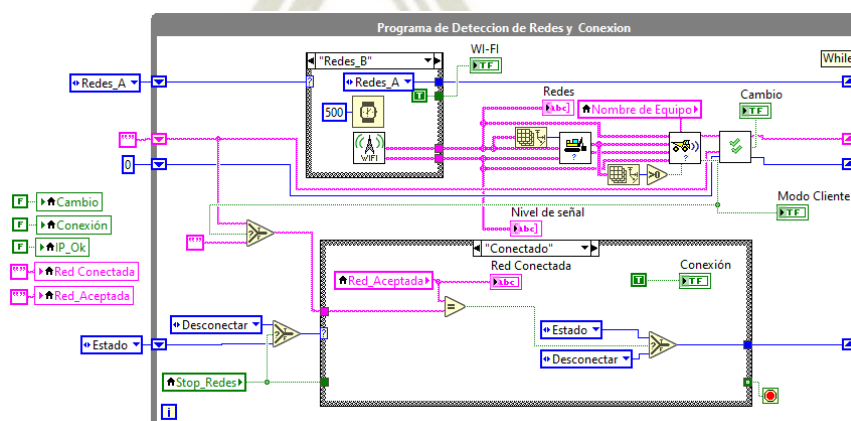


Ilustración 61. Programa de detección de redes y conexión- Parte 3.

Fuente: Elaboración propia.

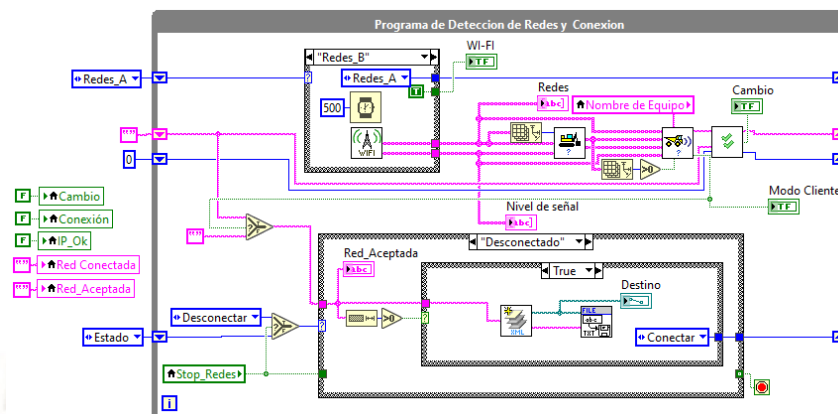


Ilustración 62. Programa de detección de redes y conexión- Parte 4.

Fuente: Elaboración propia.

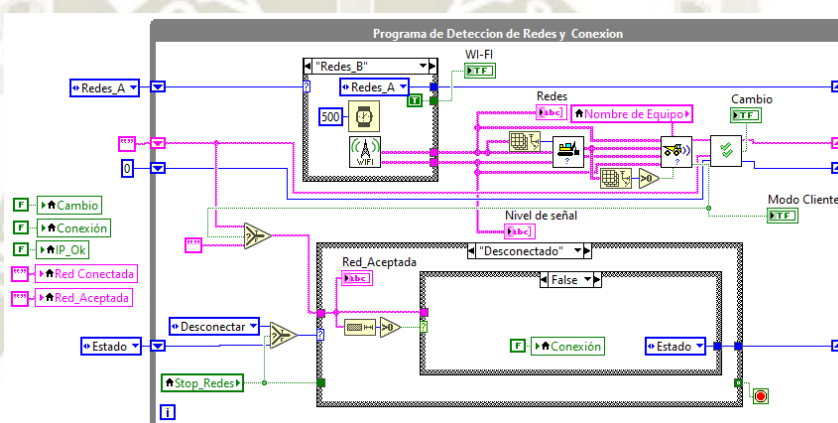


Ilustración 63. Programa de detección de redes y conexión- Parte 5.

Fuente: Elaboración propia.

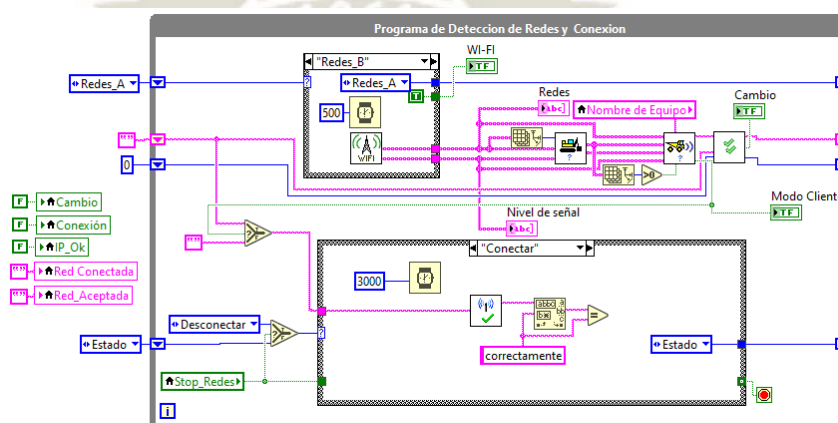


Ilustración 64. Programa de detección de redes y conexión- Parte 6.

Fuente: Elaboración propia.

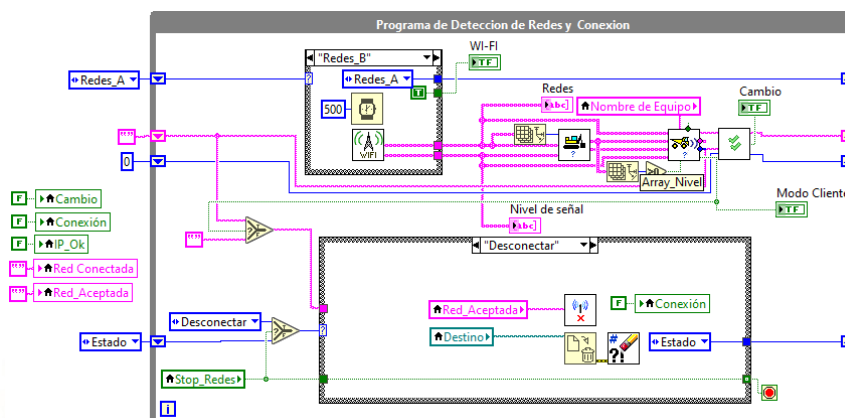


Ilustración 65. Programa de detección de redes y conexión- Parte 7.

Fuente: Elaboración propia.

SubVI Detección de redes

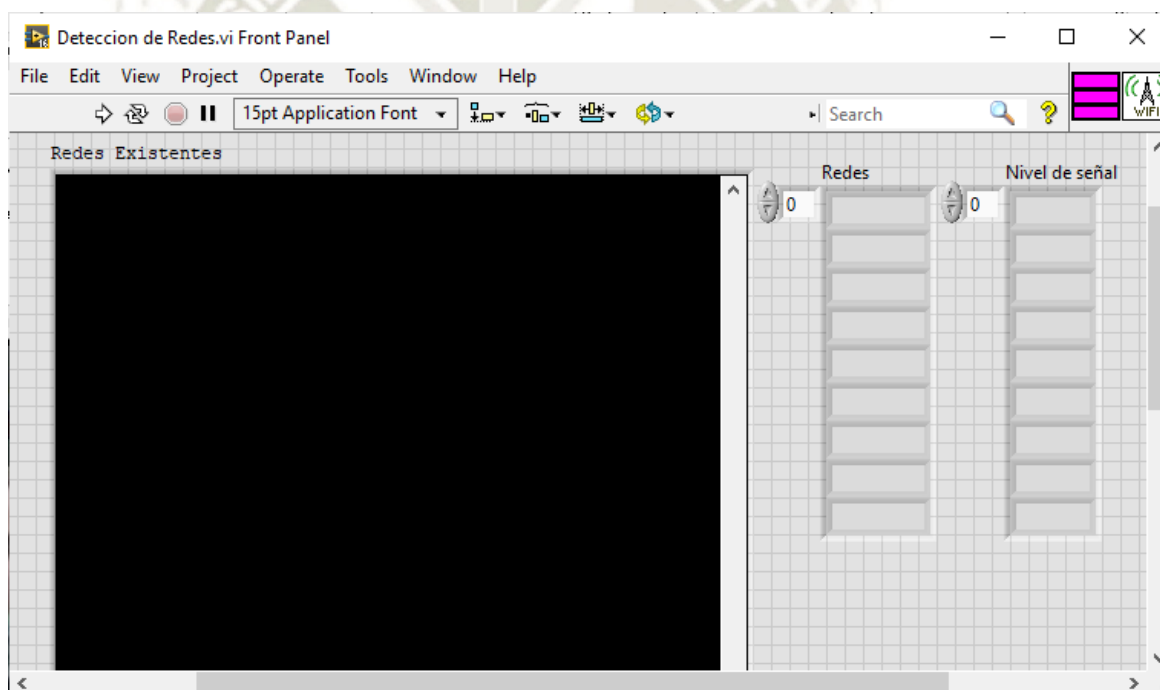


Ilustración 66. Panel frontal SubVI detección de redes.

Fuente: Elaboración propia.

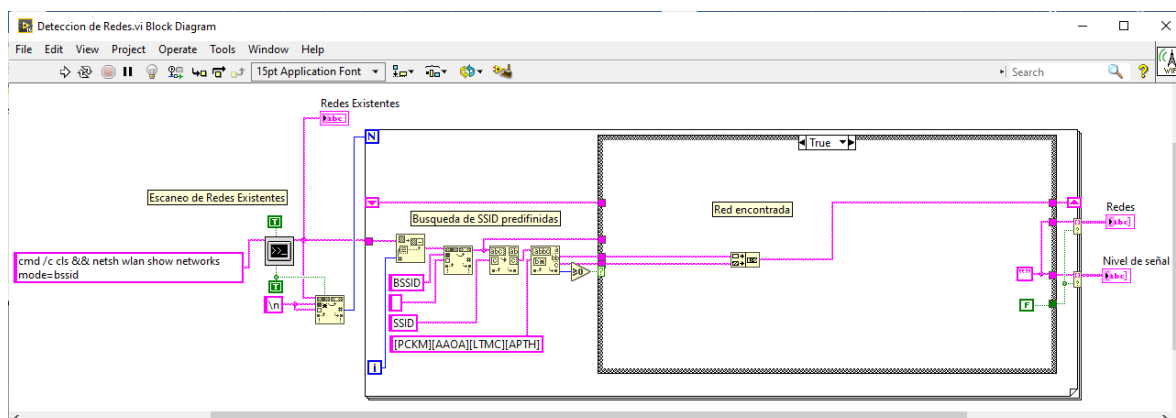


Ilustración 67. Programa SubVI detección de redes - Parte 1.

Fuente: Elaboración propia.

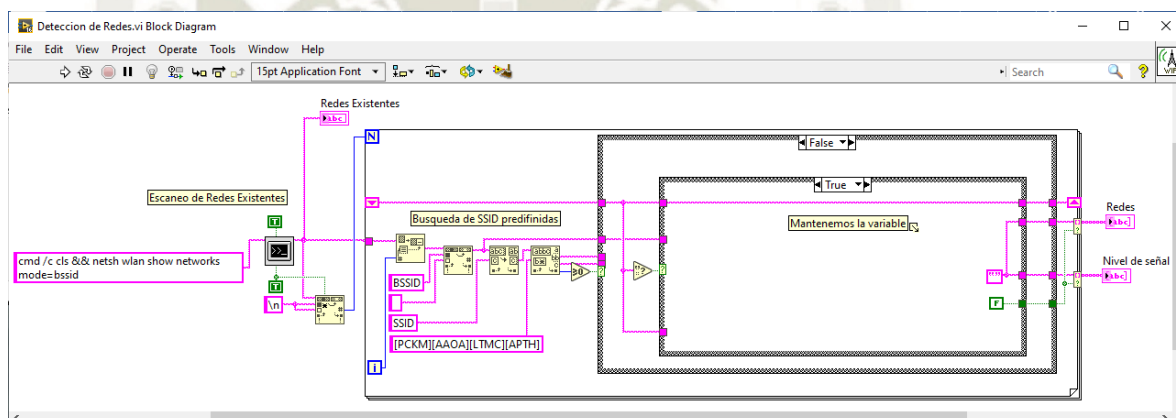


Ilustración 68. Programa SubVI detección de redes - Parte 2.

Fuente: Elaboración propia.

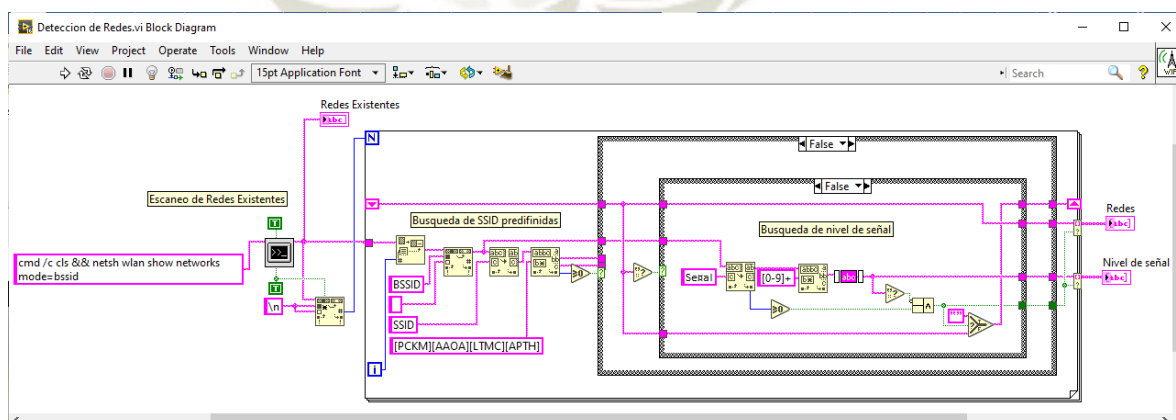


Ilustración 69. Programa SubVI detección de redes - Parte 3.

Fuente: Elaboración propia.

SubVI Selección de red de pala

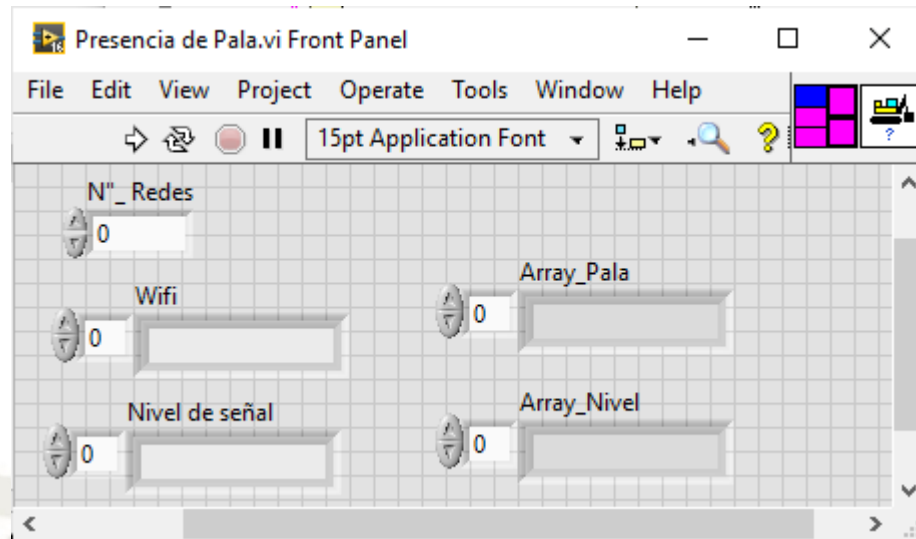


Ilustración 70. Panel frontal SubVI selección de red de pala.
Fuente: Elaboración propia.

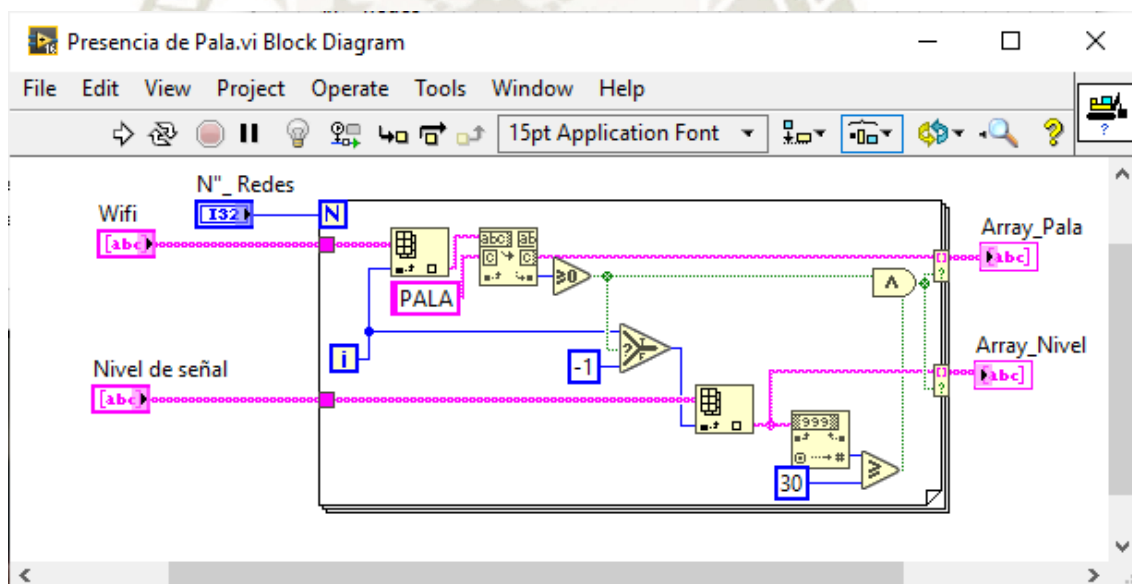


Ilustración 71. Programa SubVI selección de red de pala.
Fuente: Elaboración propia.

SubVI Presencia de camiones de acarreo

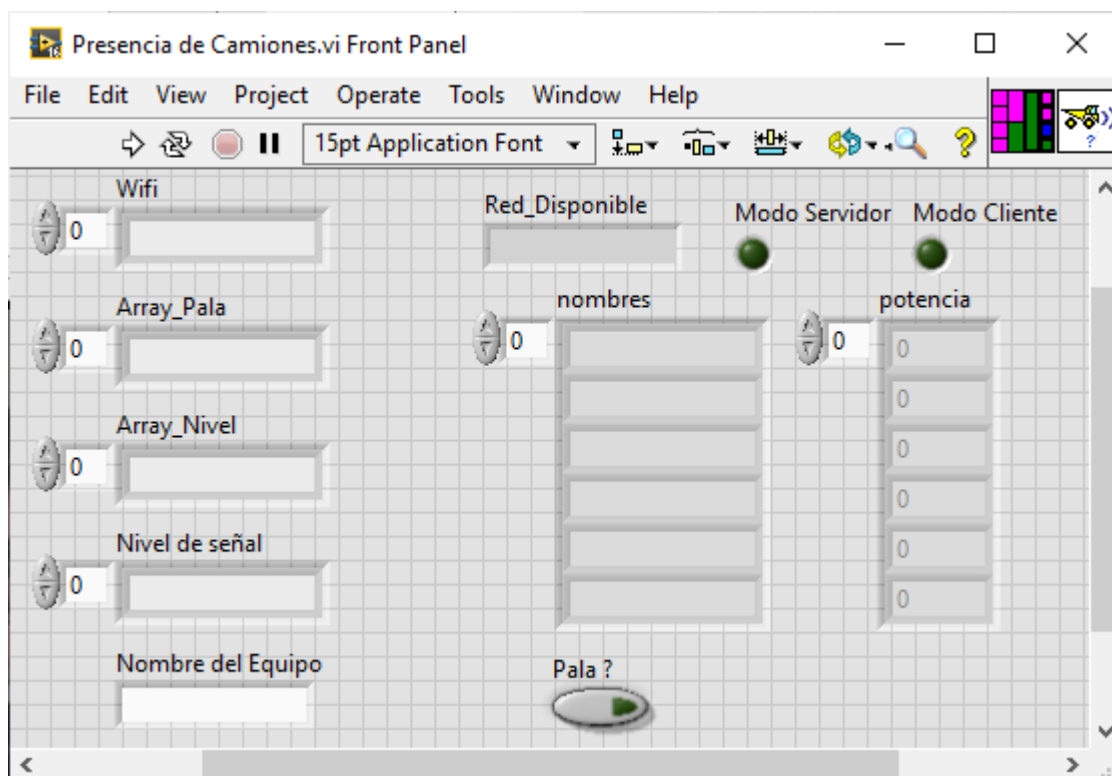


Ilustración 72. Panel frontal SubVI presencia de camiones de acarreo.

Fuente: Elaboración propia.

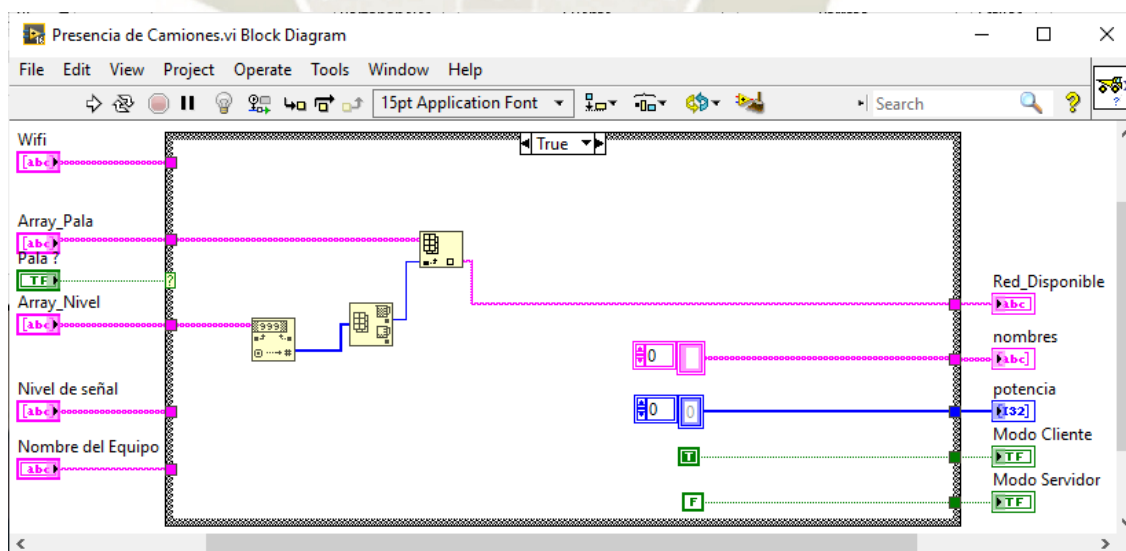


Ilustración 73. Programa SubVI presencia de camiones de acarreo – Parte 1.

Fuente: Elaboración propia.

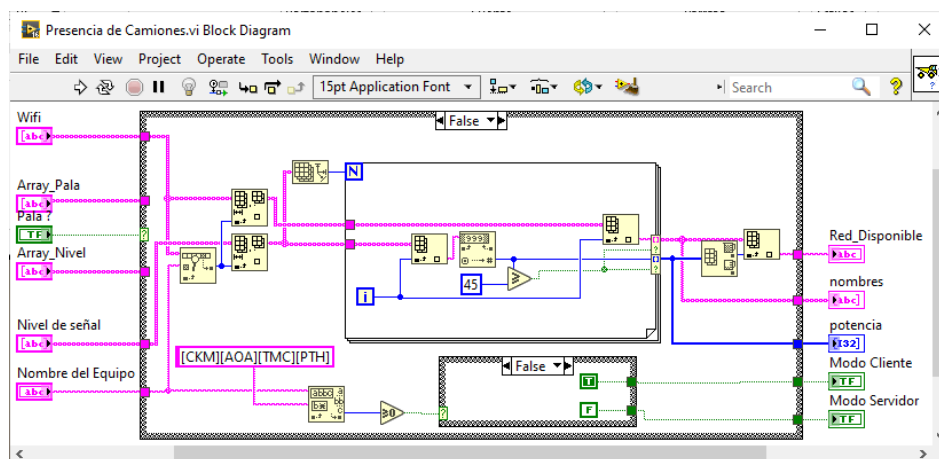


Ilustración 74. Programa SubVI presencia de camiones de acarreo - Parte 2.

Fuente: Elaboración propia.

SubVI Estabilidad de red

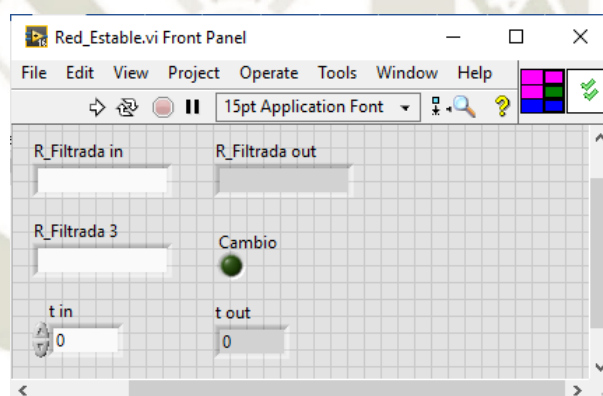


Ilustración 75. Panel frontal SubVI estabilidad de red.

Fuente: Elaboración propia.

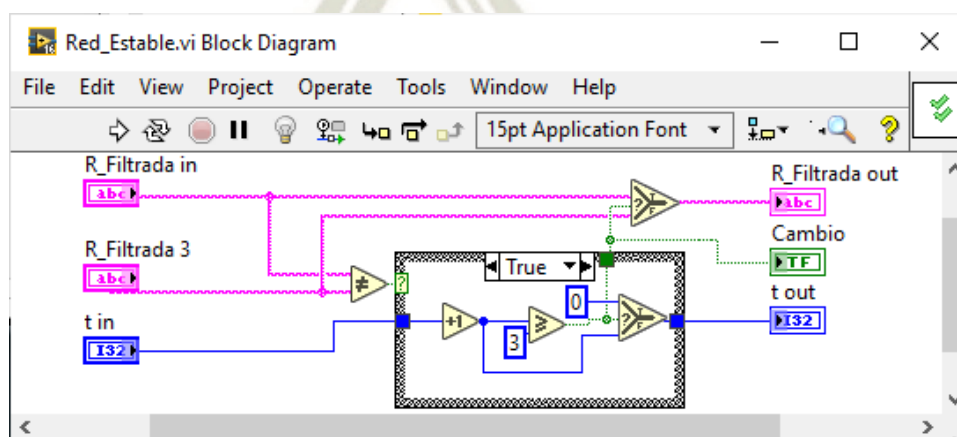


Ilustración 76. Programa SubVI estabilidad de red – Parte 1.

Fuente: Elaboración propia.

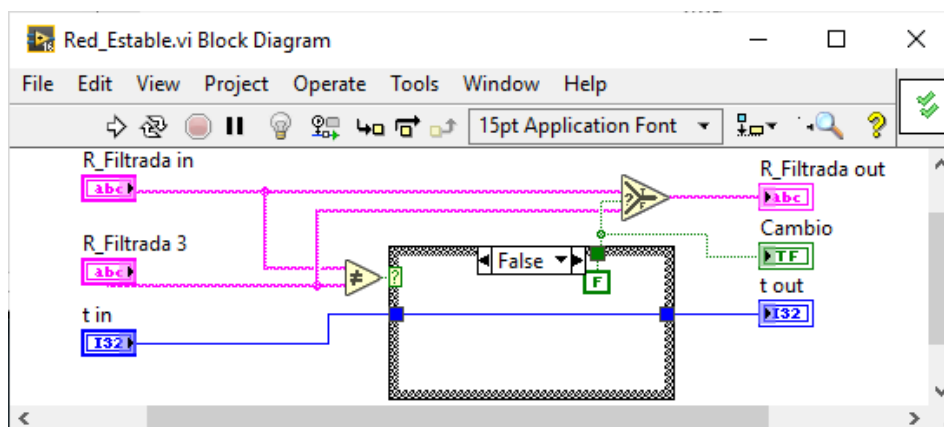


Ilustración 77. Programa SubVI estabilidad de red - Parte 2.

Fuente: Elaboración propia.

SubVI Obtención de dirección IP

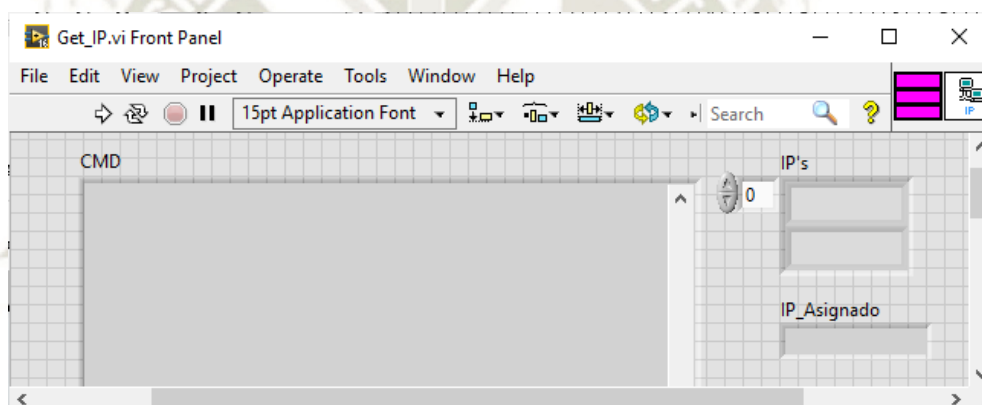


Ilustración 78. Panel frontal SubVI obtención de dirección IP.

Fuente: Elaboración propia.

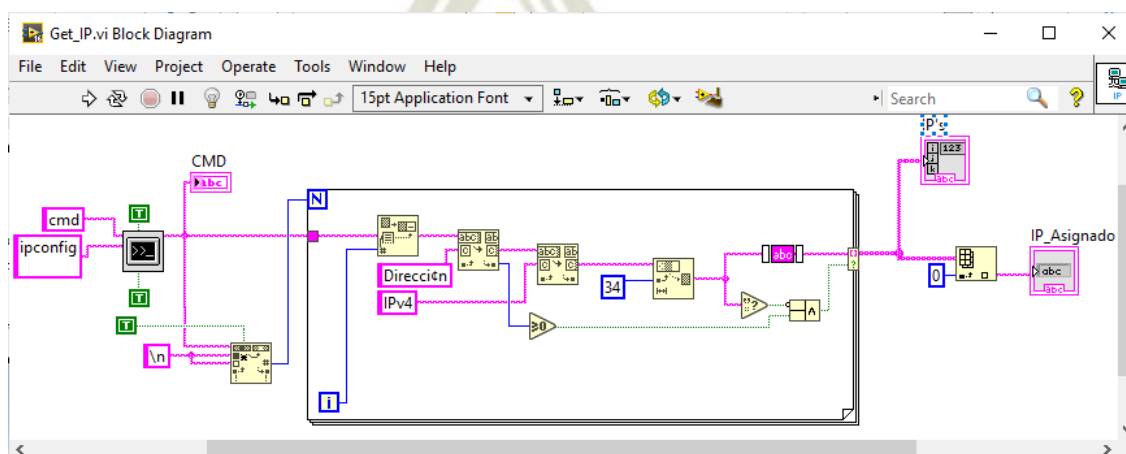


Ilustración 79. Programa SubVI obtención de dirección IP.

Fuente: Elaboración propia.

SubVI Rango de dirección IP

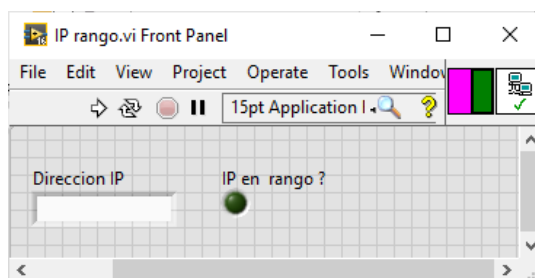


Ilustración 80. Panel frontal SubVI rango de dirección IP.

Fuente: Elaboración propia.

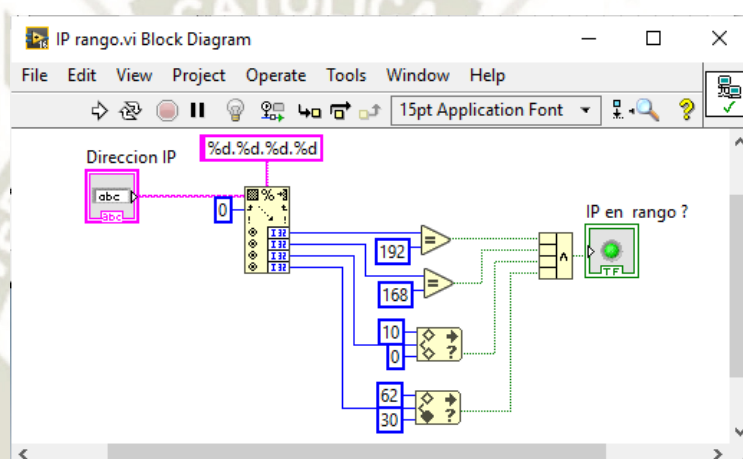


Ilustración 81. Programa SubVI rango de dirección IP.

Fuente: Elaboración propia.

SubVI Generación de archivo XML

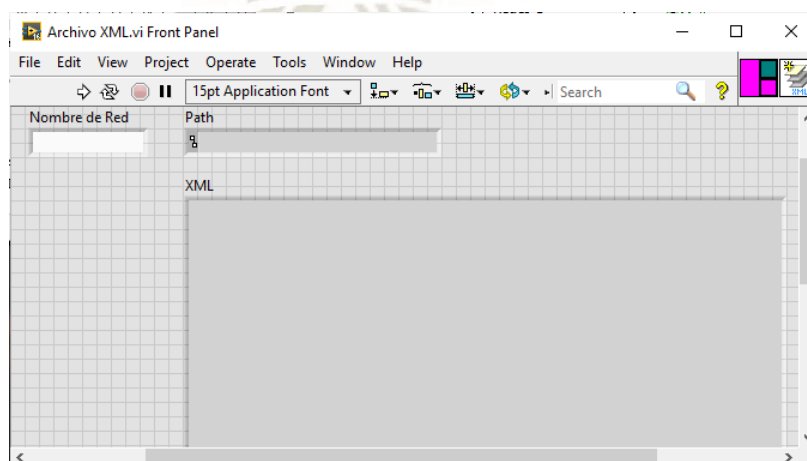


Ilustración 82. Panel frontal SubVI generación de archivo xml.

Fuente: Elaboración propia.

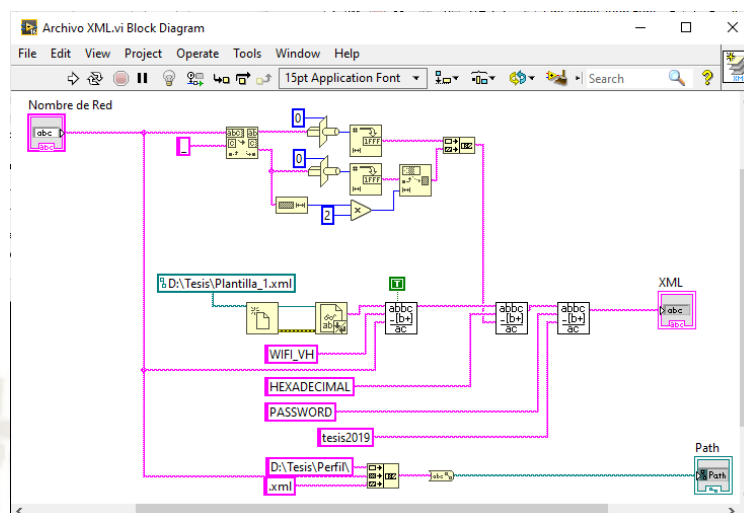


Ilustración 83. Programa SubVI generación de archivo xml.

Fuente: Elaboración propia.

SubVI Conexión de red

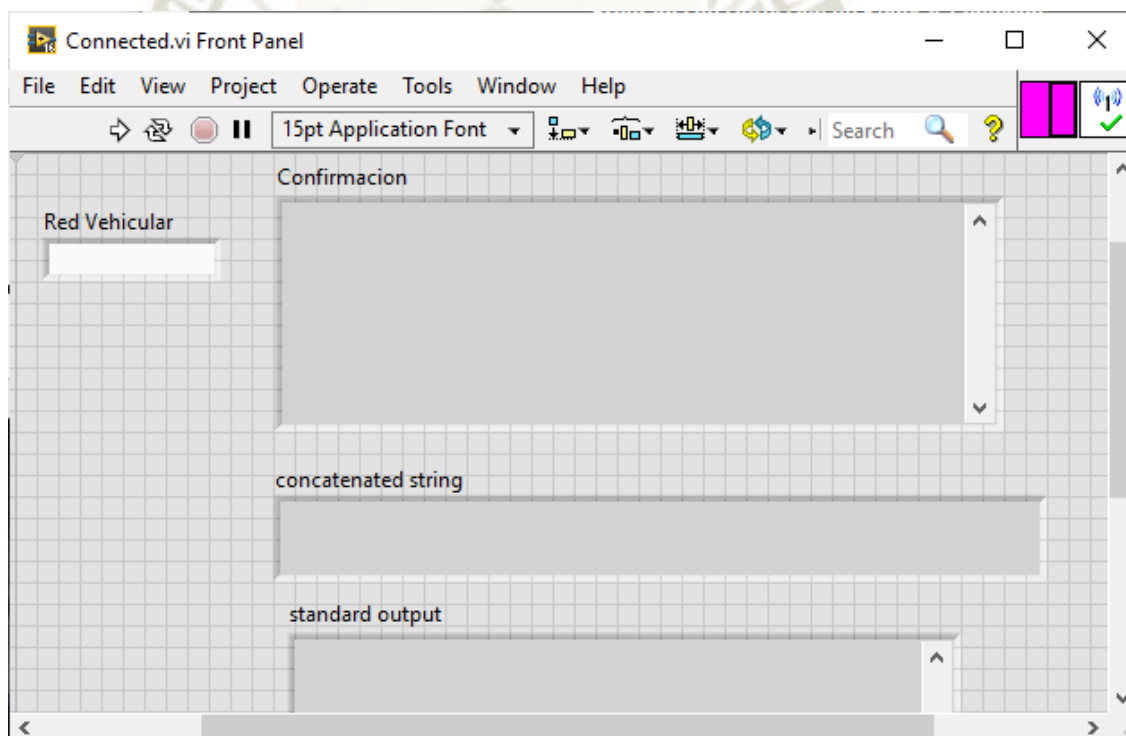


Ilustración 84. Panel frontal SubVI conexión de red.

Fuente: Elaboración propia.

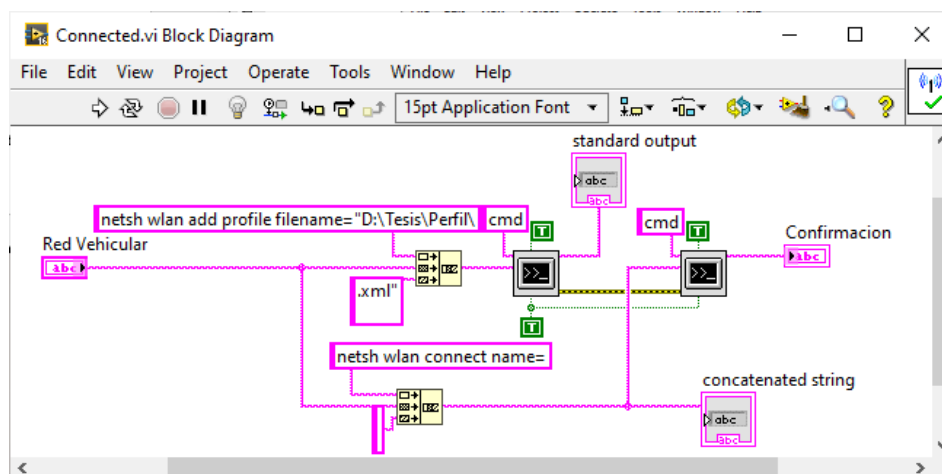


Ilustración 85. Programa SubVI conexión de red.

Fuente: Elaboración propia.

SubVI Desconexión de red

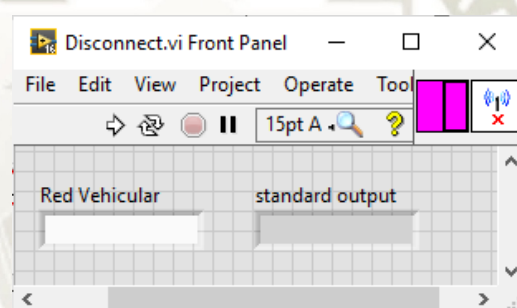


Ilustración 86. Panel frontal SubVI desconexión de red.

Fuente: Elaboración propia.

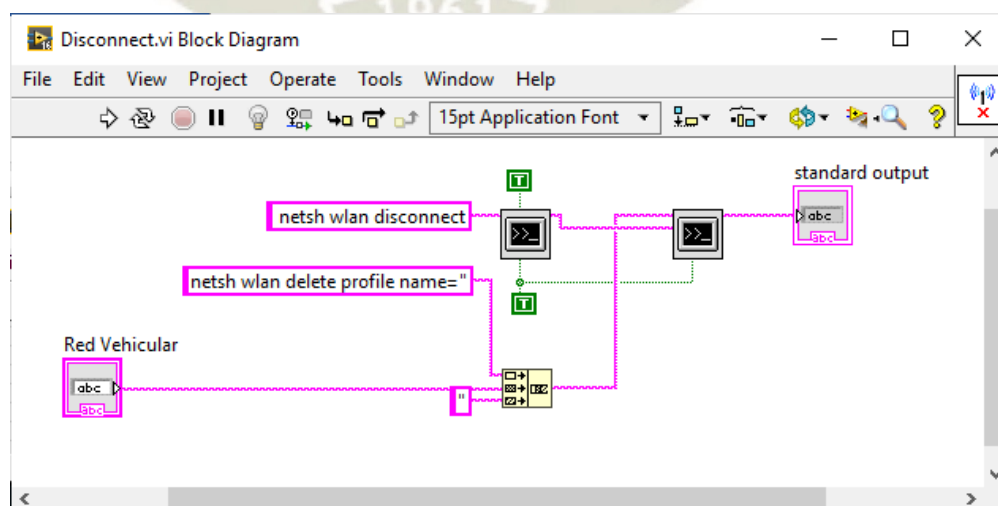


Ilustración 87. Programa SubVI desconexión de red.

Fuente: Elaboración propia.

Programa de lectura de datos

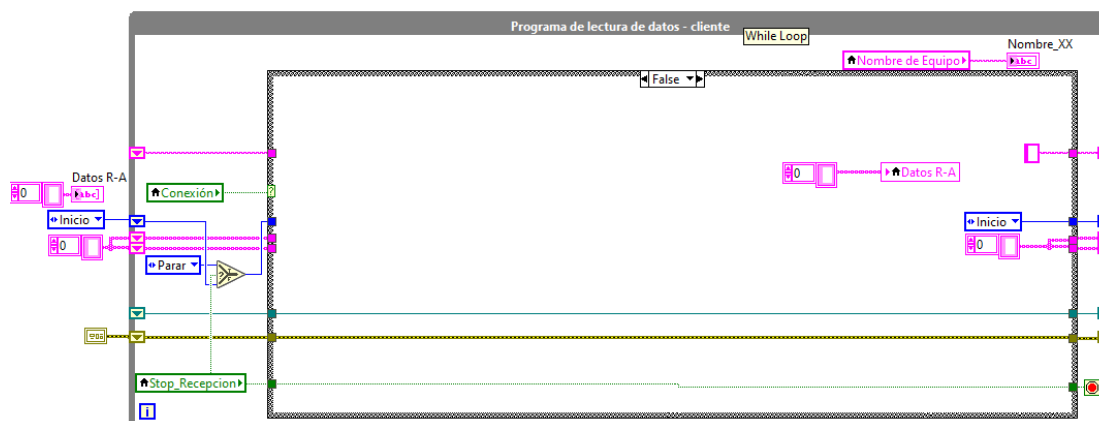


Ilustración 88. Programa de lectura de datos - Parte 1.

Fuente: Elaboración propia.

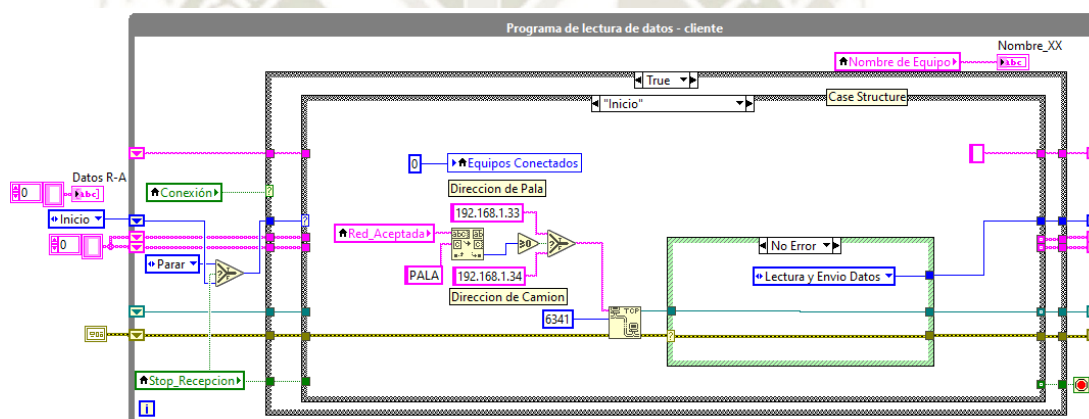


Ilustración 89: Programa de lectura de datos - Parte 2.

Fuente: Elaboración propia.

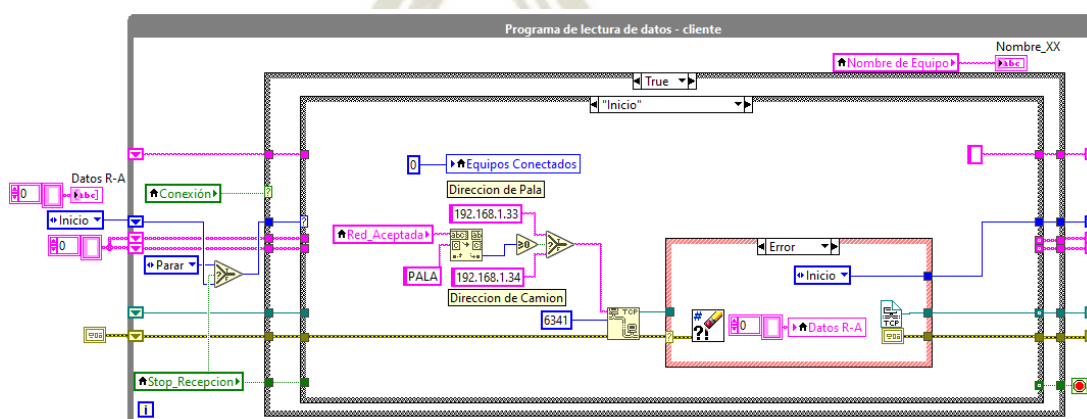


Ilustración 90. Programa de lectura de datos - Parte 3.

Fuente: Elaboración propia.

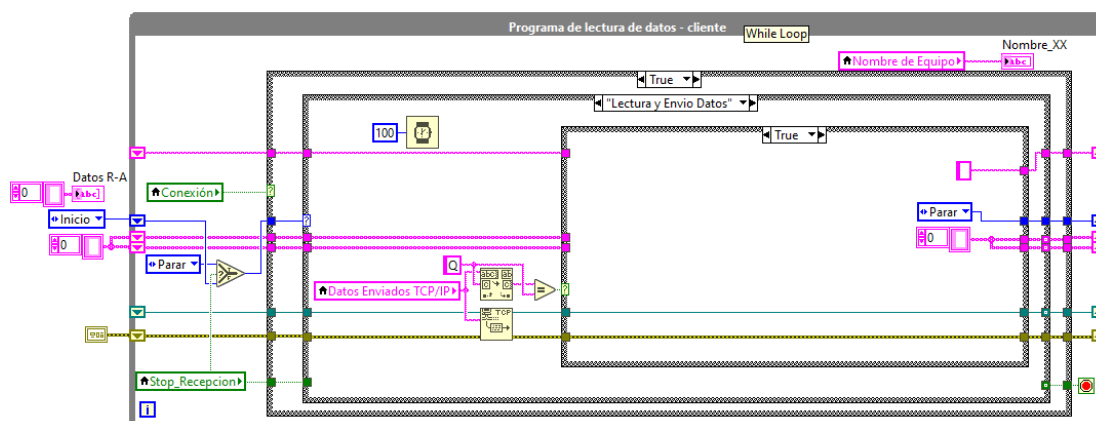


Ilustración 91. Programa de lectura de datos - Parte 4.

Fuente: Elaboración propia.

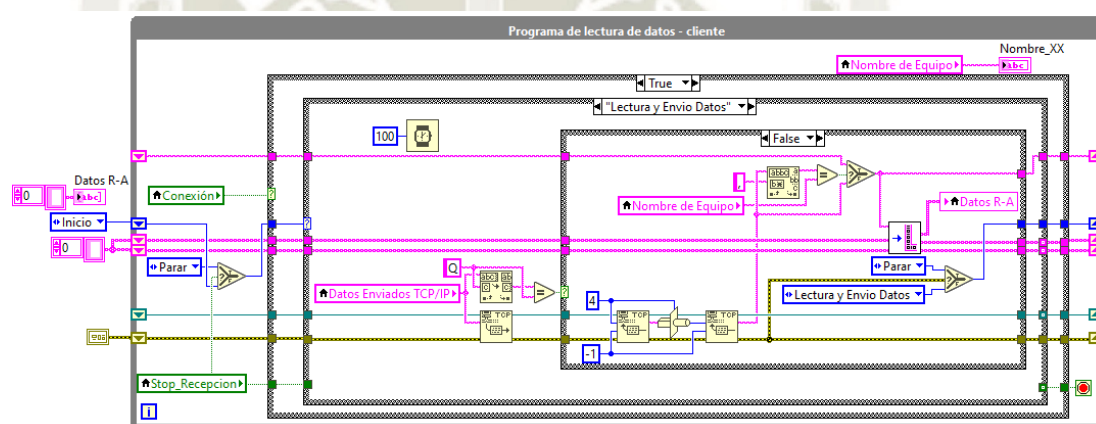


Ilustración 92. Programa de lectura de datos - Parte 5.

Fuente: Elaboración propia.

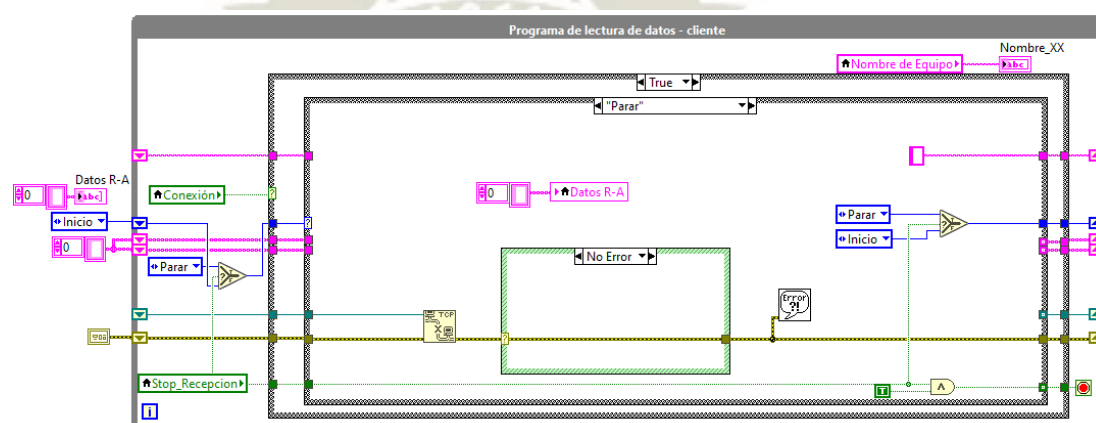


Ilustración 93. Programa de lectura de datos - Parte 6.

Fuente: Elaboración propia.

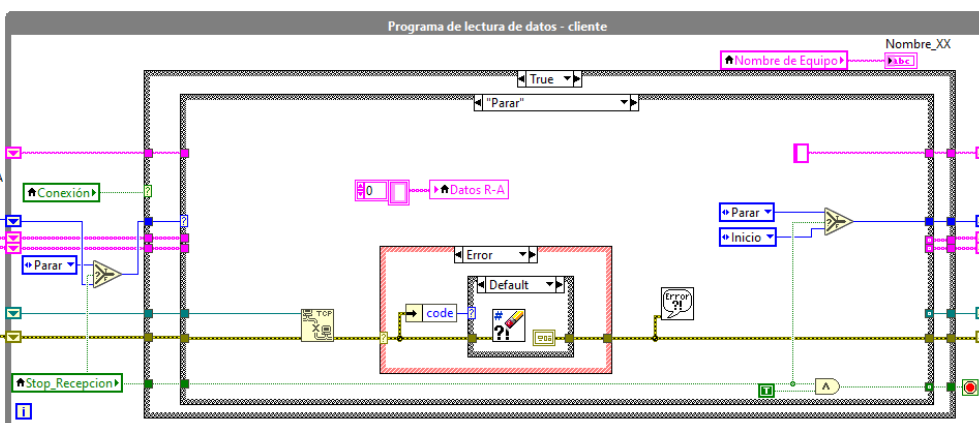


Ilustración 94. Programa de lectura de datos - Parte 7.

Fuente: Elaboración propia.

SubVI Agrupamiento de datos

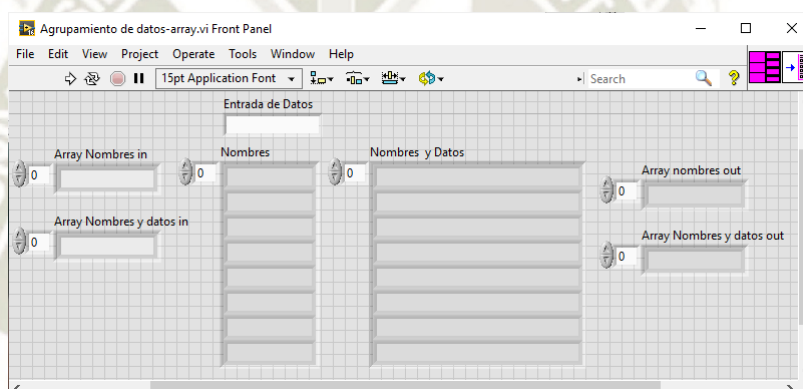


Ilustración 95. Panel frontal SubVI agrupamiento de datos.

Fuente: Elaboración propia.

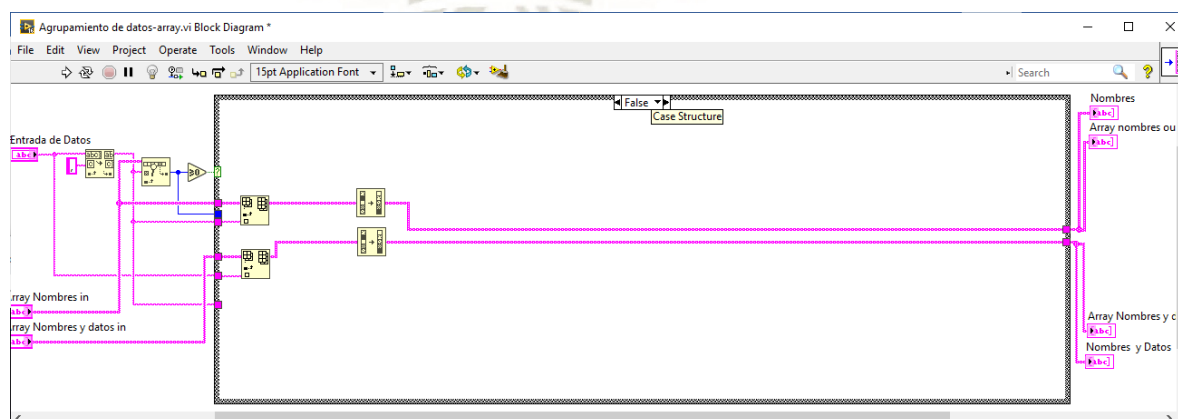


Ilustración 96. Programa SubVI agrupamiento de datos - Parte 1.

Fuente: Elaboración propia.

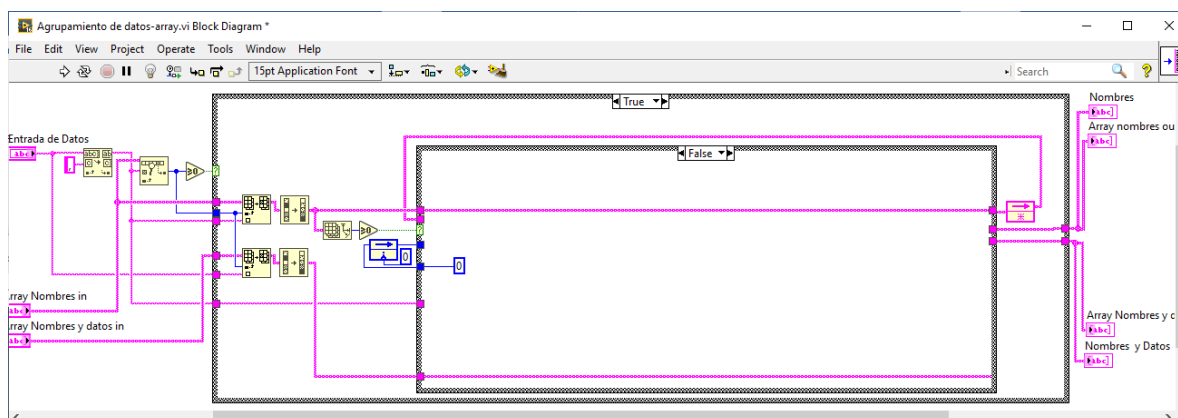


Ilustración 97. Programa SubVI agrupamiento de datos - Parte 2.

Fuente: Elaboración propia.

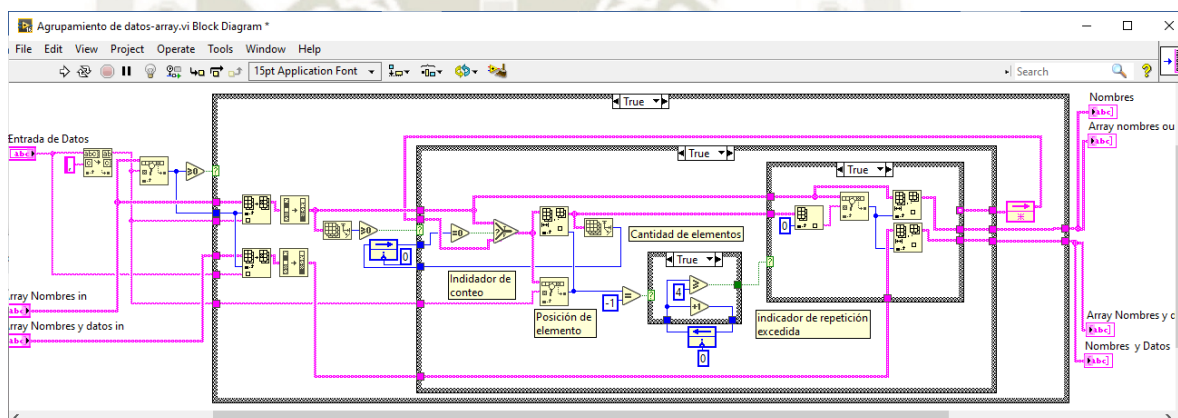


Ilustración 98. Programa SubVI agrupamiento de datos - Parte 3.

Fuente: Elaboración propia.

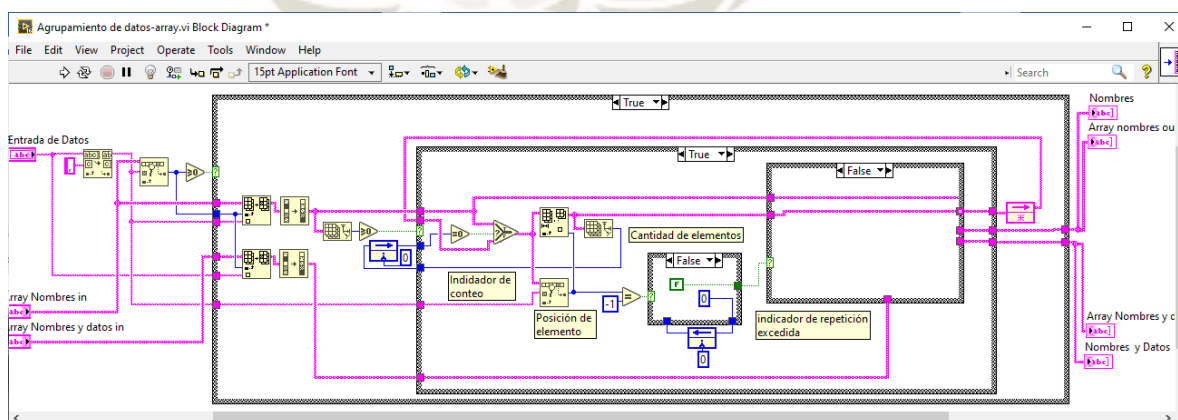


Ilustración 99. Programa SubVI agrupamiento de datos - Parte 4.

Fuente: Elaboración propia.

Programa de envío y control de datos – cliente

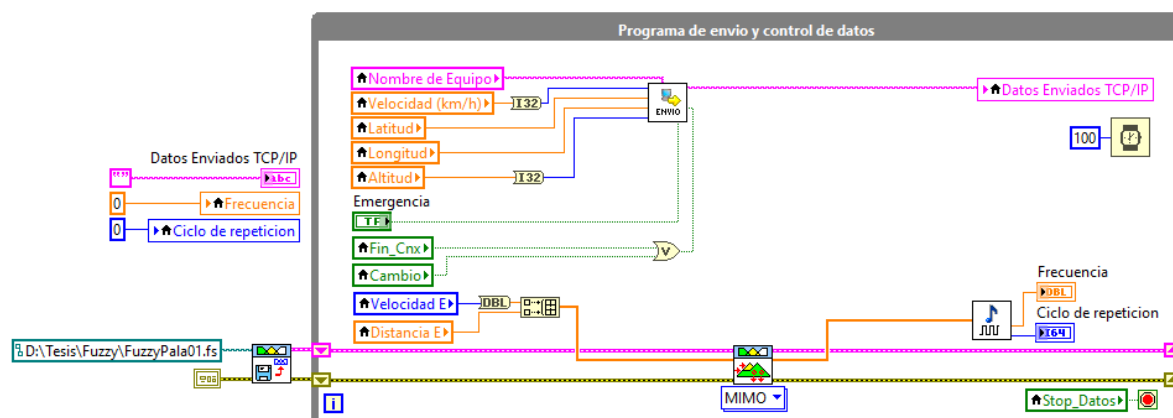


Ilustración 100. Programa de envío y control de datos.

Fuente: Elaboración propia.

Programa de recepción, gráfico y ubicación de equipos

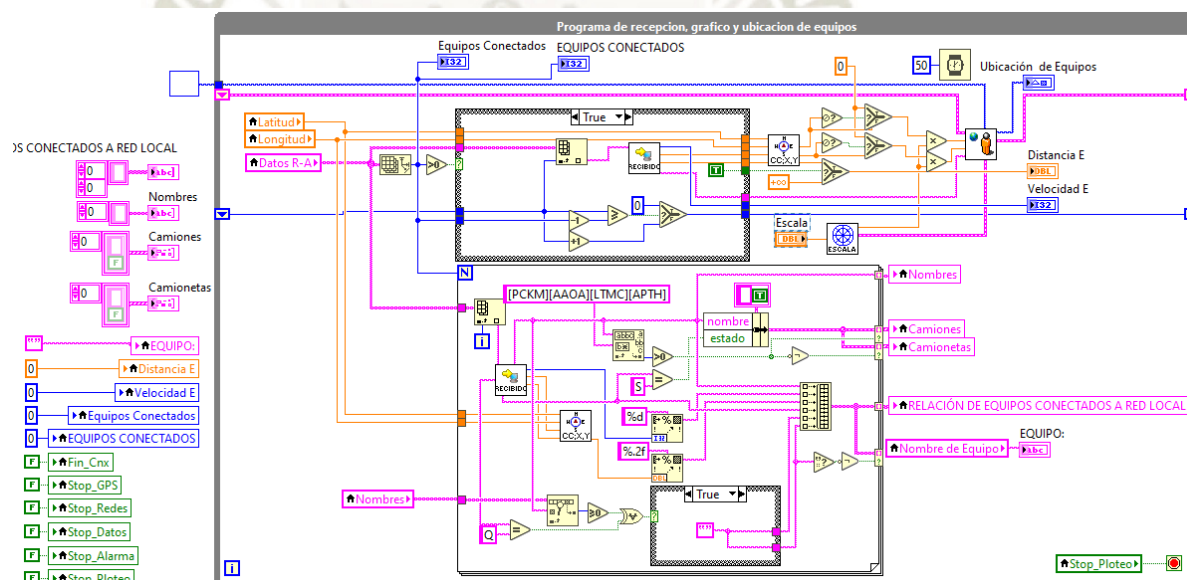
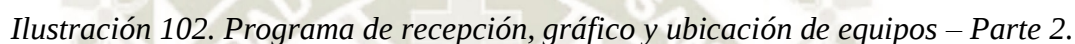


Ilustración 101. Programa de recepción, gráfico y ubicación de equipos – Parte 1.

Fuente: Elaboración propia.



Programa de alarmas del sistema



Ilustración 104. Programa de alarma - Parte 2.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

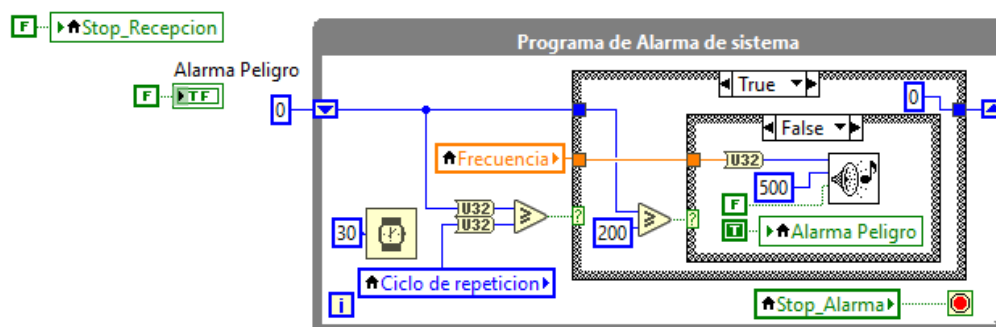


Ilustración 105. Programa de alarma - Parte 3.

Fuente: Elaboración propia.

Programa de apagado del sistema

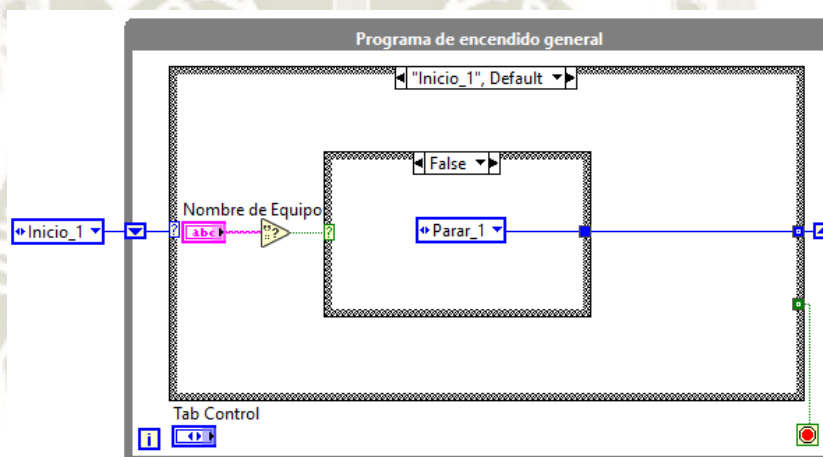


Ilustración 106. Programa de apagado del sistema - Parte 1.

Fuente: Elaboración propia.

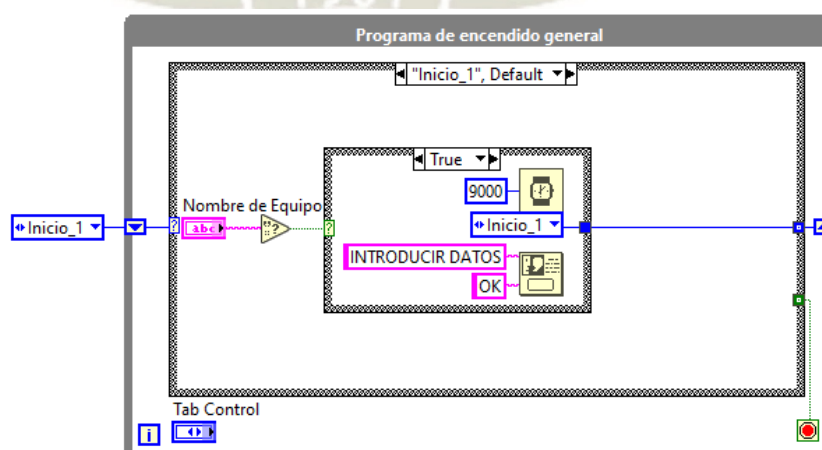


Ilustración 107. Programa de apagado del sistema - Parte 2.

Fuente: Elaboración propia.

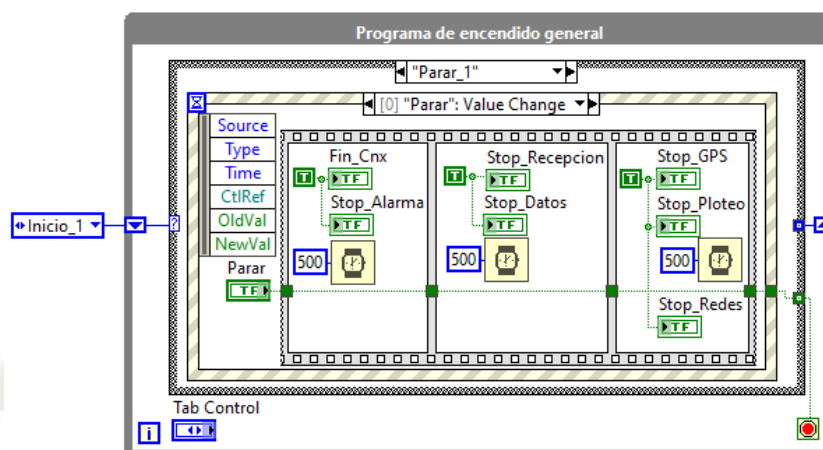


Ilustración 108. Programa de apagado del sistema - Parte 3.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2: Hoja de datos de equipos

NEO-6 series

Versatile u-blox 6 GPS modules

GPS

locate, communicate, accelerate

Highlights

- UART, USB, DDC (I²C compliant) and SPI interfaces
- Available in Crystal and TCXO versions
- Onboard RTC crystal for faster warm and hot starts
- 1.8 V and 3.0 V variants



NEO-6;
12.2 x 16.0 x 2.4 mm

Features

- u-blox 6 position engine:
 - Navigate down to -162 dBm and -148 dBm coldstart
 - Faster acquisition with AssistNow Autonomous
 - Configurable power management
 - Hybrid GPS/SBAS engine (WAAS, EGNOS, MSAS)
 - Anti-jamming technology
- Simple integration with u-blox wireless modules
- A-GPS: AssistNow Online and AssistNow Offline services, OMA SUPL compliant
- Backward compatible (hardware and firmware); easy migration from NEO-5 family or NEO-4S
- LCC package for reliable and cost effective manufacturing
- Compatible with u-blox GPS Solution for Android
- Based on GPS chips qualified according to AEC-Q100
- Manufactured in ISO/TS 16949 certified production sites
- Qualified according to ISO 16750

Product description

The NEO-6 module series brings the high performance of the u-blox6 position engine to the miniature NEO form factor. u-blox6 has been designed with low power consumption and low costs in mind. Intelligent power management is a breakthrough for low-power applications. These receivers combine a high level of integration capability with flexible connectivity options in a small package. This makes them perfectly suited for mass-market end products with strict size and cost requirements. The DDC interface provides connectivity and enables synergies with u-blox LEON and LISA wireless modules.

All NEO-6 modules are manufactured in ISO/TS 16949 certified sites. Each module is tested and inspected during production. The modules are qualified according to ISO 16750 - Environmental conditions and electrical testing for electrical and electronic equipment for road vehicles.

Product selector

Model	Type	Supply	Interfaces				Features						
	Standalone GPS Standalone GLONASS Timing & Raw Data Dead Reckoning	1.75 V – 2.0 V 2.7 V – 3.6 V	UART	USB	SPI	DDC (I/C compliant)	Programmable (Flash) FW update	Oscillator	RTC crystal	Antenna supply and supervisor	Configuration pins	Timepulse	External interrupt / Wakeup
NEO-6G	•	•	•	•	•	•	T	•	○	3	1	•	
NEO-6Q	•	•	•	•	•	•	T	•	○	3	1	•	
NEO-6M	•	•	•	•	•	•	C	•	○	3	1	•	

◦ = requires external components and integration on application processor

C = Crystal / T = TCXO



Receiver performance data

Receiver type	50-channel u-blox 6 engine GPS L1 C/A code SBAS: WAAS, EGNOS, MSAS		
Navigation update rate	up to 5 Hz		
Accuracy ¹	Position	2.5 m CEP	
	SBAS	2.0 m CEP	
Acquisition ¹		NEO-6G/Q	NEO-6M
	Cold starts:	26 s	27 s
	Aided starts ² :	1 s	< 3 s
	Hot starts:	1 s	1 s
Sensitivity ³		NEO-6G/Q	NEO-6M
	Tracking:	-162 dBm	-161 dBm
	Cold starts:	-148 dBm	-147 dBm
	Hot starts:	-157 dBm	-156 dBm

¹ All SV @ -130 dBm

² Dependent on aiding data connection speed and latency

³ Demonstrated with a good active antenna

Electrical data

Power supply	2.7 V – 3.6 V (NEO-6Q/6M) 1.75 V – 2.0 V (NEO-6G)
Power consumption	111 mW @ 3.0 V (continuous) 33 mW @ 3.0 V Power Save Mode (1 Hz) 68 mW @ 1.8 V (continuous) 22 mW @ 1.8 V Power Save Mode (1 Hz)
Backup power	1.4 V – 3.6 V, 22 µA
Supported antennas	Active and passive

Interfaces

Serial interfaces	1 UART 1 USB V2.0 full speed 12 Mbit/s 1 DDC (I ² C compliant) 1 SPI
Digital I/O	Configurable timepulse 1 EXTINT input for Wakeup
Serial and I/O	Voltages 2.7 – 3.6 V (NEO-6Q/6M) 1.75 – 2.0 V (NEO-6G)
Timepulse	Configurable 0.25 Hz to 1 kHz
Protocols	NMEA, UBX binary, RTCM

Legal Notice

u-blox reserves all rights to this document and the information contained herein. Products, names, logos and designs described herein may in whole or in part be subject to intellectual property rights. Reproduction, use, modification or disclosure to third parties of this document or any part thereof without the express permission of u-blox is strictly prohibited.

The information contained herein is provided "as is". No warranty of any kind, either express or implied, is made in relation to the accuracy, reliability, fitness for a particular purpose or content of this document. This document may be revised by u-blox at any time. For most recent documents, please visit www.u-blox.com.

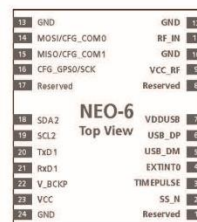
Copyright © 2011, u-blox AG

Specification applies to FW 7

Package

24 pin LCC (Leadless Chip Carrier): 12.2 x 16.0 x 2.4 mm, 1.6 g

Pinout



Environmental data, quality & reliability

Operating temp. -40° C to 85° C

Storage temp. -40° C to 85° C

RoHS compliant (lead-free)

Qualification according to ISO 16750

Manufactured in ISO/TS 16949 certified production sites

Support products

u-blox 6 Evaluation Kits:

Easy-to-use kits to get familiar with u-blox 6 positioning technology, evaluate functionality, and visualize GPS performance.

EVK-6H:	u-blox 6 Evaluation Kit with TCXO, suitable for NEO-6G, NEO-6Q
EVK-6P:	u-blox 6 Evaluation Kit with crystal, suitable for NEO-6M

Ordering information

NEO-6G-0	u-blox 6 GPS Module, 1.8V, TCXO, 12x16mm, 250 pcs/reel
NEO-6M-0	u-blox 6 GPS Module, 12x16mm, 250 pcs/reel
NEO-6Q-0	u-blox 6 GPS Module, TCXO, 12x16mm, 250 pcs/reel

Available as samples and tape on reel (250 pieces)

Contact us

HQ Switzerland
+41 44 722 7444
info@u-blox.com

EMEA
+41 44 722 7444
info@u-blox.com

Americas
+1 703 483 3180
info_us@u-blox.com

APAC – Singapore
+65 6734 3811
info_ap@u-blox.com

China
+86 10 68 133 545
info_cn@u-blox.com

Japan
+81 3 5775 3850
info_jp@u-blox.com

Korea
+82 2 542 0861
info_kr@u-blox.com

Taiwan
+886 2 2657 1090
info_tw@u-blox.com

TP-LINK®

54Mbps Wireless G ADSL2+ Modem Router TD-W8901G

Features:

- All-in-One: ADSL2+ modem, NAT router, 4-port switch and wireless G access point in one device provides one-stop networking
- Easy Setup Assistant with multi-language support provides quick & hassle-free installation
- Quality of Service (QoS) enables smooth VoIP, video streaming and lag-free online gaming
- Built-in NAT and SPI firewall, support IP address filtering, domain name filtering and MAC address filtering, protects end-user devices from potential attacks across the internet
- WPA-PSK/WPA2-PSK encryptions provide your network with active defense against security threats
- 4000V Lightning Protection helps your device to avoid the damage of tough thunderstorms
- Port VLAN binds specific LAN ports to PVCs for enjoyable IPTV experience*
- Complying with IEEE 802.11g/b, IEEE 802.3/3u



Description:

The TP-LINK ADSL2/2+ Modem with 54M Wireless Router TD-W8901G is a 3-in-1 device that combines the function of a high-speed DSL modem, wireless G access point, and 4-port Ethernet router. It supports the latest ADSL2/2+ standards to provide higher performance (up to 24Mbps downstream and 3.5Mbps upstream) and longer reach from your Internet Service Provider's (ISP) Digital Subscriber Line Access Multiplexer (DSLAM). With the TD-W8901G, you can create a wireless network to connect 802.11g/802.11b devices as well as a wired network to connect up to four 10/100 Ethernet devices.

The TD-W8901G includes a built-in QoS engine that helps prioritize Internet traffic to enable smooth Internet phone calls (VoIP) and lag-free online gaming. To prevent unauthorized wireless access into your network, the TD-W8901G supports the latest encryption including WEP, WPA, and WPA2. In addition, this device includes Dual Active Firewalls (SPI and NAT) to help protect your network from potential attacks from across the Internet.

The TD-W8901G also supports TR-069 which automatically updates the firmware and other settings when they become available from your ISP. Whether it is for a home or for a small office user, the ADSL2/2+ Modem with 54M Wireless Router TDW8901G is the ideal all-in-one broadband and wireless networking solution.

* IPTV application may require subscribing to IPTV services from an ISP

www.tp-link.com

54Mbps Wireless G ADSL2+ Modem Router

TD-W8901G

Specifications:

Interfaces	1 RJ11 DSL port, 4 RJ45 LAN Ports, support 802.3, 802.3u
Data Rates	Downstream: Up to 24Mbps Upstream: Up to 3.5Mbps (With Annex M enabled)
ADSL Features	Full-rate ANSI T1.413 Issue 2 ITU-T G.992.1 (G.dmt) ITU-T G.992.2 (G.lite) ITU-T G.994.1 (G.hs) ITU-T G.992.3 (G.dmt.bis) ITU-T G.992.4 (G.lite.bis) ITU-T G.992.5 Supports Annex A/B/I/J/L/M Max 6 kilometers
ATM Features	UNI 3.1/4.0, TM Adaptation Layer Type 5-AAL5 Multiprotocol encapsulation over ATM (RFC 1483/RFC 2684) UBR, CBR, VBR-rt, VBR-nrt Supports 8PVCs OAM F4/F5 Loop-back, AIS and RDI OAM cells
PPP Features	PPP over ATM (RFC 2364) PPP over Ethernet (RFC 2516)
Switching Features	IGMP snooping IGMP multicast Port VLAN Tag VLAN IEEE 802.1d transparent learning bridging
Routing Features	Classical IP and ARP over ATM (RFC 1577/2225), MER, RIP V1/V2 Static routing, IP, TCP, UDP, ARP PPP Encapsulation: PAP, CHAP, MS-CHAP NAT, NAT, DNS, DDNS, DHCP Server UPnP, Virtual Server, DMZ SIP, H323 ALG
Wireless Features	Complies with IEEE 802.11g, IEEE802.11b, 2.4GHz~2.4835GHz Supports 54/48/36/24/18/12/9/6Mbps or 11/5.5/3/2/1Mbps data transfer rates Provides WPA/WPA2 and WPA-PSK/WPA2-PSK authentication and TKIP/AES encryption security Provides 64/128-bit WEP encryption security and wireless LAN ACL (Access Control List) Output Power: 17dBm, Antenna Gain: 3dBi
Firewall	Stateful Packet Inspection (SPI), NAT and Packet Filter
VPN Pass Through	IPSec/PPTP/L2TP Pass-through
QoS	IP Type of service (ToS) DSCP 802.1p
Device Management	HTTP, TELNET, Console Administration and operation software (firmware) upgradable locally by WEB, TFTP, FTP, Console SNMP V1/V2 CWMP (TR-069)
Led	Power ADSL Internet WLAN LAN(1-4)
Operating Temperature	0°C~40°C (32°F~104°F)
Storage Temperature	-40°C~70°C (-40°F~158°F)
Operating Humidity	10%~90%, non condensation
Storage Humidity	5%~90% non-condensing
Dimensions(L x W x H)	6.5*4.3*1.1 in.(165*108*28mm)

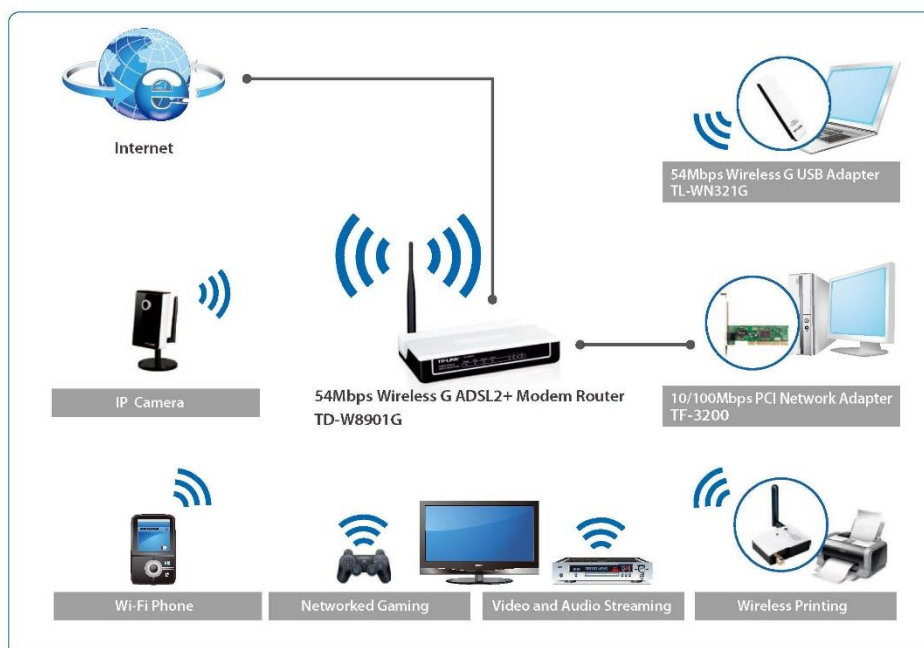
Specifications are subject to change without notice. TP-LINK is a registered trademark of TP-LINK Technologies Co., Ltd. Other brands and product names are trademarks or registered trademarks of their respective holders. No part of these specifications may be reproduced in any form or by any means or used to make any derivative such as translation, transformation, or adaptation without permission from TP-LINK Technologies Co., Ltd.

www.tp-link.com

54Mbps Wireless G ADSL2+ Modem Router

TD-W8901G

Diagram:



Package:

- 54M Wireless ADSL2+ Modem Router TD-W8901G
- One DC power Adapter
- Quick Installation Guide
- One RJ45 cable
- Two RJ11 cables
- One ADSL splitter
- One Resource CD

Related Products:

- 54Mbps Wireless G USB Adapter TL-WN321G
- 10/100Mbps PCI Network Adapter TF-3200

Specifications are subject to change without notice. TP-LINK is a registered trademark of TP-LINK Technologies Co., Ltd. Other brands and product names are trademarks or registered trademarks of their respective holders. No part of the specifications may be reproduced in any form or by any means or used to make any derivative such as translation, transformation, or adaptation without permission from TP-LINK Technologies Co., Ltd.

www.tp-link.com