



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS

ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones

TEMA:

“SISTEMA DE COMUNICACIÓN MEDIANTE WSN PARA DETECCIÓN Y ALERTA TEMPRANA DE DESLIZAMIENTOS DE TIERRA.”

Proyecto de Trabajo de Graduación. Modalidad: Proyecto de investigación, presentado previo la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones.

SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Comunicaciones Inalámbricas
AUTOR: Christian Sebastián Bonilla Sánchez
PROFESOR REVISOR: Ing. Mg. Edgar Patricio Córdova Córdova

Ambato – Ecuador

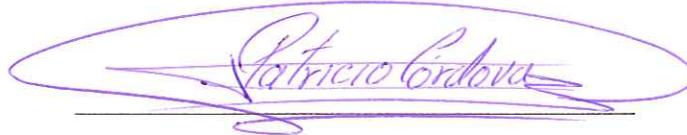
Enero – 2018

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el Tema: “SISTEMA DE COMUNICACIÓN MEDIANTE WSN PARA DETECCIÓN Y ALERTA TEMPRANA DE DESLIZAMIENTOS DE TIERRA”, del señor, estudiante de la Carrera de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe investigativo reúne los requisitos suficientes para que continúe con los trámites y consiguiente aprobación de conformidad con el numeral 7.2 de los Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato

Ambato, Septiembre 2017

EL TUTOR



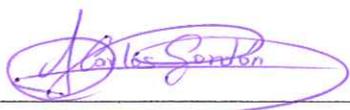
Ing. Mg. Edgar Patricio Córdova Córdova

APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA

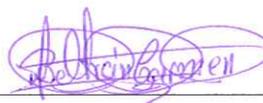
La Comisión Calificadora del presente trabajo conformada por los señores docentes Ing. Mg. Carmen de las Mercedes Beltrán Mesía y PhD. Carlos Diego Gordón Gallegos, revisó y aprobó el Informe Final del proyecto de investigación titulado “SISTEMA DE COMUNICACIÓN MEDIANTE WSN PARA DETECCIÓN Y ALERTA TEMPRANA DE DESLIZAMIENTOS DE TIERRA”, presentado por el señor Christian Sebastián Bonilla Sánchez, de acuerdo al numeral 9.1 de los Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato..



Ing. Mg. Elsa Pilar Urrutia Urrutia
PRESIDENTA DEL TRIBUNAL



PhD. Carlos Diego Gordón Gallegos
DOCENTE CALIFICADOR



Ing. Mg. Carmen de las Mercedes Beltrán Mesía
DOCENTE CALIFICADORA

AUTORÍA

El presente trabajo de investigación titulado: “SISTEMA DE COMUNICACIÓN MEDIANTE WSN PARA DETECCIÓN Y ALERTA TEMPRANA DE DESLIZAMIENTOS DE TIERRA”, es absolutamente original, auténtico y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, Septiembre 2017



Christian Sebastián Bonilla Sánchez

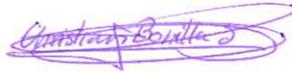
CC: 1802942316

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además autorizo su reproducción dentro de las regulaciones de la Universidad.

Ambato, Septiembre 2017



Christian Sebastián Bonilla Sánchez

CC: 1802942316

DEDICATORIA

Deseo dedicar este trabajo a todas las personas que me apoyaron en todo el proceso de realización e incluso desde el inicio de mi etapa estudiantil universitaria, por sus sabias palabras, a mis padres, a mis hermanos, a mis profesores, que han puesto toda su disposición.



Christian Sebastián Bonilla Sánchez

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios primeramente por brindarme la sabiduría y las fuerzas que me ayudaron a seguir en esta etapa de mi vida. A mis padres José Abel y María Elena, mis hermanos Daniel y Jessica que nunca me faltaron. A la Universidad Técnica de Ambato por permitirme incursionar por sus aulas y obtener conocimiento. A la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, sus sabios maestros que me han permitido formarme profesionalmente.



Christian Sebastián Bonilla Sánchez

ÍNDICE GENERAL

Portada	
APROBACIÓN DEL TUTOR	i
APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA	ii
AUTORÍA	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN	xviii
CAPÍTULO I	1
EL PROBLEMA.....	1
1.1 Tema de Investigación	1
1.2 Planteamiento del problema.....	1
1.3 Delimitación.....	2
1.4 Justificación.....	3
1.5 Objetivos	3
1.5.1 General	3
1.5.2 Específicos	3
CAPITULO II.....	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1 Antecedentes Investigativos.....	5
2.2 Fundamentación Teórica.....	6

2.2.1	Deslizamientos de tierra	6
2.2.1.1	Partes de un deslizamiento.....	7
2.2.2	Talud.....	8
2.2.3	Clasificación de los movimientos.....	9
2.2.4	Caracterización de los movimientos.....	13
2.2.5	Vibraciones.....	15
2.2.6	Tipos de Flujo.....	16
2.2.7	Dimensiones de los movimientos.....	18
2.2.8	Amenaza por deslizamientos.....	18
2.2.9	Sistemas electrónicos.....	20
2.2.10	Sistemas electrónicos de comunicación.....	20
2.2.11	Sistemas electrónicos análogos y digitales.....	20
2.2.11.1	Sistema analógico.....	21
2.2.11.2	Sistema digital.....	21
2.2.12	Clasificación de sistemas de comunicación por su alcance.....	22
2.2.12.1	LAN.....	22
2.2.12.2	MAN.....	22
2.2.12.3	WAN.....	23
2.2.13	Sensores y actuadores.....	24
2.2.13.1	Clasificación generalizada de los sensores.....	25
2.2.13.2	Características y parámetros de los sensores.....	25
2.2.13.3	Características estáticas.....	25
2.2.13.4	Características dinámicas.....	27
2.3	Clasificación de los sensores.....	27
2.3.1	Actuadores.....	31
2.4	Microprocesadores y Microcontroladores.....	33
2.5	Microprocesador.....	34
2.6	Microcontrolador.....	36
2.6.1	Microcontrolador PIC 16F.....	39
2.6.2	Microcontrolador PIC 18F.....	39
2.6.3	Microcontrolador AVR.....	40
2.7	Telefonía celular.....	40

2.7.1	Primera generación (1G).....	40
2.7.2	Segunda generación (2G)	41
2.7.3	Tercera generación (3G).....	41
2.7.4	Cuarta generación (4G).....	41
2.7.5	Componentes de una red celular.....	42
2.8	WSN (Wireless Sensor Network)	43
2.8.1	Características de las redes WSN	43
2.8.2	Partes de una red WSN	44
2.8.3	Aplicaciones de las redes WSN.....	45
2.9	Lenguajes de programación	45
2.9.1	Lenguaje C.....	46
2.9.2	Lenguaje C++	46
2.9.3	Plataforma Arduino	46
2.10	Estaciones Meteorológicas.....	47
2.10.1	Elementos Meteorológicos	47
CAPITULO III.....		48
METODOLOGÍA		48
3.1	Modalidad Básica de la investigación.....	48
3.2	Recolección de información.....	48
3.3	Procesamiento y análisis de datos	48
3.4	Desarrollo del Proyecto.....	49
CAPÍTULO IV		50
DESARROLLO DE LA PROPUESTA		50
4.1	Introducción	50
4.2	Factores que intervienen en los deslizamientos de tierra	50
4.2.1	Análisis a nivel nacional.....	51
4.2.2	Análisis del sector de estudio	53
4.2.2.1	Ubicación.....	53
4.2.2.2	Clima.....	54
4.2.2.3	Material del suelo	56
4.2.2.4	Circulación vehicular.....	56

4.2.3	Parámetros técnicos necesarios para el estudio	56
4.3	Análisis de un sistema de comunicación basado en WSN.....	57
4.3.1	Sistemas de comunicación inalámbrica y cableada	57
4.3.2	Análisis de sistemas de comunicación inalámbrica	58
4.3.3	Etapas del sistema de comunicación	59
4.4	Tecnología de comunicación que se utilizará en el proyecto.....	62
4.4.1	Tecnología GSM.....	62
4.5	Dispositivos utilizados en el desarrollo del proyecto.....	63
4.6	Determinación de los métodos de detección y alerta	65
4.7	Determinación de los elementos para la red inalámbrica.....	71
4.8	Establecimiento de reglas de detección y alerta en dispositivos.....	76
4.9	Elaboración del diseño del prototipo del sistema.....	78
4.10	Construcción del prototipo	80
4.11	Pruebas de funcionamiento del prototipo.....	86
4.12	Corrección de errores en pruebas de funcionamiento	87
4.13	Resultados del funcionamiento del prototipo.....	88
4.14	Simulación de un caso de deslizamiento de tierra	89
4.15	Informe económico del prototipo.....	91
	CONCLUSIONES	93
	RECOMENDACIONES.....	94
	BIBLIOGRAFÍA	95
	ANEXOS	98
	GLOSARIO TÉCNICO Y ACRÓNIMOS	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°. 1: Nomenclatura de las partes de un deslizamiento	7
Figura N°. 2: Nomenclatura de taludes y laderas.....	9
Figura N°. 3: Caído o desprendimiento de suelo	9
Figura N°. 4: Procesos que conducen al volcamiento o inclinación	10
Figura N°. 5: Procesos de reptación.....	11
Figura N°. 6: Tipos de hundimiento.....	12
Figura N°. 7: Generación de flujos de roca.....	13
Figura N°. 8: Velocidad de acuerdo al tipo de movimiento.....	15
Figura N°. 9: Flujos de roca y residuos.....	16
Figura N°. 10: Avalancha por deslizamiento	17
Figura N°. 11: Proceso de comunicación electrónica	20
Figura N°. 12: Representación análoga.....	21
Figura N°. 13: Representación digital	21
Figura N°. 14: Clasificación de los sensores.....	28
Figura N°. 15: Clasificación de los actuadores	31
Figura N°. 16: Estructura de un microprocesador.....	34
Figura N°. 17: Componentes que integran un microprocesador	34
Figura N°. 18: Esquema de una ALU	35
Figura N°. 19: Esquema de un Microcontrolador	37
Figura N°. 20: Partes principales de un microcontrolador.....	38
Figura N°. 21: Esquema de una red celular.....	42
Figura N°. 22: Arquitectura de una red WSN	44
Figura N°. 23: Ubicación del sector de estudio.....	53
Figura N°. 24: Sector de estudio	54
Figura N°. 25: Inclinación y material de laderas.....	56
Figura N°. 26: Sistemas de comunicación	57
Figura N°. 27: Modelo de Red WSN	59
Figura N°. 28: Esquema de recepción de parámetros	59
Figura N°. 29: Matriz LED	69
Figura N°. 30: Mensaje SMS	69

Figura N°.	31: Interfaz de ThingSpeak	70
Figura N°.	32: Registro y visualización de los datos en la web	70
Figura N°.	33: Esquema de bloques del transmisor	71
Figura N°.	34: Esquema de bloques del receptor	72
Figura N°.	35: Mapa de cobertura CNT en sector afectado	73
Figura N°.	36: Mapa de cobertura CLARO en sector afectado	74
Figura N°.	37: Mapa de cobertura MOVISTAR en sector afectado	74
Figura N°.	38: Selección del paquete mensajes de MOVISTAR.....	75
Figura N°.	39: Ubicación de la Torre celular de MOVISTAR	76
Figura N°.	40: Flujograma para establecer las reglas de detección y alerta	77
Figura N°.	41: Diagrama lógico de comunicación del prototipo	78
Figura N°.	42: Diagrama físico de comunicación del prototipo	79
Figura N°.	43: Conexión de elementos electrónicos en transmisor	81
Figura N°.	44: Diagrama de componentes de la placa Arduino MEGA	82
Figura N°.	45: Sensor de Clima Assembly 80422	82
Figura N°.	46: Integración de sensores en la placa Weather board	83
Figura N°.	47: Conexión de elementos electrónicos en receptor	83
Figura N°.	48: Visualización de alerta en la carretera	84
Figura N°.	49: Recepción de alerta vía SMS en celular.....	85
Figura N°.	50: Parte A del Registro de los parámetros en internet	85
Figura N°.	51: Parte B del Registro de los parámetros en internet	86
Figura N°.	52: Pruebas de funcionamiento del prototipo.....	87
Figura N°.	53: Datos visualizados vía serial de los sensores	87
Figura N°.	54: Simulación de un día lluvioso registrado en servidor	90
Figura N°.	55: Registro de cuenta en Servidor ThingSpeak	102
Figura N°.	56: Registro de un proyecto en ThingSpeak	102
Figura N°.	57: Registro de las variables del proyecto en ThingSpeak.....	103
Figura N°.	58: Instalación de librería de comunicación con ThingSpeak.....	104
Figura N°.	59: Visualización de la Write API Key de ThingSpeak.....	104
Figura N°.	59: Visualización de la Write API Key de ThingSpeak.....	105
Figura N°.	58: Ubicación del sector afectado vía Baños-Puyo	119
Figura N°.	59: Construcción del prototipo.....	119

Figura N°. 60: Instalación del prototipo en la zona afectada 120
Figura N°. 61: Pruebas de funcionamiento del prototipo en la zona afectada 120

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°. 1: Velocidad de movimientos	14
Tabla N°. 2: Causas de deslizamientos	19
Tabla N°. 3: Clasificación de las redes por su alcance	23
Tabla N°. 4: Parámetros que intervienen en un deslizamiento	51
Tabla N°. 5: Datos obtenidos de la región Sierra-Costa (Santo Domingo)	52
Tabla N°. 6: Datos obtenidos de la región Sierra-Oriente (Baños).....	52
Tabla N°. 7: Valores atmosféricos del sector estudiado	55
Tabla N°. 8: Análisis característico de microcontroladores.....	60
Tabla N°. 9: Análisis del transmisor y receptor GSM	61
Tabla N°. 10: Tabla comparativa para la selección del anemómetro.....	63
Tabla N°. 11: Tabla comparativa para la selección del Pluviómetro.....	63
Tabla N°. 12: Tabla para la selección del sensor de temperatura y humedad.....	64
Tabla N°. 13: Tabla comparativa para la selección del sensor de luz ambiental	64
Tabla N°. 14: Tabla comparativa para selección de sensor de vibración.....	65
Tabla N°. 15: Niveles de vibración detectados	66
Tabla N°. 16: Niveles de humedad del suelo detectados	66
Tabla N°. 17: Niveles de humedad relativa detectados.....	67
Tabla N°. 18: Velocidades del viento detectadas.....	68
Tabla N°. 19: Niveles de Precipitación de agua detectados.....	68
Tabla N°. 20: Registro diario promedio de los datos medidos por los sensores.....	88
Tabla N°. 21: Costos de dispositivos utilizados en el transmisor	91
Tabla N°. 22: Descripción de costos del receptor	92

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Hoja de especificaciones técnicas de la placa Arduino MEGA.....	98
Anexo B: Hoja de especificaciones técnicas de la placa Arduino UNO	99
Anexo C: Hoja de especificaciones técnicas de la placa Arduino NANO	100
Anexo D: Hoja de especificaciones técnicas del sensor de clima Assembly 80422	101
Anexo E: Primeros pasos en ThingSpeak.....	102
Anexo F: Líneas de código de la programación del prototipo.....	106
Anexo G: Construcción, instalación y funcionamiento del prototipo en la zona	119

RESUMEN

El presente informe de Proyecto de investigación muestra el desarrollo de un sistema de comunicación mediante (WSN) para detección y alerta temprana de deslizamientos de tierra, comenzando por un análisis teórico que permite recabar y depurar la información necesaria para determinar los parámetros y elementos electrónicos que intervienen en la implementación del prototipo.

Se puede apreciar la utilización de sensores, placas desarrolladoras y redes de comunicación que conforman el sistema, teniendo en cuenta que se cumple con el objetivo principal el cual es alertar ante vibraciones que sobrepasan un valor umbral, el cual manifiesta que se ha producido un deslizamiento de tierra. Además la utilización de tres métodos de alerta, comunicación por (GSM) y (WSN) por Bluetooth.

El resto de factores climáticos permiten obtener una idea clara del panorama ambiental con lo que para estudios posteriores sea posible establecer un análisis estadístico e inclusive un modelo predictivo; entonces éste proyecto es el inicio para otras investigaciones futuras con mayores resultados en rendimiento y capacidad de respuesta.

En el análisis del sector afectado se puede apreciar un muestreo de los factores climáticos y se determinan las variables que afectan directamente en un deslizamiento de tierra; para no sólo identificar los tipos de sensores a utilizarse en el prototipo sino también ajustar la precisión de los mismos; dando como resultado una alta capacidad de respuesta del sistema.

Palabras clave: Clima, deslizamiento de tierra, vibración, (WSN).

ABSTRACT

The present report of the investigation project shows the development of a communication system through WSN to detect and early alert landslips, starting by a theoretical analysis that allows to collect and debug the necessary information to determine parameters and electronic elements that intervene the implementation prototype.

It can be appreciated the usage of sensors, development boards and communication networks which conforms the system, considering that it satisfies the main object which is alert the vibrations which surpass a threshold value which manifests that a landslide was produced. Furthermore, the usage of three warning methods, GSM communication and Bluetooth WSN.

The rest of climatic factors allow to obtain a clear idea of the environmental panorama allowing in this way in later studies be possible to establish a statistical analysis and inclusive a predictive model; in fact this project is the initiative for future investigations with greater results in the performance and responsiveness.

In the analysis of the affected sector can be seen a sampling of the climatic factors and determine the variables that directly affect a landslide; not only to identify the types of sensors to be used in the prototype but also to adjust the accuracy of them, resulting in a high responsiveness of the system.

Keywords: Weather, Landslide, vibration, WSN.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto se ha desarrollado en 4 capítulos los mismos que están detallados a continuación:

En el primer capítulo se ha establecido la problemática de los diferentes sectores viales en el país, seguidamente se ha establecido el objetivo general y los objetivos específicos que permitieron establecer el desarrollo del presente trabajo de investigación.

En el segundo capítulo se hizo referencia en proyectos anteriores con temáticas referentes al presente tema que sirvieron de referencia para el desarrollo, posteriormente el marco teórico permitió conocer la fundamentación científica que se usó para la selección y designación de los componentes electrónicos.

En el tercer capítulo se establecieron los métodos, técnicas e instrumentos usados en el desarrollo del presente proyecto.

El cuarto capítulo está conformado por el desarrollo de la propuesta en el cual se realizó el análisis del parámetro fundamental siendo la vibración y de factores del clima, reglas para la alerta y el desarrollo del prototipo.

Finalmente se realizaron las conclusiones y recomendación que se deben tener en consideración para un futuro desarrollo e implementación de un prototipo similar o implementación a gran escala.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Tema de Investigación

“Sistema de comunicación mediante WSN para detección y alerta temprana de deslizamientos de tierra”.

1.2 Planteamiento del problema

En el siglo XXI el incremento de la población mundial y el comercio, ha generado una gran demanda de los diferentes medios de transporte, uno de ellos es el terrestre, esto ha incrementado la construcción de carreteras que permitan el libre tránsito de vehículos. El transporte de personas y de mercancías requiere ser cada vez más rápido cómodo y seguro, los sistemas viales representan la evolución y el desarrollo de los países. La industria moderna en mira a la globalización, implica un continuo uso del transporte terrestre dado que es más barato que los demás. [1]

A pesar de que se realizan estudios previos que permitan establecer una carretera óptima que brinde seguridad de la población, mayor acceso y múltiples beneficios adicionales a diferentes sectores, los factores geográficos influyen de forma directa y la convierten en muchos casos en vías muy peligrosas. Según datos del Foro Económico Mundial como los del Banco mundial ubican a algunas naciones de América latina que afrontan problemas en la construcción y mantenimiento vial en países como Haití, República Dominicana, Colombia, Paraguay, entre otros; tienen puntajes muy bajos en infraestructura vial. [2]

La infraestructura vial en el Ecuador ha tenido un desarrollo extraordinario en los últimos años, se han invertido una gran cantidad de recursos económicos en su construcción y mantenimiento, sin embargo 30269 siniestros se han registrados por la Agencia Nacional de Tránsito en el año 2016, producidas por causas fortuitas en las vías en las cuales se encuentran los derrumbes y deslaves. [3] Las irregularidades del terreno por donde se

construyeron las vías afecta a las provincias de la zona central cuando se produce un deslizamiento de tierra, lo que impide el tránsito entre las regiones de la costa, sierra y la amazonia. En el 2016 se reportaron varios deslizamientos en la vía Aloag – Santo Domingo, Baños – Puyo, entre otras.

En gran parte a lo largo de la vía Baños-Puyo se encuentra rodeado de numerosas montañas propensas a los deslizamientos debido al clima con alta humedad y lluvias abundantes que caracterizan al sector, razón por la cual ante el eventual desastre se restringe la circulación vehicular e incluso puede haber pérdidas humanas y materiales.

1.3 Delimitación

Delimitación de Contenidos:

Área académica:	Comunicaciones
Línea de investigación:	Tecnología de la información y de la comunicación.

Delimitación Espacial:

El presente proyecto de investigación tomará como escenario la vía Baños-Puyo de la ciudad de Baños, provincia de Tungurahua, sector cascada Manto de la Novia, y se realizará un prototipo desarrollado de manera independiente en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato.

Delimitación Temporal:

La presente investigación se desarrollará en el periodo marzo – septiembre, 2017 de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de graduación para obtener el título terminal de tercer nivel en la Universidad Técnica de Ambato.

1.4 Justificación

La importancia de la elaboración de un prototipo de sistema de comunicación mediante WSN para detectar y alertar tempranamente sobre deslizamientos de tierra radica en que permitirá salvar vidas humanas y/o evitar pérdidas materiales ante éstos eventuales desastres; añadiendo la capacidad que poseerá de monitorear las 24 horas del día, los 7 días a la semana y los entes de emergencias y seguridad vial podrán evacuar, organizarse mejor y actuar oportunamente evitando mayores siniestros. Se debe señalar además que la vía Baños-Puyo carece de un monitoreo o alerta ante los deslizamientos.

Los beneficiarios directos del proyecto serán los conductores y peatones que transiten por la vía Baños-Puyo, quienes serán informados ante un eventual deslizamiento de tierra precautelando sus vidas y bienes; los beneficiarios indirectos constan los comerciantes y prestadores de servicios.

Es factible institucionalmente pues se cuenta con el apoyo de autoridades de la FISEI las cuales muestran su interés por el desarrollo de éste proyecto el cual ayudará a precautelar vidas humanas; también es factible en el ámbito técnico pues aporta un prototipo diseñado en base a las últimas tecnologías de hardware y software libre; además se considera factible económicamente ya que se pretende construir dicho prototipo a bajo costo con elementos de libre desarrollo, sin perder de vista el rendimiento y capacidad del mismo.

1.5 Objetivos

1.5.1 General

Implementar un prototipo de un sistema de comunicación mediante WSN para detección y alerta temprana de deslizamientos de tierra.

1.5.2 Específicos

- Establecer los parámetros técnicos que producen los deslizamientos de tierra.

- Determinar las características técnicas del sistema electrónico basado en WSN para detección de deslizamientos de tierra.
- Diseñar un prototipo de un sistema de comunicación mediante WSN para la detección y alerta temprana de deslizamientos de tierra.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes Investigativos

Luego de examinar la biblioteca de la facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial y posterior a ello revisar las bases de datos de las diferentes Universidades y Escuelas Politécnicas, y además en Internet, se logró recabar la información relacionada al tema de investigación de las cuales se encontró los siguientes documentos:

El equipo de investigación conformado por Emanuele Intrieri, Giovanni Gigli, Francesco Mugnai, Riccardo Fanti y Nicola Casagli realizaron la en Italia en 2012; este sistema adopta la tecnología WSN, transmisión de los datos vía GPRS, posee trece extensómetros, un termómetro, un pluviómetro y tres cámaras. El sistema adquiere automáticamente datos cada minuto y los carga en un servidor ftp. Sólo se definen tres niveles de advertencia: nivel ordinario, nivel de atención y nivel de alarma. Los resultados se concatenan entre la información empírica, redundancia y promediación de los datos haciendo que el sistema obtenga una buena capacidad de reacción y precisión. [4]

Los investigadores Danilo Vargas, Erika Rodríguez y Jair Otero desarrollaron el proyecto denominado “Alternativas para la detección y monitoreo de amenazas sísmicas basadas en Arduino” en Colombia en 2013, en el cual se adopta tecnología de hardware libre, sensor de vibración, comunicación por medio de Ethernet. Los resultados obtenidos se los aprecia mediante lecturas gráficas en una página web que al vibrar un contenedor con un líquido censa en niveles de vibración. [5]

El investigador Carlos Reinoso desarrolló el proyecto de tesis de grado denominado “Diseño y construcción de un prototipo de sistema de sensores inalámbricos para alerta temprana de deslaves” en Ecuador en 2013, el cual adopta la tecnología Zigbee para transmisión de los datos, tecnología GSM/GPRS para alertar a los usuarios que transisten la vía ante un eventual deslave, acelerómetros, programación en Labview para el

tratamiento de los datos. Los resultados que se obtuvieron fueron un alcance del prototipo con línea de vista por cada transmisor xbee de hasta 105 metros y sin línea de vista de hasta 50 metros. [6]

Los investigadores Jorge Chaves, Néstor Hernández y Marvin Hernández desarrollaron el proyecto denominado “Sistema de monitoreo y alerta ante deslizamientos y deslaves en la comunidad de Jucó de Orosi” en Costa Rica en 2011, en el cual se aplicó el uso de sensores de humedad, placa Waspote de código abierto, placa y software de monitoreo construidos por los investigadores, los datos se recopilan en un servidor y los reenvía vía SMS a los usuarios. En los resultados se pudo apreciar a pesar de que hubo pruebas de funcionamiento fallidas, haciendo que se modifique en parte el sistema y al final se logró acoplar de la mejor manera dando un porcentaje de error menor a 1%. [7]

La investigadora Ana Zambrano desarrolló el proyecto denominado “Arquitectura e Implementación de un Sistema Distribuido de Detección de Sismos para Alerta Temprana” en España en 2013, en el cual se plantea una arquitectura cliente-servidor, de las cuales los clientes son smartphones Android que envían datos sensoriales de sus acelerómetros y posicionamiento GPS que se recopilan en el servidor encargado de detectar y notificar sobre la ocurrencia de un evento sísmico mediante notificaciones PUSH. Los resultados obtenidos fueron que a pesar de que el sistema emplea smartphones se lograron obtener una comunicación en tiempo real garantizando tiempo útil para la toma de una mejor decisión. [8]

2.2 Fundamentación Teórica

2.2.1 Deslizamientos de tierra

Es el movimiento lento de una masa de tierra sobre una superficie la cual depende de diferentes factores [9]:

- De la pendiente
- De la naturaleza plástica del material

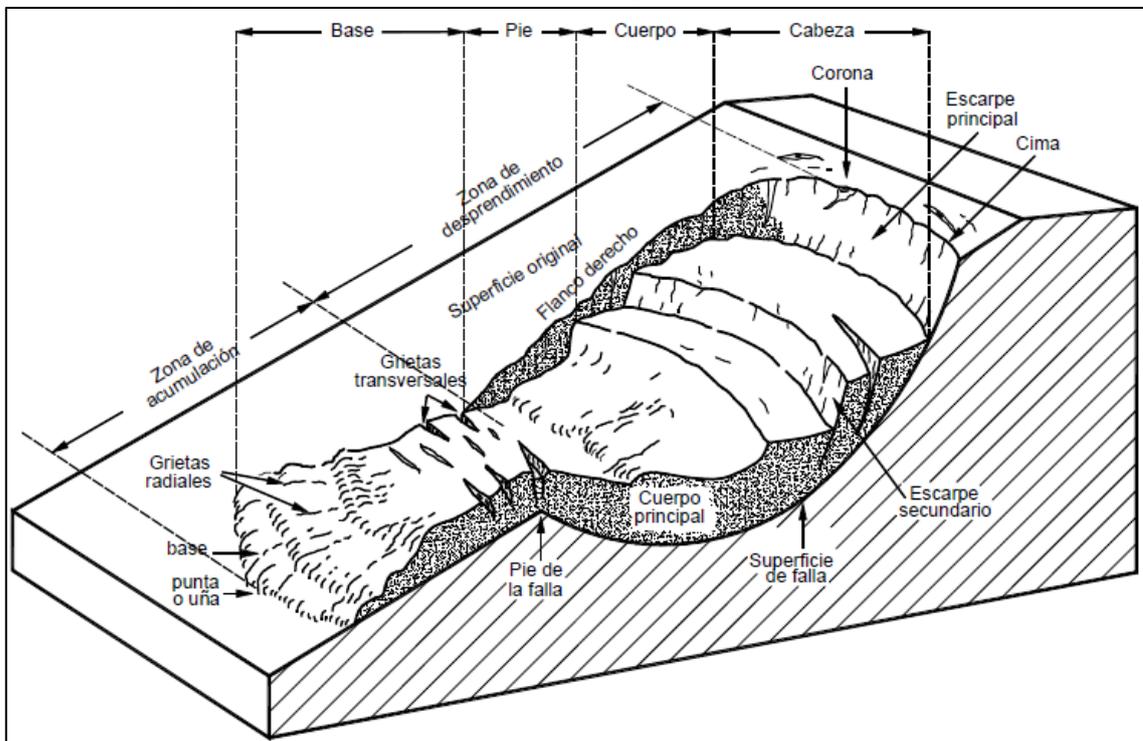
- Del contenido del agua

En el caso de carreteras también pueden ser provocados por las vibraciones que causan los automotores al pasar por un lugar propenso a deslizamientos, especialmente de vehículos pesados que producen mayor vibración.

2.2.1.1 Partes de un deslizamiento

Las partes principales son las siguientes como se representa en la Figura N°. 1 [10]:

Figura N°. 1: Nomenclatura de las partes de un deslizamiento



Fuente : Deslizamientos [10]

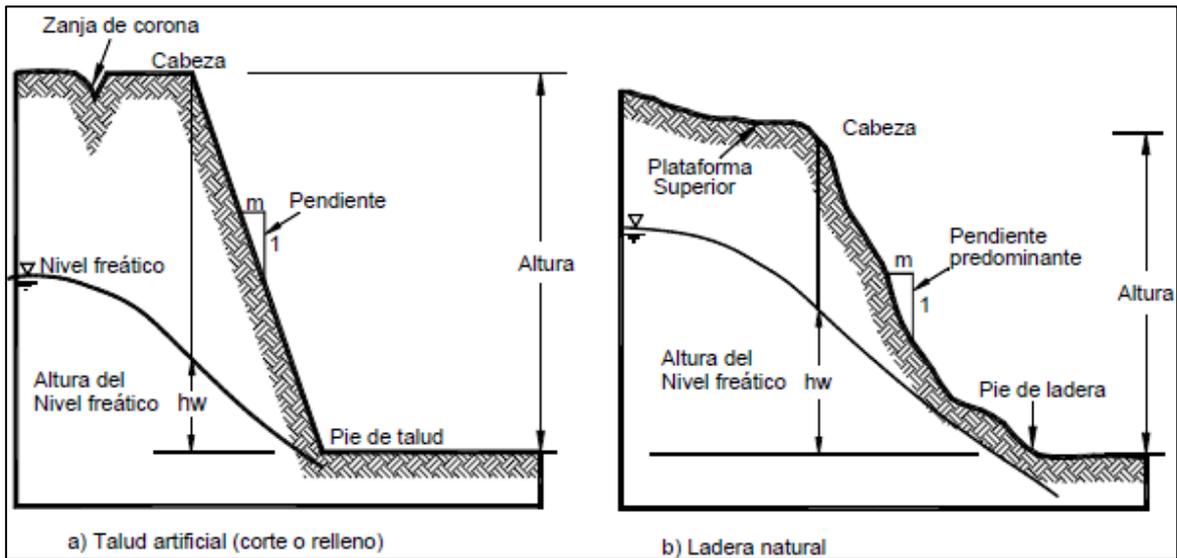
- **Cabeza.** Parte superior de la masa de material que se mueve. La cabeza del deslizamiento no necesariamente es la cabeza del talud.
- **Cima.** Corresponde al punto más alto de la cabeza, en el empalme entre el material perturbado y el escarpe principal.
- **Corona.** Es el material que se encuentra intacto en su sitio, es decir no se ha alterado, contiguo a la parte más alta del escarpe principal, por encima de la cabeza.

- **Escarpe principal.** Área muy inclinada a lo largo de la periferia posterior de la superficie en movimiento, causado por el deslizamiento del material.
- **Escarpe secundario.** Superficie muy inclinada producida por el desplazamiento diferencial dentro de la masa en movimiento y pueden formarse varios escarpes secundarios.
- **Superficie de falla.** Es la superficie debajo del movimiento que delimita la cantidad del material desplazado. El suelo por debajo de la superficie de la falla no se mueve, mientras que el suelo sobre éste, se desliza. En algunos movimientos no hay superficie de falla.
- **Pie de la superficie de falla.** Está en la parte inferior de la superficie de rotura donde se intercepta con la superficie original del terreno.
- **Base.** Se encuentra por debajo del pie de la superficie de falla y está cubierta por el material deslizado.
- **Punta o uña.** Es el lugar de la base que más distanciado se encuentra de la cima.
- **Cuerpo principal del deslizamiento.** El material desplazado que se encuentra por encima de la superficie de falla. Se pueden presentar varias masas en movimiento.
- **Superficie original del terreno.** Es el área intacta de una superficie antes de que se presentara el movimiento.
- **Costado o flanco.** Es el perfil lateral del deslizamiento. Se debe diferenciar el flanco izquierdo y el derecho.
- **Derecha e izquierda.** Es recomendable usar la orientación geográfica (Norte, Sur, Este, Oeste); pero si se usan las palabras derecha e izquierda, deben referirse al deslizamiento visto desde la corona hacia el pie del mismo

2.2.2 Talud

También conocido como ladera, es una aglomeración de tierra que presenta una pendiente o cambios significativos de altura en la misma. En la literatura técnica se define como “ladera” cuando su formación tuvo como origen un proceso natural y “talud” cuando se conformó artificialmente (Figura N°. 2). Se pueden clasificar en tres categorías generales: los terraplenes, los cortes de laderas naturales y los muros de contención. Se pueden presentar combinaciones de los diferentes taludes y laderas. [10]

Figura N°. 2: Nomenclatura de taludes y laderas



Fuente : Deslizamientos [10]

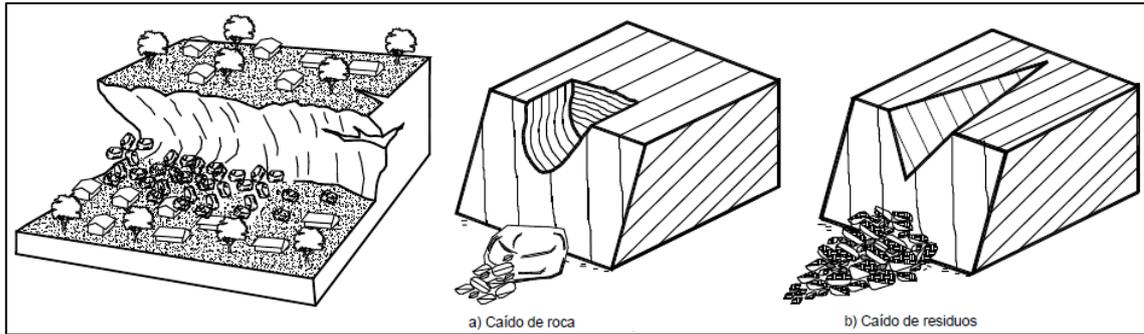
2.2.3 Clasificación de los movimientos

Para la clasificación de los deslizamientos se presenta el sistema propuesto por Varnes (1978), el cual expone los principales tipos de movimiento donde se incluyen los procesos de deterioro o previos a un deslizamiento y es difícil identificar cuándo son procesos de deterioro y cuándo son componentes principales del movimiento del talud. [11]

- **Caído**

Cuando existe el desprendimiento y caída de materiales de cualquier tamaño desde un talud de pendiente pronunciada a lo largo de una superficie en la cual el desplazamiento de corte es mínimo o nulo. Se produce principalmente por caída libre, a saltos o rodando. Los caídos de suelo, en escarpes semiverticales, representan un peligro significativo para los elementos que están debajo del talud. La acumulación del material caído sobre el pie del talud se le denomina escombros o talus y generalmente, se depositan formando “conos”. [10]

Figura N°. 3: Caído o desprendimiento de suelo

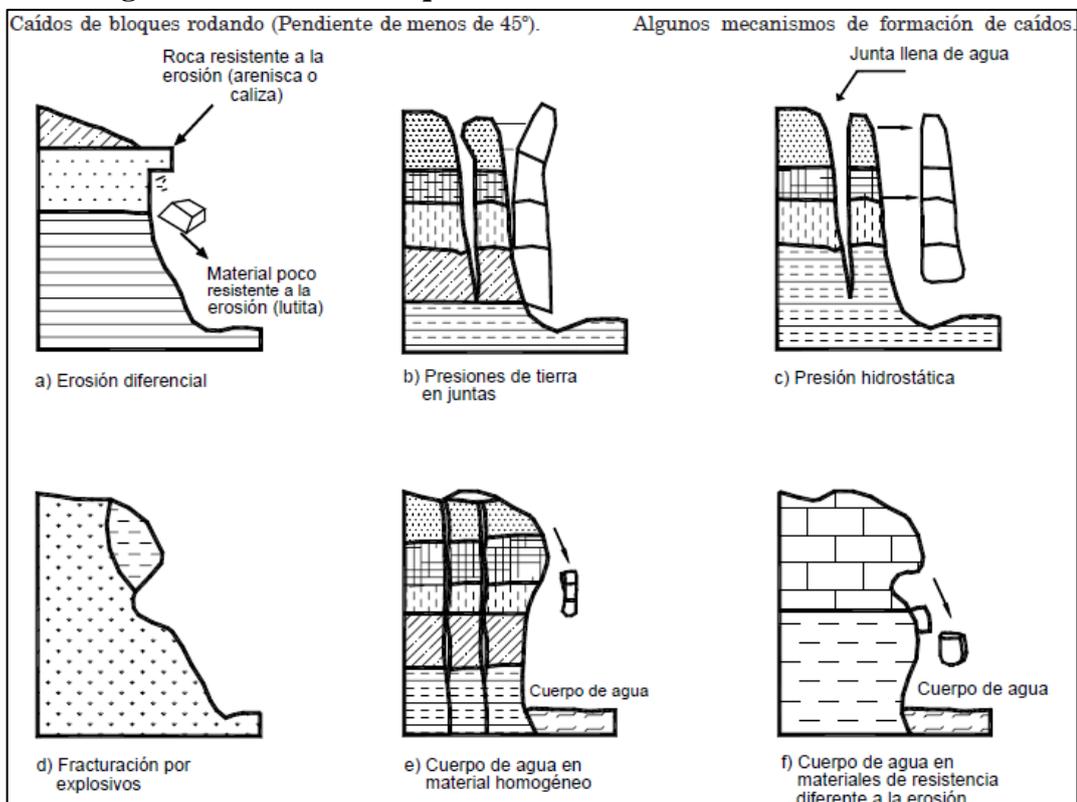


Fuente: Deslizamientos [10]

- **Inclinación o Volcamiento**

Este movimiento consiste en una rotación hacia adelante de una masa de material térreo con centro de giro por debajo del centro de gravedad de la unidad. Generalmente suceden en las formaciones rocosas, pero también, se presentan en suelos cohesivos secos y en suelos residuales (Figura N°. 4). [10]

Figura N°. 4: Procesos que conducen al volcamiento o inclinación

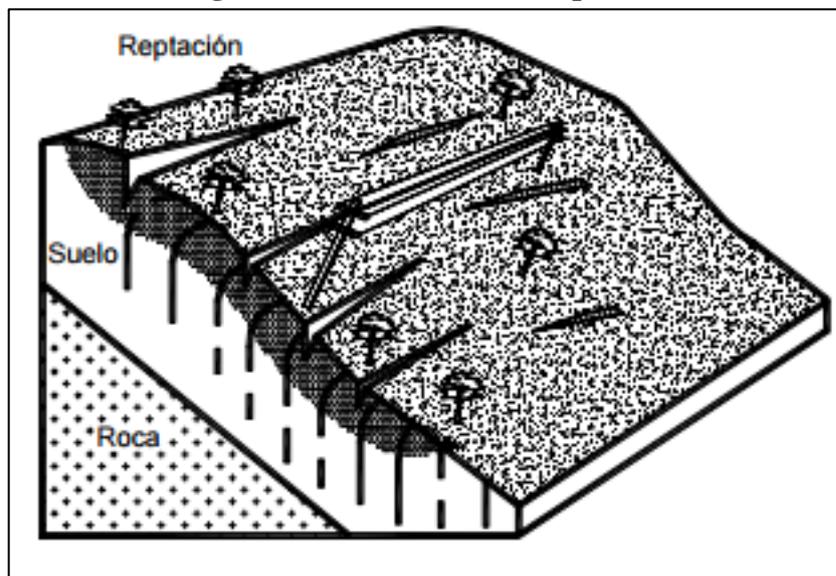


Fuente: Deslizamientos [10]

- **Reptación (“Creep”)**

La reptación o “creep” consiste en movimientos del suelo subsuperficial que se dan desde muy lentos a extremadamente lentos sin una área determinada de falla. La profundidad de éste movimiento se manifiesta a pocos centímetros hasta varios metros. Generalmente, el desplazamiento horizontal es de unos pocos centímetros al año y afecta a grandes áreas de terreno (Figura N°. 5) [10]

Figura N°. 5: Procesos de reptación

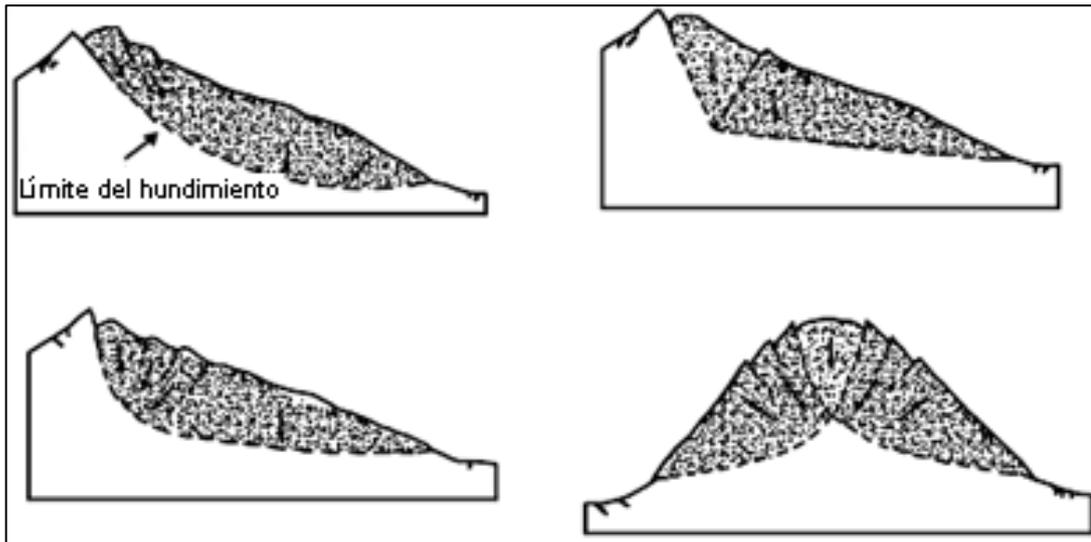


Fuente : Deslizamientos [10]

- **Hundimientos**

Las masas de suelo se mueven generalmente en sentido vertical, en las cuales ocurre una disminución del volumen general del terreno. Los procesos de hundimiento de gran magnitud se clasifican movimientos de deslizamiento, aunque un talud no es necesariamente un pre-requisito. Pueden ser de gran magnitud o relativamente pequeños. Los hundimientos obedecen a varias causas naturales como la deformación geológica llamados en la nomenclatura internacional como “sagging”, consisten en deformaciones profundas de gran magnitud bajo la influencia de las fuerzas gravitatorias. [10] En la Figura N°. 6, se muestran los principales tipos.

Figura N°. 6: Tipos de hundimiento



Fuente : Deslizamientos [10]

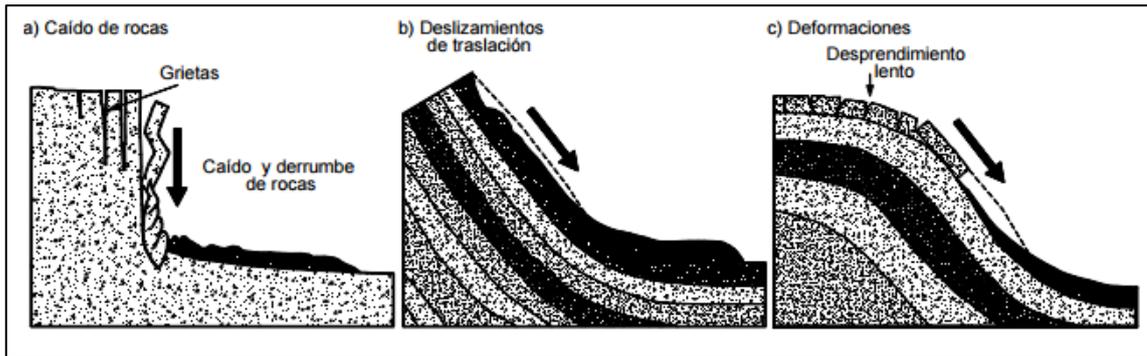
- **Flujos**

Son movimientos relativos de las partículas, o bloques pequeños, dentro de una aglomeración que se desliza sobre una superficie. Las deformaciones internas son muy grandes y fluyen de manera similar a un líquido viscoso. El flujo puede ser laminar a turbulento [10], pueden ocurrir por diversos factores como son:

- a) Lluvias
- b) Deshielo de nevados
- c) Sismos
- d) Alteración de suelos sensitivos

a) Las lluvias: Pueden ocasionar la saturación de los materiales subsuperficiales y convertir el suelo en un fluido viscoso. Algunas superficies, absorben agua rápidamente cuando son alterados, agrietados o fracturados por un deslizamiento anterior y puede conllevar a la formación de un flujo con un determinado volumen de agua presente como en la figura N°. 7.

Figura N°. 7: Generación de flujos de roca



Fuente: Deslizamientos [10]

- b) El deshielo de nevados:** El deshielo de los nevados puede impulsar flujos de materiales volcánicos, conocidos como “Lahares”.
- c) Los sismos:** Provocan un desprendimiento generalizado de bloques de roca que podrían terminar en flujos de suelo o lodo.
- d) La alteración de suelos sensitivos:** Algunos flujos son producto de la variación de suelos demasiado sensitivos como los sedimentos no consolidados.

2.2.4 Caracterización de los movimientos

Es sustancial definir las características que posee un deslizamiento en los siguientes aspectos [10]:

- **Tipo de Material**

Los materiales de un deslizamiento pueden ser:

Roca. Es un material duro y firme que estaba intacto en su lugar, antes de la iniciación de un desplazamiento.

Residuos. Contiene una pronunciada cantidad de material grueso. Se considera que si más del 20% del material en peso es mayor de 2 milímetros de diámetro equivalente, debe llamarse residuos.

Tierra. Se denomina tierra a los materiales donde su mayor parte sean finos, su humedad es respectivamente baja y no tiene consistencia líquida; se incluyen desde arenas a arcillas muy plásticas.

Lodo. Se denomina lodo a un material la mayor cantidad de finos con humedades cercanas o superiores al límite líquido, de tal modo pueden fluir rápidamente.

- **Humedad**

Los términos para definir las condiciones de humedad son los siguientes [10]:

Seco. No contiene humedad visible.

Húmedo. Puede comportarse como un sólido plástico pero no como un líquido ya que contiene algo de agua, pero no posee agua corriente.

Mojado. Se comportar en parte, como un líquido y posee cantidades visibles de agua que pueden salir del material.

Muy mojado. Contiene suficiente agua para fluir como líquido, aún en pendientes poco pronunciadas.

- **Velocidad del Movimiento**

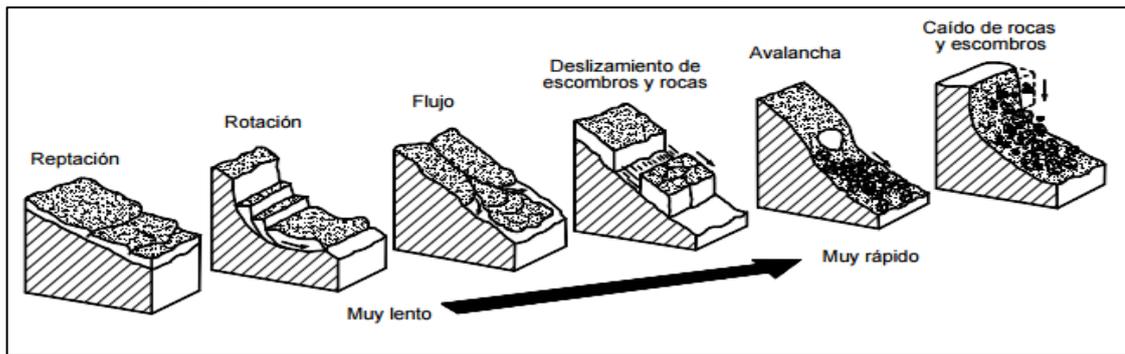
En la siguiente tabla se muestra la escala de velocidades de movimientos:

Tabla N°. 1: Velocidad de movimientos

Clase	Descripción	Velocidad (mm/seg)	Desplazamiento
1	Extremadamente lento	despreciable	despreciable
2	Muy lento	5×10^{-7}	16mm/año
3	Lento	5×10^{-5}	1.6m/año
4	Moderado	5×10^{-3}	13m/mes
5	Rápido	5×10^{-1}	1.8m/hora
6	Muy rápido	5×10^1	3m/min
7	Extremadamente rápido	5×10^3	5m/seg

Fuente: Deslizamientos [10]

Figura N°. 8: Velocidad de acuerdo al tipo de movimiento



Fuente: Deslizamientos [10]

2.2.5 Vibraciones

Es todo movimiento oscilante que efectúa una partícula o masa sobre un punto. Estas vibraciones pueden ser regulares o aleatorias en dirección, frecuencia y/o intensidad [12].

- **Dirección.** Se hace referencia a movimientos en los ejes X, Y, Z; pudiendo suceder en uno, dos o los tres ejes a la vez.
- **Frecuencia.** Si es menor el intervalo entre vibraciones consecutivas existe mayor frecuencia.
- **Intensidad.** Se calcula mediante la velocidad del movimiento (m/s), o de acuerdo a la aceleración (m/s^2). En ocasiones se usa una escala logarítmica expresada en decibelios (dB).

El transporte terrestre puede causar vibraciones en las vías especialmente los vehículos todo terreno, maquinaria y vehículos pesados, pudiendo ser causantes de movimientos de tierra [13]. De tal manera las vibraciones en las vías se pueden clasificar por su origen de la siguiente manera:

- **Origen natural.** Se generan de forma aleatoria por fenómenos naturales difíciles de predecir como: sismos, terremotos, actividad volcánica, viento, lluvias, etc.
- **Origen artificial.** Son el resultado de las actividades humanas como: tráfico vehicular, explosiones, maquinaria, etc.

2.2.6 Tipos de Flujo

Los flujos se clasifican de acuerdo con las características del material deslizado [10].

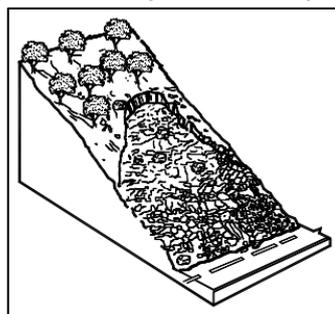
- **Flujos de bloques de roca**

Están compuestos por bloques y cantos de roca donde puede existir o no la presencia de materiales finos. Las pendientes de estos taludes comúnmente son muy empinadas (más de 45°). En un inicio se presentan como caídos o deslizamientos y se transforman a flujos o avalanchas. La pendiente de los flujos es generalmente mayor a 20% y fácilmente puede superar el 100%. Se presenta comúnmente en las rocas ígneas y metamórficas muy fracturadas, como en rocas sedimentarias con ángulos pronunciados de desnivel de los planos de estratificación.

- **Flujos de residuos (Detritos)**

Los flujos de residuos o de detritos son movimientos relativamente rápidos que están compuestos mayormente de materiales gruesos que por lo general termina en uno de residuos (Figura N°. 9). Los materiales se van fraccionando por el mismo proceso del flujo y existe una gran diferencia de tamaños entre la cabeza y el pie del movimiento. Generalmente contienen partículas de diferentes tamaños, árboles y material vegetal, así como varios elementos arrastrados por el flujo. Éste movimiento se activa con las lluvias, debido a la disminución de resistencia o por el desarrollo de fuerzas debido al movimiento del agua subterránea.

Figura N°. 9: Flujos de roca y residuos



Fuente : Deslizamientos [10]

- **Flujo de suelo o tierra**

Son movimientos de materiales donde la mayoría son finos y su consistencia es seca. Se inician como desplazamientos de rotación o traslación y al acumularse los suelos sueltos en la parte inferior del pie del deslizamiento, éstos fluyen sobre la ladera. Pueden ser rápidos o lentos, acorde con la humedad y la pendiente que presentan.

- **Flujos de Lodo**

Su composición es predominantemente de agua llegando al punto de hablar de suelos suspendidos en ella. Los flujos de lodo llegan a velocidades muy altas y poseen grandes capacidades destructivas dependiendo de su caudal y velocidad. Tiene tres unidades morfológicas:

- a) Un origen que generalmente es un deslizamiento
- b) Un camino o canal de flujo
- c) Una zona de acumulación.

- **Avalanchas**

Las avalanchas son flujos que alcanzan grandes velocidades, en las avalanchas el flujo desciende creando una especie de ríos de roca, suelo y residuos diversos (Figura 10). Se relacionan con las lluvias de magnitudes pluviométricas excepcionalmente altas, el deshielo de nevados o los movimientos sísmicos en zonas de altas de montaña y aunque es un factor influyente pero no un pre-requisito la ausencia de vegetación.

Figura N°. 10: Avalancha por deslizamiento



Fuente: Deslizamientos [10]

2.2.7 Dimensiones de los movimientos

Para definir las dimensiones de un movimiento se utiliza la terminología recomendada por el IAEG [10]:

- ✓ Ancho de la masa desplazada (W_d).
- ✓ Ancho de la superficie de falla (W_r).
- ✓ Longitud de la masa deslizada (L_d).
- ✓ Longitud de la superficie de falla (L_r).
- ✓ Profundidad de la masa desplazada (D_d).
- ✓ Profundidad de la superficie de falla (D_r).

2.2.8 Amenaza por deslizamientos

La causa principal de este fenómeno es la presencia de agua superficial o subterránea, por lo tanto, en estaciones lluviosas la cantidad de eventos es mayor. No obstante, otros causantes pueden ser: deterioro de las propiedades mecánicas de los materiales, erosión de taludes por viento y agua, vibraciones, movimientos sísmicos, la ocurrencia de otros deslizamientos junto, bajo o sobre el mismo, deforestación y remoción de vegetación, cortes, desbanques, rellenos y en general el mal uso del suelo y del agua por parte de la personas. A nivel nacional la mayor cantidad de eventos de deslizamiento se producen por la reactivación de uno antiguo que no ha sido estudiado de forma oportuna, en otros casos las condiciones anti-técnicas con las que se elaboran las obras de infraestructura afectan directamente los taludes de una ladera o cuando sobre ella se construyen obras que obstruyan drenajes naturales provocando filtraciones de agua. [14]

Entre los posibles daños directos de un deslizamiento están: destrucción de viviendas, carreteras, sistemas de alcantarillado, puentes, acueductos, poliductos, gasoductos, oleoductos, canales de riego, redes de energía eléctrica, tierras cultivables, etc. ocasionando pérdidas económicas al país. También producen daños indirectos, tales como: represamiento de ríos que a su vez causan inundaciones.

Se debe realizar estudios detallados de áreas potencialmente inestables para identificar este tipo de amenaza, de la misma manera se debe elaborar de mapas de peligro de deslizamientos o de susceptibilidad de deslizamientos.

Tabla N°. 2: Causas de deslizamientos

Factores	Tipos	Características	Causa	Incidencia en deslizamientos
Pendiente	Ladera	Origen natural	Inclinación pronunciada Poca vegetación	En más del 50% de los casos
	Talud	Origen artificial	Humedad alta Vibraciones	Minoritario al tener más control
Naturaleza del material	Roca	Duro y firme	Pendiente > 45°	Incidencia menor
	Residuos	Más del 50% materiales gruesos	Lluvias Vibraciones	Depende de su humedad y pendiente
	Tierra	Más del 50% materiales finos Humedad baja	Humedad Pendiente	Disminuye con la presencia de vegetación
	Lodo	Más del 50% materiales finos Humedad muy alta casi líquida	Acumulación de agua Caudal de agua	Mayor probabilidad al fluir fácilmente
Presencia de agua	Seco	No tiene humedad visible	Lluvias	Con mayor cantidad de agua mayor posibilidades de deslizamiento, también depende de otros factores como inclinación, vibraciones, etc.
	Húmedo	Posee algo de agua pero no corriente	Corrientes subterráneas	
	Mojado	Cantidades visibles de agua que pueden salir del material	Deshielos	
	Muy mojado	Suficiente agua como para fluir como un líquido		
Vibraciones	Origen natural	Fenómenos naturales	Tráfico vehicular Sismos	Provoca movimiento de material que reduce estabilidad
	Origen artificial	Actividades humanas	Lluvias	

Elaborado por: Investigador

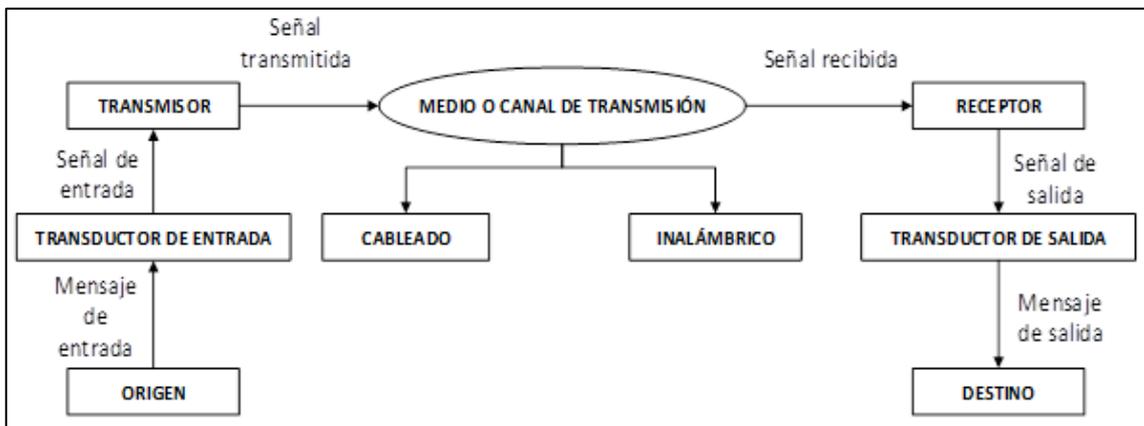
2.2.9 Sistemas electrónicos

Un sistema electrónico es un conjunto de circuitos que realizan el procesado de la información cuando ésta se codifica en formato digital. En otras palabras es aquel que realiza un procesado sobre un conjunto de datos de entrada y produce una información de salida, como resultado de aplicar un algoritmo determinado. El algoritmo en cuestión determina el tipo de sistema electrónico. [15]

2.2.10 Sistemas electrónicos de comunicación

Es el conjunto de dispositivos interconectados entre sí de manera cableada o inalámbrica para llevar información de un nodo a otro; es decir, es la transmisión, recepción y procesamiento de información entre dos o más puntos mediante circuitos electrónicos [16]. El proceso de comunicación se inicia en la fuente por un transductor de entrada hacia el destino mediante un transductor de salida de la siguiente manera.

Figura N°. 11: Proceso de comunicación electrónica



Elaborado por: Investigador

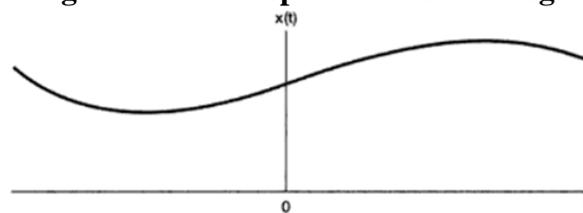
2.2.11 Sistemas electrónicos análogos y digitales

Por lo general los tipos básicos de comunicaciones son analógicas y digitales.

2.2.11.1 Sistema analógico

Las señales se transmiten de manera analógica o continua (valores enteros) tanto de la información como de la portadora. Se representa mediante un voltaje, corriente o movimiento proporcional a cierta cantidad y pueden variar en un rango continuo de valores, como por ejemplo un termómetro de mercurio donde baja o sube equitativamente a la temperatura ambiental. [16]

Figura N°. 12: Representación análoga



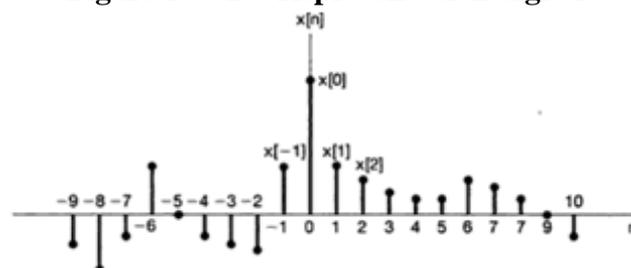
Fuente: Sistemas y señales, Oppenheim A.

Un sistema analógico posee dispositivos que manejan cantidades físicas representadas de manera analógica y pueden variar en un rango continuo de valores como la amplitud de señal que posee.

2.2.11.2 Sistema digital

Las cantidades no se muestran de forma proporcional, sino a través de símbolos llamados “dígitos” que cambian de forma discreta por lo tanto no dan lugar a la ambigüedad cuando se lee un valor, al contrario de las analógicas que permiten una interpretación del mismo. [17]

Figura N°. 13: Representación digital



Fuente: Sistemas y señales, Oppenheim A.

Un sistema digital es un conjunto de dispositivos que manipulan información lógica o valores físicos que estén representados en forma digital, es decir en valores discretos. Los dispositivos son generalmente electrónicos pero también existen mecánicos, magnéticos o neumáticos.

La principal diferencia radica en la forma de representar la información análoga (continua) y digital (discreta), por ejemplo la representación de un reloj analógico se muestra en constante cambio, mientras que un reloj digital muestra la hora en dígitos decimales para horas, minutos y en ocasiones segundos y cambia de acuerdo a éstos en escalones discretos.

2.2.12 Clasificación de sistemas de comunicación por su alcance

De acuerdo a su alcance los sistemas o redes de comunicación pueden darse de dos maneras ya sea por medios guiados (cableado) o no guiados (inalámbrico) como se describe a continuación [18]:

2.2.12.1 LAN

Las redes de área local o LAN por sus siglas en inglés, tienen propiedad privada que se encuentra en un edificio o en un espacio reducido para conectar estaciones de trabajo y computadores personales de instituciones o empresas, Tiene un área de alcance de hasta un kilómetro. Las WLAN, se comunican por medios inalámbricos.

2.2.12.2 MAN

Una red de área metropolitana abarca una ciudad, con una extensión aproximada de diez km de alcance, por ejemplo una red de televisión ya sea por medios cableados o señal por antenas (WMAN).

2.2.12.3 WAN

Estas redes de amplio alcance pueden abarcar países o continentes enteros, normalmente usan varios puntos medios (host) para poder abarcar grandes distancias mediante subredes de comunicación entre ellas. De forma inalámbrica las WWAN usan redes telefónicas, antenas parabólicas, satélites, etc.

Tabla N°. 3: Clasificación de las redes por su alcance

Medio	Red	Ubicación	Alcance	Aplicación
Cableado	LAN	Oficina, edificio	1 km	Conexión por cable a una red de trabajo
	MAN	Ciudad	10 km	Televisión por cable para una ciudad
	WAN	Países, continentes	1000 km	Sistema telefónico fijo
Inalámbrico	WLAN	Edificación	1 km	Wi-Fi
	WMAN	Ciudad	10 km	Conexión por antenas parabólicas
	WWAN	Global	Global	Internet, satélite

Fuente: Redes de computadoras [18]

Las redes WWAN también se subdividen en fijas y móviles [19].

- **FWWAN**

Las redes fijas de amplio alcance conectan puntos fijos sobre una gran distancia entre ellos mediante radioenlace o satélite.

- **MWWAN**

En las redes móviles de amplio alcance las terminales que envían y reciben información están en movimiento; por ejemplo se incluyen entre otras a la tecnología celular para comunicar dispositivos que se encuentran a gran distancia.

Las tecnologías móviles de acuerdo al Ing. Jorge J. Yaguar son las siguientes [19]:

2G: Diseñadas para comunicaciones de voz, mensajería instantánea y, ocasionalmente, para transmitir datos básicos que requieren poco ancho de banda.

2.5G: Basada en las actualizaciones tecnológicas de redes móviles GSM para transmisión de datos. Engloba los sistemas GPRS y EDGE. Permite una velocidad de transmisión de datos entre 56 y 115 kbps para internet y mensajería electrónica (SMS y MMS).

3G: Dispone de banda ancha en telefonía móvil. La generación abarca el sistema UMTS basado en la tecnología WCDMA. UMTS está gestionado por la organización 3GPP versión 4, también responsable de GSM, GPRS y EDGE. La velocidad de transmisión de datos es 1,92 Mbps.

3.5G: Abarca los sistemas HSPA y HSDPA. HSPA15, es la combinación de tecnologías posteriores y complementarias a 3G, como HSDPA o HSUPA. Acepta velocidades máximas de 14,4 Mbps en bajada y hasta 2 Mbps en subida.

4G: Toda la red es IP, combinándola con otros usos y tecnologías, como Wi-Fi y WiMAX. Incluye técnicas inalámbricas de alto rendimiento, como MIMO18 y CDMA para optimizar el acceso. Abarca sistemas LTE.

2.2.13 Sensores y actuadores

Son dispositivos hardware que producen una respuesta medible a cambios en un estado físico en el área que están monitorizando, como puede ser temperatura, presión, vibración, etc. La señal analógica detectada es digitalizada por un convertidor analógico-digital y posteriormente enviada a un controlador para ser procesada.

2.2.13.1 Clasificación generalizada de los sensores

Los sensores pueden estar clasificados en tres categorías: [20]

- **Sensores pasivos omnidireccionales:** Captan datos sin necesidad de manipular el entorno. Son autoalimentados y solo usan la energía para amplificar la señal analógica captada. No hay ninguna noción de dirección involucrada en estas mediciones.
- **Sensores pasivos unidireccionales:** Tienen definida la dirección desde donde deben captar la información. Por ejemplo una cámara.
- **Sensores activos:** Sondean el ambiente, por ejemplo un radar o un sonar o algún tipo de sensor sísmico que generan ondas expansivas a través de pequeñas explosiones.

2.2.13.2 Características y parámetros de los sensores

Todos los sensores sin importar cuál sea su tipo de principio de funcionamiento o qué tipo de variable física sea la que midan, siempre tienen características particulares que los distinguen entre sí. Estas características que diferencian a un sensor con relación a otro son de carácter estático y dinámico. [21]

- Tamaño Reducido
- Consumo de energía bajo
- Operar en densidades volumétricas altas
- Autónomo y funcionar desatendidamente
- Tener capacidad para adaptarse al ambiente

2.2.13.3 Características estáticas

Las características estáticas se refieren a aquellos rasgos que no cambian con el tiempo, entre los cuales se encuentran [21]:

- **Sensibilidad**

Se define como la entrada mínima de señal que requiere un sensor para provocar una salida detectable.

- **Rango**

El rango de un sensor se define como el intervalo presente entre el valor mínimo y el valor máximo de la variable física que puede medir el sensor.

- **Precisión**

La precisión de un sensor se refiere al grado de repetitividad de una medida. Por ejemplo, si se mide la misma variable física con el mismo valor, el sensor siempre deberá entregar exactamente la misma salida cada vez.

- **Exactitud**

Se define como la diferencia máxima entre la salida actual del sensor y el valor real de la variable medida.

- **Linealidad estática**

La linealidad estática de un sensor depende de modo principal de factores ambientales, por lo que se define como la desviación que presenta el sensor entre la curva proporcionada por el fabricante en condiciones controladas y la curva de salida actual.

- **Offset**

El offset en un sensor se define como un corrimiento en el eje y de la curva de salida, el cual se caracteriza por ser siempre igual en ciertas condiciones de operación. De manera alternativa, el offset constituye la salida que presenta un sensor cuando en realidad esta debería ser cero.

- **Resolución**

La resolución de un sensor se define como el cambio más pequeño en la variable física que le es posible registrar.

2.2.13.4 Características dinámicas

Las características dinámicas son aquellas que describen al sensor en función del tiempo, entre las cuales están [21]:

- **Tiempo de respuesta**

El tiempo de respuesta se define como el periodo que transcurre desde que la variable sensada presenta un cambio de estado y el sensor lo registra. El tiempo de respuesta depende del tipo de magnitud que se esté midiendo y del sensor utilizado.

- **Histéresis**

La histéresis en un sensor es la capacidad que tiene el sensor para seguir a la curva de salida ideal debido a la tendencia de los cambios de la variable física.

- **Linealidad dinámica**

La linealidad dinámica de un sensor es la capacidad que tiene este para seguir correctamente la curva de salida dada por el fabricante cuando la variable física experimenta cambios repentinos y muy rápidos.

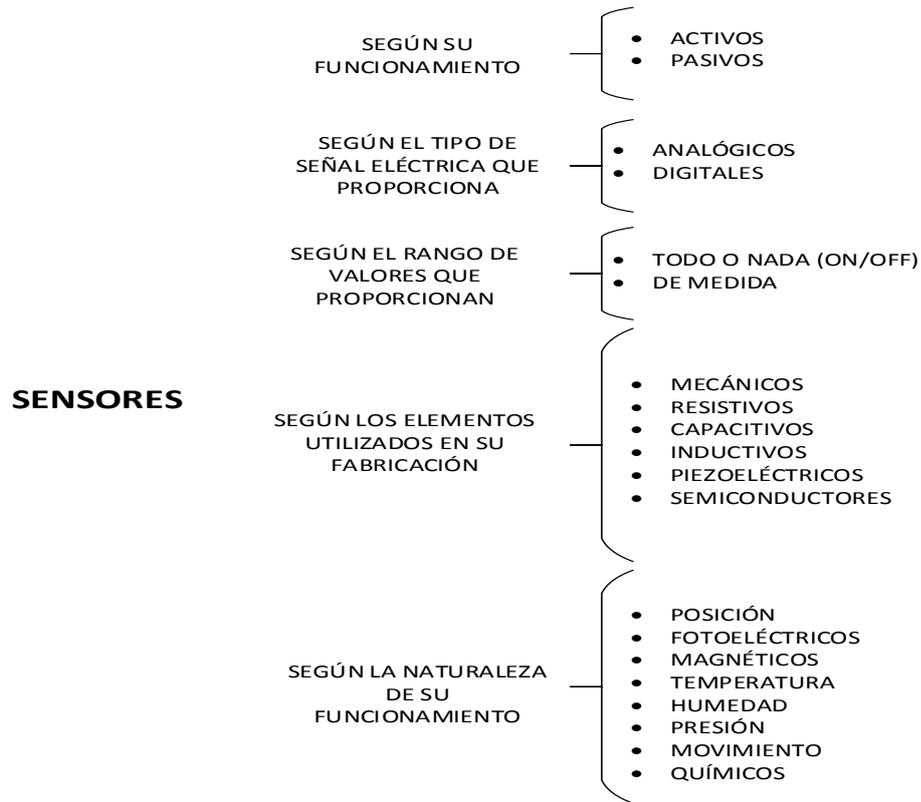
- **Error dinámico**

Un error dinámico en un sensor puede ser causado por varias razones, y entre las más comunes destacan las cargas inducidas en el sensor debido a los aparatos de medición.

2.3 Clasificación de los sensores

Existen varios tipos de sensores en el campo, estos pueden ser según el tipo de señal de salida o según la magnitud física a detectar. Dentro de estos parámetros la clasificación de los sensores es la siguiente [21]:

Figura N°. 14: Clasificación de los sensores



Elaborado por: Investigador

Los sensores según el principio de funcionamiento se pueden clasificar en [22]:

- **Activos**

Requieren de una fuente externa de energía de la que reciben alimentación de corriente para su funcionamiento.

- **Pasivos**

No requieren de una fuente de energía externa, sino que las propias condiciones medioambientales son suficientes para que funcionen según su contenido.

Según el tipo de señal eléctrica enviada se pueden clasificar en dos tipos [22]:

- **Digitales**

Trabajan con señales que adoptan dos posibles valores el máximo (1) y el mínimo (0). También son denominados comúnmente sensores todo o nada.

- **Analógicos**

Envían una señal dentro de un rango de valores. Este tipo de sensores permiten realizar diferentes acciones en función del valor enviado.

Según el rango de valores que proporciona se clasifican en [22]:

- **Todo o nada ON/OFF**

También conocidos como sensores si-no, sensores 0-1, sensores on-off, o sensores binarios son en general dispositivos mecánicos simples.

- **De medida**

Se definen como sensores que obtiene una salida proporcional a la señal de entrada.

Según los elementos utilizados en su fabricación los tipos de sensores se pueden clasificar en: [23]

- **Mecánicos**

Son aquellos que utilizan contactos que se abren o se cierran.

- **Resistivos**

Se definen como aquellos que utilizan en su fabricación elementos resistivos.

- **Capacitivos**

Son sensores en los cuales su fabricación está hecha a base de condensadores.

- **Inductivos**

Son sensores en los cuales su fabricación está hecha a base de bobinas.

- **Piezoeléctricos**

Son aquellos que en su fabricación utilizan cristales como el cuarzo.

- **Semiconductores**

Son sensores en los cuales utilizan en su fabricación semiconductores.

Según el tipo de variable física medida se clasifican en [22]:

- **Posición**

Son aquellos que experimentan variaciones en función de la posición que ocupan en cada instante los elementos que lo componen.

- **Fotoeléctricos**

Son dispositivos que experimentan cambios en función de la intensidad de luz que incide sobre ellos.

- **Magnéticos**

Son aquellos que experimentan variaciones en función del campo magnético que les atraviesa.

- **Temperatura**

Son dispositivos que experimentan variaciones en función de la temperatura del lugar donde se encuentren ubicados.

- **Humedad**

Son aquellos que experimentan variaciones en función del nivel de humedad existente en el medio en que se encuentren.

- **Presión**

Son aquellos que experimentan variaciones en función a la fuerza por unidad de superficie a la que son sometidos, transformándola en una magnitud eléctrica.

- **Movimiento**

Son dispositivos electrónicos que experimentan variaciones en función de los movimientos a que son sometidos.

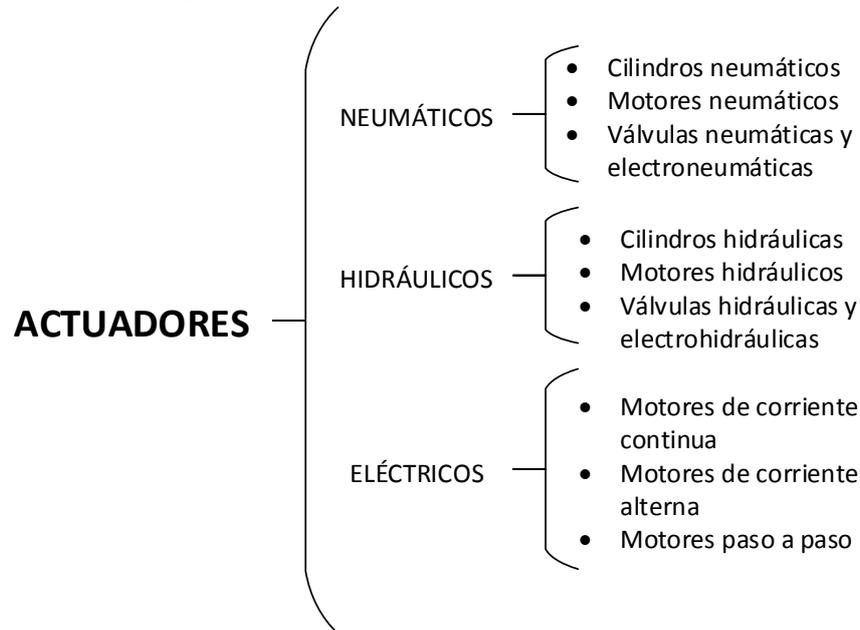
- **Químicos**

Son aquellos que experimentan variaciones en función de los agentes químicos externos que pudieran incidir sobre ellos.

2.3.1 Actuadores

Un actuador es un dispositivo con la capacidad de generar una fuerza que ejerce un cambio de posición, velocidad o estado de algún tipo sobre un elemento mecánico, a partir de la transformación de energía. [21]

Figura N°. 15: Clasificación de los actuadores



Fuente: Sensores y actuadores [21]

- Actuadores Neumáticos

Los actuadores neumáticos transforman la energía acumulada del aire comprimido en trabajo mecánico de movimiento rotatorio o movimiento rectilíneo. Por lo general estos se clasifican en:

- **Cilindros neumáticos**

Sirven en general para inducir un movimiento lineal de algunos elementos mecánicos, los cuales conforman un sistema integral en el que interactúan diversos dispositivos con la finalidad de automatizar un proceso.

- **Motores neumáticos**

Son elementos con la capacidad de generar energía mecánica de rotación a partir de la fuerza del aire comprimido que ingresa a un área hermética del actuador el cual al expandirse provoca una fuerza contra los álabes de un mecanismo de rotación.

- **Actuadores Hidráulicos**

El funcionamiento de los actuadores hidráulicos es similar al de los actuadores neumáticos, ya que ambos son elementos que convierten la energía acumulada de un fluido a presión en trabajo mecánico de movimiento circular o rectilíneo. Con la única diferencia que en el caso de los actuadores hidráulicos, el fluido a presión que se utiliza no es el aire, sino algún tipo de aceite mineral. Por lo general estos se clasifican en:

- **Cilindros hidráulicos**

Son también llamados motores lineales, porque inducen un movimiento lineal a los dispositivos mecánicos acoplados a los mismos.

- **Motores hidráulicos**

Este tipo de dispositivo genera una fuerza de torsión a partir de la presión que se encuentra presente en un fluido, lo que a su vez, provoca un desplazamiento angular sobre un eje de giro; de este modo, si el sentido de flujo cambia, también cambia el sentido de giro.

- **Actuadores eléctricos**

Los actuadores eléctricos convierten la energía eléctrica en energía mecánica, ya sea rotacional o lineal. Por lo general los actuadores eléctricos se clasifican de acuerdo al tipo de energía eléctrica con la que son alimentados, por el tipo de movimiento que genera, como se va a detallar continuación:

- **Motores de corriente directa**

Los actuadores de corriente directa demandan un flujo eléctrico de corriente que circula en un solo sentido, estos actuadores están constituidos por dos partes conocidas comúnmente como rotor y estator. El rotor constituye la parte móvil del actuador, además de que es la parte que proporciona la que actúa sobre el elemento mecánico. Por su parte, el estator constituye la parte fija del actuador y es aquella que provee el magnetismo necesario para inducir la fuerza electromotriz.

- **Motores de corriente alterna**

Los actuadores de corriente alterna funcionan de acuerdo a un flujo eléctrico en el cual la intensidad cambia de dirección periódicamente, esto como resultado del cambio periódico de polaridad de la tensión aplicada en los bordes de alimentación del motor.

- **Motores paso a paso**

El motor paso a paso funciona con el mismo principio físico fundamental de los actuadores de CD y CA, solo que este tipo de actuador electromecánico convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos, lo cual implica que es capaz de avanzar un determinado valor en grados del eje motriz dependiendo de las entradas de control.

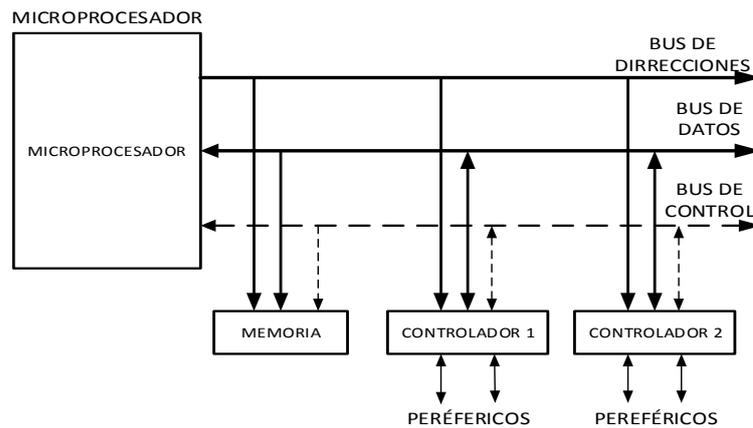
2.4 Microprocesadores y Microcontroladores

Aunque no los observemos, los microcontroladores y microprocesadores están en todo dispositivo electrónico que utilizamos. Son chips capaces de solucionar tareas de diversa complejidad. Sus aplicaciones pueden ser infinitas y se encuentran en la industria, la domótica, las comunicaciones y la robótica.

2.5 Microprocesador

Es un circuito lógico que responde y procesa las operaciones lógicas y aritméticas que hacen funcionar a nuestros computadores, está constituido por millones de microtransistores en una pastilla de un material denominado silicio. [24]

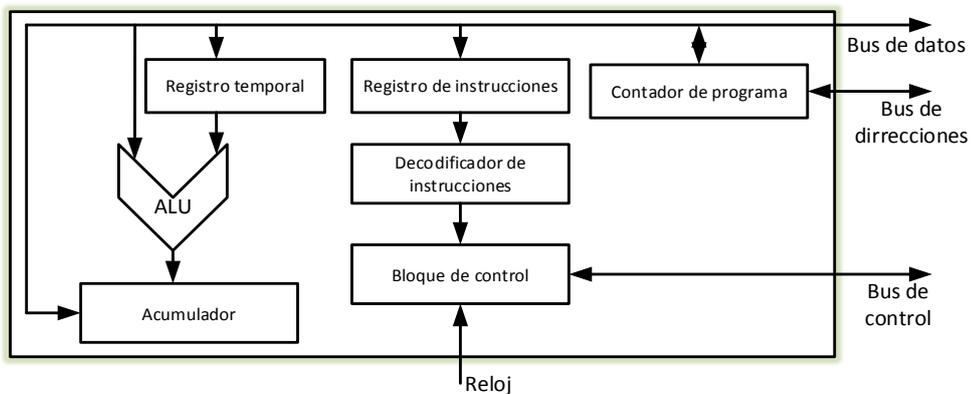
Figura N°. 16: Estructura de un microprocesador



Fuente: Microcontroladores PIC [24]

Los microprocesadores están diseñados para interpretar y ejecutar las instrucciones que nosotros les indiquemos y que suelen ser operaciones simples, como sumar, restar, multiplicar y dividir. El listado de instrucciones recibe el nombre de programa, que las ejecuta una por una por medio del microprocesador.

Figura N°. 17: Componentes que integran un microprocesador



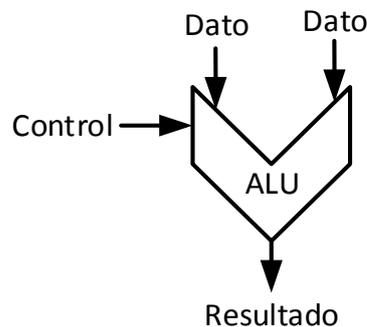
Fuente: Microcontroladores [25]

En el diagrama básico de un microprocesador, el elemento principal es el ALU (unidad aritmética lógica), que realiza las operaciones lógicas y aritméticas que requieren los procesos para su ejecución. Este diagrama también consta de registros para el almacenamiento temporal de los datos; el contador de programa que contiene la dirección de memoria de la siguiente instrucción por ejecutar; un registro de instrucciones que almacena el código de la instrucción en ejecución y el bloque de control. [25]

- **Unidad lógica programable**

La ALU se ocupa de realizar las operaciones necesarias con los datos, éstas son la suma y la sustracción de números enteros, las operaciones lógicas, como AND, OR y NOT, y las operaciones de desplazamiento de bits. La unidad posee una entrada de control desde donde la unidad de control le indica cuál es la operación que debe realizar.

Figura N°. 18: Esquema de una ALU



Fuente: Microcontroladores [25]

- **Contador de programa**

Básicamente es un registro contador que acumula su cuenta con cada ejecución de una instrucción. El contenido de este registro contador apunta a la dirección donde reside la instrucción que desea ejecutar en la memoria del programa.

- **Registros**

Se encarga de almacenar temporalmente los datos de las instrucciones que están ejecutando en ese momento la ALU.

- **Memoria de programa**

Para realizar una tarea específica, un microprocesador necesita de un programa que le indique, instrucción por instrucción, cuales son los pasos que debe cumplir. Este programa reside en una memoria externa al procesador llamada memoria de programa. Su característica principal es que no debe perder su contenido cuando el sistema carece de energía.

- **Memoria de datos**

Es una memoria externa que se encarga de almacenar la información que precisa el procesador para ejecutar las operaciones que le indiquemos.

- **Reloj**

Los componentes de un microprocesador trabajan de una manera sincronizada por impulsos, el reloj es el encargado de generar los pulsos para que los elementos se sincronicen.

- **Unidad de control**

Es la unidad encargada de coordinar el funcionamiento de todos los componentes que integran un microprocesador, indicando el orden para su operación en cada instante.

- **Decodificador de instrucciones**

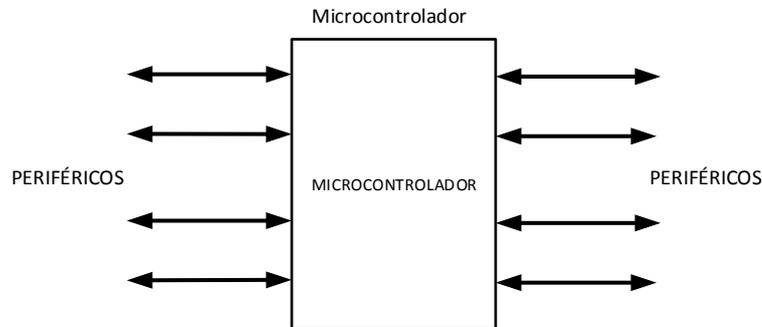
Lleva a cabo la decodificación de las instrucciones para determinar a qué instrucción corresponde la secuencia de bits que acaba de leer y saber de esta forma que acción debe realizar el procesador con los datos leídos.

2.6 Microcontrolador

Un microcontrolador es un circuito integrado, en cuyo interior posee toda la arquitectura de un computador, esto es CPU, memorias RAM, EEPROM, y circuitos de entrada y salida. Este se emplea para controlar el funcionamiento de una tarea determinada y, debido a su reducido tamaño, suele ir incorporado en el propio dispositivo al que controla.

La desventaja de estos son las limitadas prestaciones, porque está contenido en un chip de un circuito integrado y se destina a controlar una sola tarea específica. [25]

Figura N°. 19: Esquema de un Microcontrolador



Fuente: Microcontroladores [25]

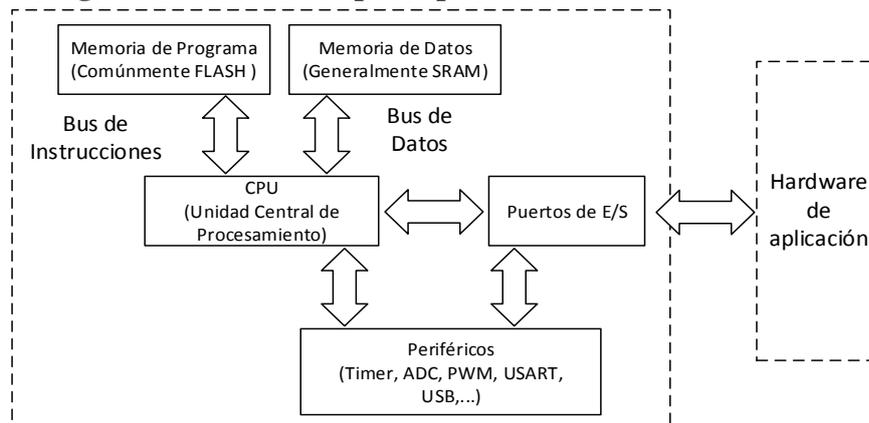
- **Arquitectura Interna**

Un microcontrolador posee todos los componentes de un computador, pero con unas características fijas que no pueden alterarse. [25]

Las partes principales de un microcontrolador son:

- Procesador
- Memoria no válida para contener el programa
- Memoria de lectura y escritura para guardar los datos
- Líneas de E/S para los controles de periféricos.
 - Comunicación paralelo
 - Comunicación serie
- Recursos auxiliares
 - Circuito de reloj
 - Temporizadores
 - Conversores AD y DA
 - Comparadores analógicos
 - Estado de reposo o de bajo consumo
 - Perro guardián (<watchdog>)

Figura N°. 20: Partes principales de un microcontrolador



Fuente: Microcontroladores [25]

- Componentes especiales de un microcontrolador

En muchas aplicaciones, se requiere algo más que los pines de entrada y salida para controlar algún proceso, por ende los fabricantes de microcontroladores han adicionado ciertos componentes especiales en sus dispositivos, a continuación se detallara algunos de ellos [25]:

- Para desarrollar aplicaciones con las salidas PWM (Modulación por ancho de pulso) en control de motores DC o cargas resistivas, se encuentran en el mercado varios microcontroladores con estas características.
- En el caso de que una aplicación necesite establecer comunicación entre microcontroladores o con un computador se puede disponer de una interfaz serial RS-232.
- Algunos microcontroladores tienen conversores análogo a digital, en caso de que se requiera medir señales no digitales, como por ejemplo temperatura, voltaje, luminosidad, etc.
- En el caso de requerir atender aplicaciones en tiempo real o se tiene procesos que no dan espera, se utiliza la llamada técnica de “interrupciones”, cuando una señal externa activa una línea de interrupción, el microcontrolador pone en segundo plano la tarea que está ejecutando, para atender una situación especial y luego regresar con la labor que estaba desempeñando.

- En caso de que se requiera medir periodos de tiempo entre eventos, generar temporizaciones o salidas con frecuencia específica, algo muy común en electrónica, los microcontroladores disponen de uno o varios temporizadores programables.
- Para implementar aplicaciones donde los datos no se alteren a pesar de que se retire la alimentación, se puede usar un microcontrolador con memoria EEPROM, que es un tipo de memoria ROM que se puede programar o borrar eléctricamente sin necesidad de circuitos especiales.

2.6.1 Microcontrolador PIC 16F

Los PIC16F son una de las familias de microcontroladores de 8 bits más populares en el mercado. Son fabricados por la firma Microchip y se ofrecen con una amplia gama de funcionalidades, destacándose por su simplicidad y bajo consumo.

Los microcontroladores PIC16F pertenecen a la familia de rango medio de 8 bits de Microchip. Poseen 35 instrucciones, procesador de filosofía RISC (Set de Instrucciones Reducidas), buses de arquitectura Harvard, construidos en pastillas de tecnología CMOS, Frecuencia de operación hasta 20 MHz, hasta 14 KB de memoria Flash de programa, conversores A/D integrados y manejo de interrupciones. [25]

2.6.2 Microcontrolador PIC 18F

Los PIC18F son los sucesores de la familia PIC16F, incorporan una gran cantidad de cambios que han transformado al PIC en el mejor controlador de 8 bits. Poseen un repertorio de 75 instrucciones en modo estándar, más 8 instrucciones especiales que solo trabajan cuando el microcontrolador opera en modo extendido (con memoria de programa interna y externa). El procesador es RISC (set de instrucciones reducidas), buses (datos y direcciones) de arquitectura Harvard, construido en pastilla de tecnología CMOS, frecuencia de operación de hasta 40 MHz, hasta 32 KWord de memoria flash de programa, convertidores A/D integrados y manejo de interrupciones. Son ideales para iniciarse en la programación de dichos dispositivos. El nuevo set de instrucciones, que aumenta la capacidad de las 35 de la familia PIC16F, le permitía al programador del lenguaje Assembler una mayor comodidad al realizar el código. Uno de los detalles más

importantes que presenta PIC 18F está pensado para programar en lenguaje de alto nivel, como C, y fue por eso que Microchip desarrollo el hardware a la vez que lo hacía con el compilador. El PIC18F se convirtió en el primer microcontrolador diseñado para ser programado en el lenguaje C. [25]

2.6.3 Microcontrolador AVR

Lo AVR son una familia de microcontroladores RISC del fabricante estadounidense Atmel. Los AVR son principalmente utilizados en placas Arduino pero también son utilizados en otras gamas de Atmel y de Intel. Su diseño está basado en la arquitectura Harvard que se refiere que la unidad central de proceso tiene por separado la memoria de programa y la memoria de datos.

El núcleo del AVR cuenta con 32 registros en forma general, todos estos registros son conectados directamente a la ALU o unidad lógica-aritmética proporcionando que dos registros puedan ser localizados en una sola instrucción (en un ciclo de reloj), y que el resultado de la operación sea almacenado en uno de estos registros, lo que permite una mejor eficiencia y un mejor rendimiento al comparar con otros microcontroladores convencionales. [25]

2.7 Telefonía celular

La telefonía celular puede ser definida como un sistema de transmisión, por el que un usuario dispone de un terminal que no es fijo y no tiene cables, y le permite gran movilidad y localización en una amplia área geográfica donde se encuentra la red.

Las generaciones de la telefonía celular se mencionan a continuación [26]:

2.7.1 Primera generación (1G)

La primera generación de la telefonía móvil hizo su aparición en 1979, se caracterizó por ser analógica y estrictamente para voz. La calidad de los enlaces de voz era muy baja, velocidad de 2400 bauds, la transferencia entre celdas era muy imprecisa, tenían baja

capacidad, el tipo de acceso al medio que utilizaban era FDMA o acceso múltiple por división de frecuencia y no existía seguridad. La tecnología que predominaba en ésta generación era AMPS.

2.7.2 Segunda generación (2G)

Esta generación marco el paso de la telefonía analógica a la digital, que permitió, mediante la introducción de una serie de protocolos, la mejora del manejo de llamadas, más enlaces simultáneos en el mismo ancho de banda y la integración de otros servicios adicionales al de la voz, de entre los que se destaca el servicio de mensajería. Estos protocolos fueron desarrollados por varias compañías, siendo esta la razón la que ocasionó uno de los principales problemas en esta generación el cual fue la incompatibilidad entre protocolos, debido a que el radio de utilización del teléfono quedaba limitado al área en el que su compañía le diera soporte.

Los estándares utilizados en esta generación fueron GSM, CDMA, y GPRS.

2.7.3 Tercera generación (3G)

La tercera generación fue la que generó la convergencia de la voz y datos con acceso inalámbrico a Internet, aplicaciones multimedia y altas transmisiones de datos. Los protocolos utilizados en sistemas 3G soportan altas velocidades de información enfocados para aplicaciones más allá de la voz tales como audio MP3, video en movimiento, videoconferencia y acceso rápido a Internet, sólo por nombrar algunos.

Este conjunto de nuevos servicios integrados en el terminal junto con un nuevo estándar dieron el paso a la aparición de celulares que incorporaban pantallas LCD a color. El estándar utilizado en esta generación fue UMTS.

2.7.4 Cuarta generación (4G)

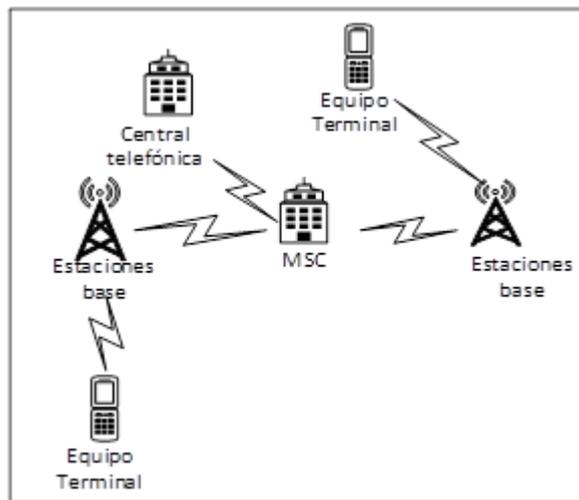
Se refiere a la tecnología móvil que nos brinda mayor acceso a la red y mayor capacidad en el uso de datos, la 4G brinda facilidades para que los usuarios puedan acceder a varios

servicios como telemedicina, teletrabajo, voz sobre internet y diversas aplicaciones, para el funcionamiento de esta tecnología se requiere de una infraestructura especial.

La generación 4G incluye técnicas de avanzado rendimiento como MIMO y SDR; este tipo de tecnología propone una fácil operatividad, rápida transferencia de multimedia y acceso a internet. [27]

2.7.5 Componentes de una red celular

Figura N°. 21: Esquema de una red celular



Elaborado por: Investigador

Los elementos básicos de un sistema celular se muestran en la Figura N°.21, en donde se puede apreciar los principales bloques que lo constituyen y se detallan a continuación [28]:

- **Central telefónica**

Red telefónica pública conmutada o PSTN es una red en la que los terminales telefónicos se comunican con una central de conmutación a través de un solo canal compartido.

- **MSC (Centro de Conmutación de Servicios Móviles)**

Esta cumple la función de interconectar usuarios de la red fija con los móviles o de estos entre sí. Mantiene las bases de datos para tratar las peticiones de llamada de los abonados.

- **Estación base**

Es aquella que contiene los transmisores y receptores para cubrir una determinada área geográfica (una o más celdas).

- **Equipo terminal**

Es el terminal de usuario/teléfono móvil, que se comunica con la red a través de un interface de radio.

2.8 WSN (Wireless Sensor Network)

Red de sensores inalámbrica o WSN es una red inalámbrica de dispositivos de sensorización. Las WSN son sistemas distribuidos contruidos a base de dispositivos de bajo consumo de energía, con capacidades de sensado y comunicación. Los dispositivos que conforman dichas redes se les denominan nodos sensores y están limitados en su capacidad computacional y de comunicación. Sin embargo trabajan de forma colaborativa para llevar la información de un punto a otro de la red transmitiendo mensajes cortos de un nodo a otro. [29]

Las redes WSN pueden estar constituidas por cientos o miles de nodos sensores, y la mayor parte de las aplicaciones de las WSN están relacionadas al monitoreo y detección de fenómenos ambientales.

Las WSN pueden incluir también otro tipo de dispositivos denominados actuadores cuya función principal es la de realizar acciones físicas en respuesta a algún evento.

2.8.1 Características de las redes WSN

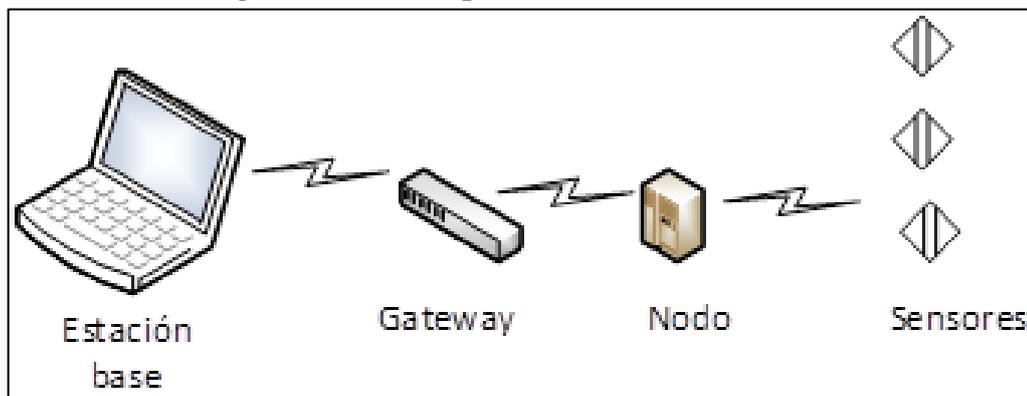
Las cualidades principales que caracterizan a una red WSN son las siguientes [29]:

- Tiempo de vida
- Cobertura de la red
- Coste y facilidad de instalación

- Tiempo de respuesta
- Precisión y frecuencias de las mediciones
- Facilidad de sincronización
- Robustez
- Seguridad
- Capacidad de comunicación
- Gasto de energía
- Seguridad

2.8.2 Partes de una red WSN

Figura N°. 22: Arquitectura de una red WSN



Fuente: Wireless Sensor Network [29]

- **Estación base**

Recolecta los datos, por lo general se trata de un ordenador común o sistema embebido, se encarga del procesamiento de la señal.

- **Gateway**

Es el dispositivo que se encarga de la interconexión entre la red de sensores y una red de datos.

- **Nodo**

Dispositivo encargado de tomar los datos del sensor y enviar la información a la estación base.

- **Sensores**

Dispositivos encargados de recoger la información del medio y convertirla en señales eléctricas.

2.8.3 Aplicaciones de las redes WSN

Las redes WSN hacen posible una multitud de aplicaciones de control y motorización para una gran gama. [30]

- Entornos domésticos
- Entornos urbanos
- Entornos industriales
- Agricultura de precisión
- Agricultura ecológica
- Medición de características físicas de pacientes
- Control de la seguridad de un perímetro
- Monitorización continua o esporádica de entornos y situaciones críticas
- Medición continua de entornos que requieren de unas características ambientales especiales.

2.9 Lenguajes de programación

Los lenguajes de programación es el conjunto de símbolos, reglas sintácticas y semánticas que definen su estructura, usados para crear programas que controlen el comportamiento físico y lógico de una máquina o dispositivo. Es el proceso de escritura, prueba, depuración y compilación manteniendo el código fuente de un programa informático, se puede decir que es la forma en que las personas den instrucciones a los equipos.

Existen varios lenguajes de programación de los cuales se mencionan los más relevantes al momento de programar [31].

2.9.1 Lenguaje C

Inicialmente C era ampliamente usado para el desarrollo del sistema operativo UNIX, actualmente la mayoría de ellos están escritos en C y/o C++ ya que es independiente del hardware. Algunas características del lenguaje son:

- Tamaño pequeño.
- Uso extensivo de llamadas a funciones.
- Comandos breves
- Lenguaje estructurado
- Lenguaje muy flexible
- Programación de bajo nivel
- Implementación de apuntadores - uso extensivo de apuntadores para la memoria, arreglos, estructuras y funciones

2.9.2 Lenguaje C++

Éste lenguaje fue desarrollado por Bjarne Stroustrup siendo la versión mejorada de C que proporciona capacidades para programación orientada a objetos convirtiéndose en dominante en industrias y universidades, los objetos son partes reusables de software que modelan elementos reales haciéndolos más productivos.

2.9.3 Plataforma Arduino

Es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto (open-source) establecida en hardware y software flexibles y fáciles de utilizar. Está orientado a crear objetos o entornos interactivos. Arduino puede “sentir” el entorno mediante la recepción de información desde una variedad de sensores y puede interactuar con su alrededor mediante el control de motores, luces y otros artefactos. El microcontrolador de la placa se programa usando el “Arduino Programming Language” (basado en Wiring) y el “Arduino Development Environment” (basado en Processing). Las placas se pueden ensamblar manualmente o adquirirlas ensambladas; el software se puede adquirir gratuitamente. [32]

Algunas características son las siguientes:

- **Bajo Costo:** Las placas Arduino son comparativamente baratas en relación con otras placas microcontroladoras.
- **Multiplataforma:** Se ejecuta en sistemas operativos Windows, Macintosh OSX y GNU/Linux.
- **Entorno de programación simple y sencillo.**
- **Software libre y extensible:** La plataforma Arduino está publicada como herramientas de código abierto que puede ser expandida mediante librerías de C++.
- **Hardware escalable:** Arduino está basado en microcontroladores ATMEGA8 y ATMEGA168 de ATMEL.

2.10 Estaciones Meteorológicas

Las observaciones meteorológicas son utilizadas para recabar información de diferentes variables físicas y ambientales que permiten realizar investigaciones. Las estaciones meteorológicas deben cumplir con una representación en función del producto o información que se requiere para los fines destinados.

2.10.1 Elementos Meteorológicos

Los elementos meteorológicos que representan las variables a sensor por las estaciones son los siguientes:

- Temperatura Ambiente
- Punto de Rocío
- Descripción del clima y niveles de nubosidad
- Humedad Relativa
- Presión atmosférica
- Velocidad del Viento
- Dirección del Viento
- Precipitación
- Radiación

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1 Modalidad Básica de la investigación.

Se tomará en cuenta una investigación aplicada, cumpliendo objetivos fundamentales como el resolver problemas prácticos que otorgue el desarrollo de la investigación. Se realizará una investigación de campo en el sector que se va a desarrollar el proyecto, con la finalidad de identificar el sitio que tenga mayor cantidad de variables que representen la mayor fiabilidad y optimización del trabajo, con el fin de obtener información relevante para el proyecto.

Se realizará una investigación bibliográfica-documental que registrará una descripción concreta y concisa de los avances que se obtengan durante el presente desarrollo del proyecto de investigación, estudiando los problemas con el propósito de solucionarlos y hacer énfasis en el conocimiento según los requerimientos del presente proyecto.

3.2 Recolección de información.

Para la recolección de información se tomará en cuenta varios tipos de sensores que se instalarán para obtener datos, éstos servirán para relacionarlos con diversas fuentes, entre ellas libros, publicaciones, revistas, repositorios y blogs, que permitan el aporte necesario para el desarrollo de la investigación; además se tendrá el asesoramiento sobre factores meteorológicos proporcionado por el INAMHI.

3.3 Procesamiento y análisis de datos

El plan para el procesamiento y análisis de datos será el siguiente:

- Revisión crítica de la información recolectada.
- Depuración en caso de información errónea o no verídica.

- Presentación en informe técnico.

3.4 Desarrollo del Proyecto.

El desarrollo del proyecto se realizara de acuerdo a los siguientes ítems:

- Análisis de los factores climáticos causantes de los deslizamientos de tierra.
- Determinación de los parámetros técnicos necesarios para el estudio.
- Análisis de un sistema de comunicación basado en WSN para deslizamientos de tierra.
- Estudio de la tecnología de comunicación que se utilizará en el proyecto.
- Determinación de los métodos de detección y alerta.
- Determinación de los elementos para la red inalámbrica.
- Establecimiento de reglas de detección y alerta en dispositivos.
- Elaboración del diseño del prototipo del sistema.
- Construcción del prototipo.
- Pruebas de funcionamiento del prototipo.
- Corrección de errores obtenidos en las pruebas de funcionamiento.
- Elaboración del Informe Final.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE LA PROPUESTA

4.1 Introducción

Dado que los deslizamientos de tierra son movimientos de material sobre una superficie, para efectos de la presente investigación se hace referencia a todos aquellos que puedan suscitarse en la calzada por diferentes causas como la inclinación de la ladera o talud, el material, la humedad y las vibraciones. Ante el eventual desastre se pueden presentar una o varias causas, siendo de vital importancia analizar cada una de ellas a manera con el fin de obtener un mejor control para la alerta temprana de deslizamientos en las vías. La gravedad al ser una fuerza constante influye completamente en forma directa en los desplazamientos de tierra.

Tomando como referencia a lo expuesto en el Capítulo II, se puede establecer que tanto humedad, precipitación, temperatura y viento son factores determinantes para que existan deslizamientos; por lo tanto se deben tener más en consideración las zonas donde existan altos niveles de lluvia y humedad, que por lo general se encuentran en sectores de transición regional; o sea de la Sierra a la Costa y de la Sierra al Oriente.

A continuación se realiza el proceso respectivo para la ejecución de las actividades programadas.

4.2 Factores que intervienen en los deslizamientos de tierra

Los parámetros son los que intervienen de acuerdo a la tabla N°. 4, pues al analizar estos factores se tiene una mayor comprensión y control de los deslizamientos en la vía.

El material por lo general se lo puede tratar como constante dentro de una zona de estudio; de la misma manera la pendiente es un factor que no cambia a menos que exista un derrumbe o construcción de un talud.

Tabla N°. 4: Parámetros que intervienen en un deslizamiento

Parámetro	Tipos
Pendiente	Ladera
	Talud
Naturaleza del material	Roca
	Residuos
	Tierra
	Lodo
Presencia de agua	Seco
	Húmedo
	Mojado
	Muy mojado
Vibraciones	Origen natural
	Origen artificial

Elaborado por: Investigador

4.2.1 Análisis a nivel nacional

Como se mencionó anteriormente existe mayor riesgo de deslizamientos en zonas de transición regional, como es de la sierra a la costa y de la sierra al oriente del país. Por lo tanto se referenciará a zonas ubicadas en estos puntos para el análisis de los diferentes parámetros, tomando en cuenta las vías y carreteras.

La recopilación de información se realizó a partir julio 2016 a junio 2017 para abarcar el proceso completo de estaciones climáticas (un año), los cuales sirven como antecedentes históricos para relacionarlos con los datos obtenidos en la zona de estudio.

En las tablas N°.5 y N°.6 se puede apreciar un resumen ajustado a promedio mensual de las ciudades Santo Domingo de los Tsáchilas y Baños de Agua Santa en las variables precipitación y humedad relativa.

Tabla N°. 5: Datos obtenidos de la región Sierra-Costa (Santo Domingo)

Mes	Pendiente	Tipo de material	Precipitación	Humedad relativa
Julio 2016	Laderas pronunciadas	Roca, residuos y tierra de diferente humedad	1,7 mm	85%
Agosto 2016			0,5 mm	86%
Septiembre 2016			1,3 mm	89%
Octubre 2016			0,7 mm	92%
Noviembre 2016			0,2 mm	89%
Diciembre 2016			1,7 mm	90%
Enero 2017			11,9 mm	87%
Febrero 2017			13 mm	89%
Marzo 2017			16,7 mm	85%
Abril 2017			0,6 mm	79%
Mayo 2017			0,3 mm	87%
Junio 2017			0 mm	84%

Elaborado por: Investigador

Tabla N°. 6: Datos obtenidos de la región Sierra-Oriente (Baños)

Mes	Lluvias diarias	Humedad relativa	Pendiente	Tipo de material
Julio 2016	0,2 mm	85%	Laderas pronunciadas	Roca, residuos y tierra con diferente humedad
Agosto 2016	0,2 mm	79%		
Septiembre 2016	1 mm	81%		
Octubre 2016	0,8 mm	82%		
Noviembre 2016	0,5 mm	82%		
Diciembre 2016	1,5 mm	87%		
Enero 2017	1,9 mm	90%		
Febrero 2017	2,7	92%		
Marzo 2017	3,1 mm	89%		
Abril 2017	1,8 mm	84%		
Mayo 2017	0,1 mm	88%		
Junio 2017	0,1 mm	81%		

Elaborado por: Investigador

4.2.2 Análisis del sector de estudio

Está ubicado en la vía Baños-Puyo (sector Cascada Manto de la Novia), donde por su clima y humedad se han suscitado varios eventos de deslizamientos de tierra dificultando y cerrando la circulación vehicular en varios tramos de la misma.

4.2.2.1 Ubicación

Se encuentra situado en el kilómetro 10 de la vía Baños-Puyo en el sector de la Cascada Manto de la Novia a una altura de 1826 msnm aproximadamente. Dicho sitio se encuentra georreferenciado por los puntos Latitud: -1.397957; Longitud: -78.35078.

Figura N°. 23: Ubicación del sector de estudio



Elaborado por: Investigador

4.2.2.2 Clima

La zona presenta un clima tropical húmedo con una temperatura que ronda los 20° C aproximadamente.

La presencia de precipitaciones acentuadas, especialmente en temporadas lluviosas, es un factor influyente para que se produzcan deslizamientos de tierra, como se dio en el mes de marzo de 2016 donde se interrumpió la circulación hasta por 12 horas generando molestias en las personas según el diario El Universo. [33]

Figura N°. 24: Sector de estudio



Fuente: Diario El Universo

Para un mejor estudio del clima y los factores que lo determinan se analizará los siguientes datos meteorológicos, siendo información de libre acceso recabada de una estación meteorológica ubicada a las cercanías del sector en cuestión:

Tabla N°. 7: Valores atmosféricos del sector estudiado

Fecha	Horas sinópticas	Temperatura (°C)	Velocidad Viento (km/h)	Dirección Viento	Humedad (%)	Punto de rocío (°C)	Presión (mb, milibares)	Descripción
01/06/2017	7:00:00	11	11	N	94	10	1032	Parcialmente cubierto
	13:00:00	19	18	N	52	9	1030	Pocas nubes
	19:00:00	14	19	N	82	11	1029	Pocas nubes
02/06/2017	7:00:00	10	6	N	95	10	1031	Parcialmente cubierto
	13:00:00	18	31	N	68	12	1031	Parcialmente cubierto
	19:00:00	14	17	N	82	11	1029	Parcialmente cubierto
03/06/2017	7:00:00	12	19	N	94	11	1031	Parcialmente cubierto
	13:00:00	19	28	N	56	10	1029	Parcialmente cubierto
	19:00:00	14	17	N	88	12	1029	Parcialmente cubierto
04/06/2017	7:00:00	12	24	N	88	10	1031	Parcialmente cubierto
	13:00:00	19	30	N	56	10	1028	Lluvia
	19:00:00	13	22	N	82	10	1029	Parcialmente cubierto
05/06/2017	7:00:00	11	19	N	94	10	1029	Parcialmente cubierto
	13:00:00	17	26	N	68	11	1028	Lluvia
	19:00:00	13	26	N	72	8	1029	Pocas nubes
06/06/2017	7:00:00	8	6	O	93	7	1031	Parcialmente cubierto
	13:00:00	20	22	O	33	3	1029	Pocas nubes
	19:00:00	14	26	N	67	8	1029	Pocas nubes
07/06/2017	7:00:00	8	4	SE	93	7	1033	Parcialmente cubierto
	13:00:00	20	17	N	60	12	1029	Pocas nubes
	19:00:00	15	13	S	72	10	1029	Parcialmente cubierto

Fuente: INAMHI, www.freemeteo.ec

4.2.2.3 Material del suelo

Tiene laderas con inclinaciones pronunciadas y abundante vegetación, donde el material del suelo es variado con rocas de gran tamaño, residuos y tierra con altos niveles de humedad al ser de clima tropical propenso a lluvias. La flora presente disminuye las probabilidades de derrumbes, aunque cuando se acumula demasiada cantidad de agua disminuye las propiedades sólidas de la ladera, produciéndose deslizamientos en diferentes magnitudes.

Figura N°. 25: Inclinación y material de laderas



Fuente: Diario El Comercio

4.2.2.4 Circulación vehicular

La carretera E30, conocida como Transversal central, tiene la ruta: Manta - Portoviejo - Quevedo - Latacunga - Ambato - Puyo; donde un tramo une las ciudades de Baños de Agua Santa-Puyo, dicho tramo es de carácter interprovincial al enlazar a las provincias de Tungurahua y Pastaza. Adicionalmente las dos ciudades son altamente turísticas por lo que presenta un importante número de automotores que se movilizan por ésta vía.

4.2.3 Parámetros técnicos necesarios para el estudio

Luego del análisis de los factores climáticos que intervienen en los deslizamientos de tierra se puede concluir que tienen gran incidencia de ocasionar deslizamientos:

- La humedad alta del suelo debilita la consistencia del material del cual está compuesto.

- La humedad relativa alta puede generar niebla lo que produce mayor cantidad de agua en el ambiente en forma de lluvia y esto limita la penetración de los rayos solares que compactan y resecan el suelo.
- La vegetación del sector puede ocasionar deslizamiento por una mayor captación de agua.
- El suelo irregular suele ser una amenaza debida a la compactación de la tierra.
- La lluvia que se presente en el sector puede ocasionar acumulación de agua si la zona no posee un óptimo sistema de drenaje.
- La velocidad del viento puede provocar la caída de árboles y escombros en la zona.

4.3 Análisis de un sistema de comunicación basado en WSN

4.3.1 Sistemas de comunicación inalámbrica y cableada

Los sistemas inalámbricos presentan grandes variaciones de alcance, su uso permite comunicar diferentes periféricos y dispositivos móviles sin ningún cable. Por otra parte los sistemas cableados deben estar conectados físicamente unos de otros.

A continuación se presente diferentes tipos de tecnologías de comunicación.

Figura N°. 26: Sistemas de comunicación



Elaborado por: Investigador

4.3.2 Análisis de sistemas de comunicación inalámbrica

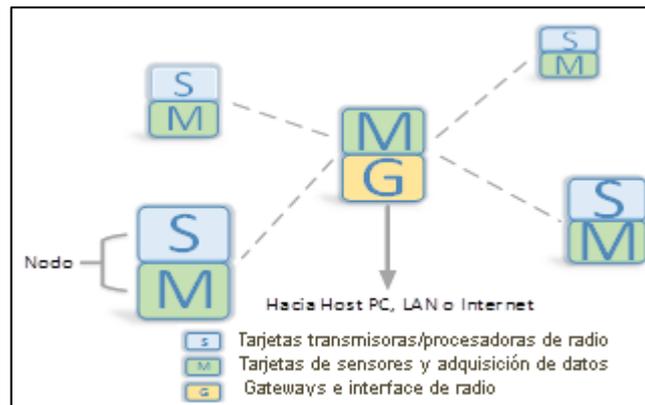
Para el desarrollo del presente proyecto de investigación se requiere recopilar datos de diferentes sensores ubicados en lugares específicos que permitan monitorear deslizamientos de tierra mediante las vibraciones en tiempo real y además factores climáticos como: la temperatura, humedad de suelo, humedad relativa, la precipitación de lluvia, dirección y velocidad del viento.

Las características del sector limitan a usar tecnologías basadas en enlaces punto a punto o redes cableadas, por ende las características de las redes de sensores inalámbricos deberán ser:

- Topología dinámica, la red depende de las condiciones del entorno que se desplieguen.
- Red tolerante a fallos, tener la capacidad de permanecer en funcionamiento.
- Mantenimiento periódico, puede ser semanal o mensual.
- Tener facilidad para poder integrarse con otras tecnologías.
- Facilidad de despliegue, la misma red podría desplazarse en diferentes lugares.
- Bajo consumo energético, se alimenta los sensores con baterías o paneles solares.
- Una alta capacidad de memoria y procesamiento de la placa maestra deberá ser fundamental para el sistema.
- Los datos de los sensores se guardarán en la placa maestra y podrán ser consultados a un servidor web desde cualquier lugar.

En la Figura N°. 27 se puede apreciar el modelo de red inalámbrica para el sistema, en el cual la placa maestra es la encargada de procesar los datos enviados por los diferentes sensores, además es la encargada de tratar y enviar información concisa y legible al usuario hacia un servidor en internet.

Figura N°. 27: Modelo de Red WSN



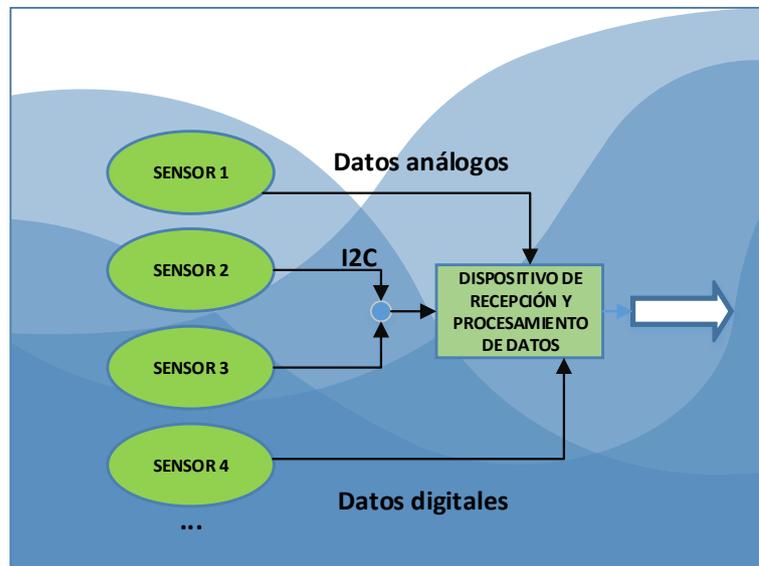
Elaborado por: Investigador

4.3.3 Etapas del sistema de comunicación

El sistema está conformado por las siguientes etapas:

a. Lectura de los parámetros ambientales

Figura N°. 28: Esquema de recepción de parámetros



Elaborado por: Investigador

b. Procesamiento de los datos obtenidos

La tabla N°. 8 muestra un análisis comparativo de características de algunos microcontroladores al procesar datos.

Tabla N°. 8: Análisis característico de microcontroladores

PARÁMETROS	ATMEGA2560 (ARDUINO MEGA 2560)	ATmega328 (ARDUINO UNO 2560)	PIC16F887	PIC18F2550
Voltaje de operación	5 V	5 V	2V- 5.5 V	2V – 5.5 V
Voltaje de entrada	7-12 V	7-12 V	5.5 V Max.	5.5 V Max
Número de entradas análogas	16	6	14	10
Número de entradas digitales	54	14	21	14
Frecuencia de operación	16 Mhz	16 Mhz	0 - 20 Mhz	0 - 20 Mhz
Tipos de comunicación	SERIE UART- I2C-SPI, RS232	SERIE UART- I2C-SPI, RS 323	RS-485, RS-232 y LIN2.0	SERIE UART- I2C-SPI RS 232
Memoria interna	256 KB, 8 KB de memoria SRAM y 4KB de EEPROM	32KB, 2 KB de memoria SRAM y 1 KB de EEPROM	8KB, 256 bytes de memoria EEPROM, 368 bytes de memoria RAM	32KB, 256 bytes de memoria EEPROM, 256 SRAM
Temperatura de operación	-45 – 85 °C	-45 – 85 °C	-45 – 150 °C	-45 – 150 °C
Dispositivos adicionales para su funcionamiento	Cable usb – fuente de alimentación	Cable usb – fuente de alimentación	Usa componentes electrónicos externos para su operación	Usa componentes electrónicos externos para su operación

Elaborado por: Investigador

La facilidad de integración con otros dispositivos y el bajo costo de las placas electrónicas basadas en hardware libre permiten una conexión plug and play, además de proporcionar mayor escalabilidad. Por lo cual para la recepción y transmisión de la información se ha seleccionado el módulo Arduino MEGA 2560 por sus prestaciones.

c. Transmisión y recepción inalámbrica de los datos

La transmisión inalámbrica de los datos permitirá disponer de un registro constante de las variables climáticas monitoreadas. El sector donde se realiza la investigación permite un excelente acondicionamiento para realizar un enlace de larga distancia como lo es por la red celular que se dispone, haciendo uso del servicio de mensajería corta SMS para transmitir los registros obtenidos durante el día.

Para la transmisión y recepción de los datos se evaluó diferentes módulos con comunicación a la red celular y con compatibilidad para Arduino.

Tabla N°. 9: Análisis del transmisor y receptor GSM

Parámetros	SIM 900	SIM 800L	A6
Voltaje de operación	3,2 V – 4.8 V	3.4V – 4.4V	4,5V – 5,5V
Frecuencia	Quad-Band 850 / 900/1800/1900 Mhz	850 / 900 / 1800 / 1900MHz	850 / 900 / 1800 / 1900MHz
Corriente	Sleep mode 1,5 mA Normal 250 mA Transmisión 1A	Sleep mode 0,7 mA Normal 500 mA	Sleep mode 0,7 mA Normal 2A
Protocolo de red	RTC, SPI, Serial GPIO	Serial UART	Serial
Temperatura de operación	-20°C – 55°C	---	30°C - 80 °C
Interfaces	Serial port 1, GPIO, I2C	Serial.	Serial, TCP/IP, HTTP
Configuración	AT 07.07, 07.05 AT COMANDOS MEJORADOS SIMCOM	AT COMANDOS	AT COMANDOS
SIM CARD	1.8 V – 3V	Micro sim 2G	1.8 V – 3V
Voz	Interfaz de audio análogo	Interfaz de audio análogo	Interfaz de audio análogo
Tipo de antena	Antenna Pad	-----	-----

Elaborado por: Investigador

d. Tratamiento de los datos

El tratamiento de los datos obtenidos se los realizó mediante la placa especificada Arduino MEGA y la plataforma de programación de Arduino, la cual se encuentra estructurada en C++.

e. Visualización de la información

Para la visualización de los resultados se dispone en el lugar de estudio una pantalla led la que permitirá visualizar el momento que se altere inesperadamente la estabilidad del suelo del lugar que está siendo monitoreado. Adicionalmente se dispone de la información en internet mediante una aplicación libre y gratuita que permite conectar diferentes dispositivos; el único requisito es disponer de conexión a internet. Mediante dicha aplicación se puede visualizar constantemente los datos de diferentes sensores y presentarlos en gráficas estadísticas.

4.4 Tecnología de comunicación que se utilizará en el proyecto

4.4.1 Tecnología GSM

Este sistema estándar para la comunicación mediante telefonía móvil digital, permite utilizar sistema de servicio SMS para envío y recepción de mensajes cortos de texto, el uso de esta tecnología ha facilitado el envío de los datos monitoreados.

Algunas de las características generales de esta tecnología son:

- Permite enviar hasta 160 caracteres en un mensaje de texto.
- Opera en bandas de los 850 Mhz hasta los 1800 Mhz.
- Alcance y cobertura depende de la radio base más cercana para el nivel de señal.
- Costo depende la tarifa del mensaje de texto fijada por la operadora de telefonía celular.

4.5 Dispositivos utilizados en el desarrollo del proyecto

- **Sensor anemómetro:** Este sensor nos permite medir la velocidad del viento.

Tabla N°. 10: Tabla comparativa para la selección del anemómetro

Parámetros	ANEMÓMETRO ADA-1733	ANEMÓMETRO ARGENT DATA	ANEMÓMETRO PCE- FST-200-201
Tipo de sensor	Magnético	Magnético	Magnético
Fabricante	Adafruit	Argent Data System	PCE Instrument
Costo	\$ 44.95	\$ 60	\$ 74
Tipo de salida	Señal de contacto	Señal de contacto	Señal de contacto
Operación	Contacto magnético	Contacto magnético	Contacto magnético
Sensibilidad	1, 6 m/h	1,492m/h	1,55 m/h
Peso	111,8 gr	100gr	115,8 gr
Dimensiones	10,5 cm	18cm	14,5 cm
Tipo de señal	Analógica	Digital	Analógica
Comunicación	Serial	I2C	Serial

Elaborado por: Investigador

Para la selección del sensor se tomó los parámetros de comunicación I2C compatible con Arduino y la sensibilidad del sensor; por esta razón se eligió Argent Data System ya que permite integrar con el resto de sus sensores de la misma marca a un bajo costo.

- **Sensor Pluviómetro:** Encargado de medir los niveles de precipitación.

Tabla N°. 11: Tabla comparativa para la selección del Pluviómetro

Parámetros	ECRN-100 RAIN GAUGE	RAIN GAUGE P/N 80422	RAIN GAUGE S71100
Tipo de sensor	Doble cuchara cubo basculante	Doble cubeta basculante	Cubo basculante
Fabricante	DECAGON DEVICES	Argent Data Systems	Ammonit
Costo	\$ 100	\$ 50	\$ 1433
Tipo de salida	Señal de contacto	Señal de contacto	Señal de contacto
Operación	Contactos magnéticos	Contactos magnéticos	Contactos magnéticos
Sensibilidad	1 pulso por 0.2mm	1 pulso por 0.2mm	1 pulso por 0.1 mm
Colector de superficie	150 cm ²	143 cm ²	200 cm ²
Dimensiones	170mm x 142 mm	120mm diámetro x 60,45 mm altura	350mmx186mm
Tipo de señal	Digital	Digital	Digital

Elaborado por: Investigador

Se ha seleccionado Rain Gauge P/N 80442, puesto que permite vincular su señal mediante comunicación I2C hasta el microcontrolador. Ambos sensores pluviómetro y anemómetro están integrados en el sensor de clima Assembly 80442.

- **Sensor de Temperatura y Humedad relativa**

Tabla N°. 12: Tabla para la selección del sensor de temperatura y humedad

Parámetros	Sensor HC2S3	Sensor DTH11	Sensor CS215-L
Tipo de sensor	Humedad/ Temperatura	Humedad/ Temperatura	Humedad/ Temperatura
Humedad	± 0.8RH	± 3%RH	±2%RH
Resolución	--	0.1 %RH – temperatura ± 0.5 °C	Humedad 0.03%RH Temperatura 0.01°C
Receptibilidad	--	Humedad ± 1%RH Temperatura ± 0.5 %	--
Precisión	Humedad ±0.8RH Temperatura ± 0.1 RH	Humedad ± 2 %RH Temperatura ± 0.5 %	Humedad ± 2% Temperatura ± 0.9 %
Rango de medición	-40°C – 80°C	-40°C – 80°C	-40°C-70°C
Tiempo de respuesta	1.5 s	2s	<10s
Histéresis	---	± 3%RH	< ±1.0%/año
Tiempo de estabilidad	0.1°C/año	± 5RH/año	±1.0%/año
Voltaje de alimentación	5-24 V	3,3 – 6 V	12 V

Elaborado por: Investigador

Se ha seleccionado el sensor DHT11 por su precisión y rango de operación, además de permitir la transmisión serial de los datos.

- **Sensor de Luz ambiental**

Tabla N°. 13: Tabla comparativa para la selección del sensor de luz ambiental

Parámetros	SENSOR SFH7776	SENSOR BH1750FVI	SENSOR GY-49 MAX 44009
Tipo de sensor	Sensor de luz ambiente	Sensor de luz ambiental	Sensor de luz ambiental
Voltaje de alimentación	Max 4.5V	Max 4.5V	Max 3.6V
Temperatura de operación	-40°c – 85°C	-40 a 85°C	-40°C + 85°C
Comunicación	I2C	I2C	--
Precisión	---	1.2	--
Tiempo de respuesta	200ms	120ms	200ms
Resolución	8 bits	16 bits	8 bits
Rango de operación	0.0022-73000 lx	1-65535 lx	0.045-188000 lx

Elaborado por: Investigador

Se ha seleccionado el sensor BH1750FVI ya que posee una gran resolución con mayor rango de operación en condiciones ambientales extremas, además se vincula con el resto de sensores por comunicación I2C.

- **Sensor de vibración**

Tabla N°. 14: Tabla comparativa para selección de sensor de vibración

Parámetros	KEYESTUDIO KS0037	SW 18015P/20P	ADXL335
Temperatura de operación	-40°C a 85°C	-40°C a 85°C	-40°C a 85°C
Voltaje de alimentación	3.3 a 5V	< 12V	3.3 V
Comunicación	--	--	SERIAL
Precisión	--	--	3 g
Tiempo de respuesta	2ms	2 ms	2.2 ms
Sensibilidad	50 mV/g	50 mV/g	300mV/g
Rango de operación	10 bits	Hasta 500 gf	0.5 – 500 Hz
Tipo de señal	Análoga/Digital	Análoga	Digital

Elaborado por: Investigador

Se ha seleccionado el sensor de vibración KS0037 por la facilidad de conexión como módulo, la disponibilidad y facilidad de adquisición que existe en el mercado por su módico costo.

4.6 Determinación de los métodos de detección y alerta

A continuación se detallan los métodos de detección:

- **Vibración**

Para establecer el nivel de vibración se realizó un monitoreo simple por 2 semanas para registrar un nivel máximo de vibración como se lo puede apreciar en la tabla N°. 15, cuyo fin ha sido establecer un valor umbral al cual si se sobrepasa se concluiría que ha ocurrido un eventual deslizamiento, se debe señalar además que durante este tiempo no se han producido deslizamientos por lo cual se sobrentiende que el valor referencial es aproximado y solamente llegará a ser más preciso en el momento que se registre un deslizamiento como lo es más frecuente en época de lluvias fuertes.

Tabla N°. 15: Niveles de vibración detectados

Fecha	Valor sensor 1	Valor sensor 2	Observación
18/08/2017	1,93 V	2,19 V	MÁXIMO VALOR
19/08/2017	1,45 V	1,66 V	
20/08/2017	0,65 V	0,97 V	
21/08/2017	0,86 V	0,77 V	
22/08/2017	0,56 V	0,92 V	
23/08/2017	0,55 V	0,58 V	
24/08/2017	0,45 V	0,53 V	
25/08/2017	1,67 V	1,56 V	
26/08/2017	1,66 V	1,55 V	
27/08/2017	0,55 V	0,15 V	
28/08/2017	0,33 V	0 V	
29/08/2017	0,43 V	0 V	
30/08/2017	1,23 V	1,45 V	
31/08/2017	0,99 V	1,19 V	

Elaborado por: Investigador

El sensor opera hasta con un valor máximo de 5V, el valor máximo registrado fue de 2.19V, de tal modo se ha establecido un valor hipotético para deslizamientos de 3V en adelante, pues desde dicho valor se emitirá una alerta visual colocada en puntos estratégicos de la vía anunciando el desastre. Se recalca que el valor hipotético se encuentra basado en el valor máximo registrado aumentado en 0.81V, pues para obtener un valor preciso es necesario que acontezca y se registre una situación real de deslizamiento en la vía.

- **Humedad del suelo**

Tabla N°. 16: Niveles de humedad del suelo detectados

Fecha	Valor	Observación
18/08/2017	700	Nivel Bajo
19/08/2017	750	
20/08/2017	731	
21/08/2017	800	
22/08/2017	840	
23/08/2017	900	
24/08/2017	890	
25/08/2017	845	
26/08/2017	870	
27/08/2017	790	
28/08/2017	810	
29/08/2017	860	
30/08/2017	900	
31/08/2017	894	

Elaborado por: Investigador

El registro del índice más bajo de humedad tiene un nivel alto de concentración de agua en el suelo, este valor va a ser menor mientras exista mayor cantidad de agua (valor mínimo de 0) y más alto cuando se tenga un terreno seco (valor máximo de 1023). Durante el monitoreo registrado en la zona de investigación se notó que el día 18 de agosto hubo una alta concentración de agua por lluvias constantes en la zona.

- **Humedad relativa**

Tabla N°. 17: Niveles de humedad relativa detectados

Fecha	Valor	Observación
18/08/2017	78%	
19/08/2017	68%	
20/08/2017	75%	
21/08/2017	69%	
22/08/2017	71%	
23/08/2017	80%	
24/08/2017	78%	
25/08/2017	81%	Nivel alto de humedad
26/08/2017	77%	
27/08/2017	67%	
28/08/2017	71%	
29/08/2017	63%	
30/08/2017	65%	
31/08/2017	68%	

Elaborado por: Investigador

La humedad relativa registrada en la zona ha permitido determinar el nivel de humedad del ambiente que por lo general es alto ya que corresponde a la región amazónica, en el sector se monitoreó niveles elevados de humedad relativa durante el 23 y 26 de Agosto de 2017.

- **Velocidad del Viento**

La velocidad del viento en la zona de análisis representa un factor significativo aunque no tan importante en relación a la vibración, ya que ésta última tiene el dictamen final sobre la detección y alerta de deslizamientos, en la tabla N°. 18 se detalla datos obtenidos en las 2 semanas.

Tabla N°. 18: Velocidades del viento detectadas

Fecha	Valor	Observación
18/08/2017	27 Km/h	
19/08/2017	16 Km/h	
20/08/2017	18 Km/h	
21/08/2017	20 Km/h	
22/08/2017	12 Km/h	
23/08/2017	13 Km/h	
24/08/2017	36 Km/h	
25/08/2017	26 Km/h	
26/08/2017	37 Km/h	Viento Fuerte
27/08/2017	21 Km/h	
28/08/2017	14 Km/h	
29/08/2017	12 Km/h	
30/08/2017	5 Km/h	
31/08/2017	25 Km/h	

Elaborado por: Investigador

A altas velocidades en tiempo de lluvias puede provocar la caída de ramas y escombros y acumulación de agua en la superficie por lo que existe la probabilidad de un deslizamiento.

- **Precipitación de agua**

Tabla N°. 19: Niveles de Precipitación de agua detectados

Fecha	Valor	Observación
18/08/2017	1 mm	Presencia de lluvia
19/08/2017	0.5 mm	Presencia de lluvia
20/08/2017	0 mm	
21/08/2017	0.2 mm	Presencia de lluvia
22/08/2017	0 mm	
23/08/2017	0 mm	
24/08/2017	0 mm	
25/08/2017	0 mm	
26/08/2017	0.3 mm	Presencia de lluvia
27/08/2017	0.5 mm	Presencia de lluvia
28/08/2017	0 mm	
29/08/2017	0 mm	
30/08/2017	0 mm	
31/08/2017	0 mm	

Elaborado por: Investigador

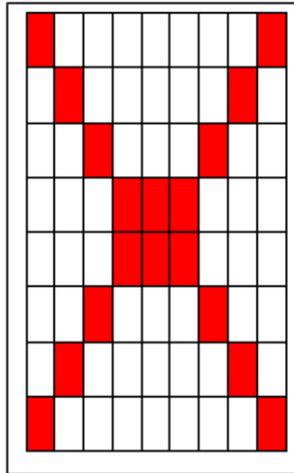
Como se puede apreciar en la tabla N°. 19, existen días lluviosos a tiempos irregulares, donde existe más riesgo de deslizamientos de tierra.

A continuación se detallan los métodos de alerta:

- **Pantalla o matriz LED**

Ésta permite emitir una alerta con una señal de color rojo la cual será visible por los conductores y transeúntes al momento que se haya detectado un riesgo de deslizamiento.

Figura N°. 29: Matriz LED



Elaborado por: Investigador

- **Mensaje SMS**

Se trata de la recepción de la alerta mediante un mensaje de texto vía celular al momento que se suscite un eventual deslizamiento.

Figura N°. 30: Mensaje SMS



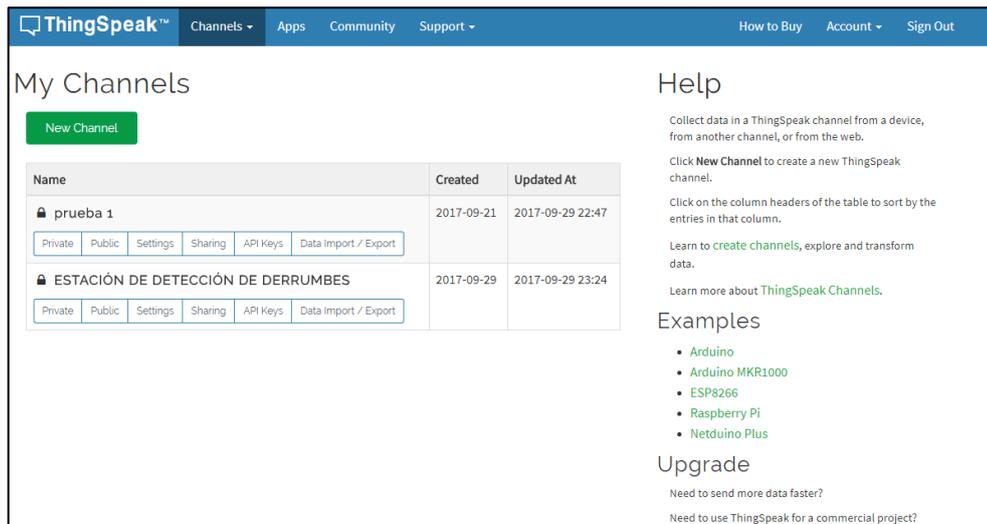
Elaborado por: Investigador

- **Registro de los datos en servidor de internet**

Para el registro de los datos en Internet se utilizó la plataforma IOT open source ThingSpeak la cual permite la interacción entre dispositivos electrónicos y personas, se trata de una aplicación para almacenar y recuperar datos de su base mediante protocolo HTTP ya se a través de Internet o una red local.

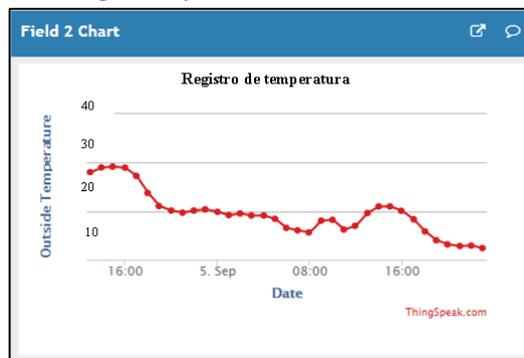
El uso del servicio es gratuito pero la limitante es el número de dispositivos que se desea monitorear; la aplicación permite comparar datos de diferentes canales para realizar un análisis mediante el entorno MathLab. Para vincular dispositivos con mayor facilidad se encuentran disponibles librerías para Arduino y Raspberry.

Figura N°. 31: Interfaz de ThingSpeak



Elaborado por: Investigador

Figura N°. 32: Registro y visualización de los datos en la web



Elaborado por: Investigador

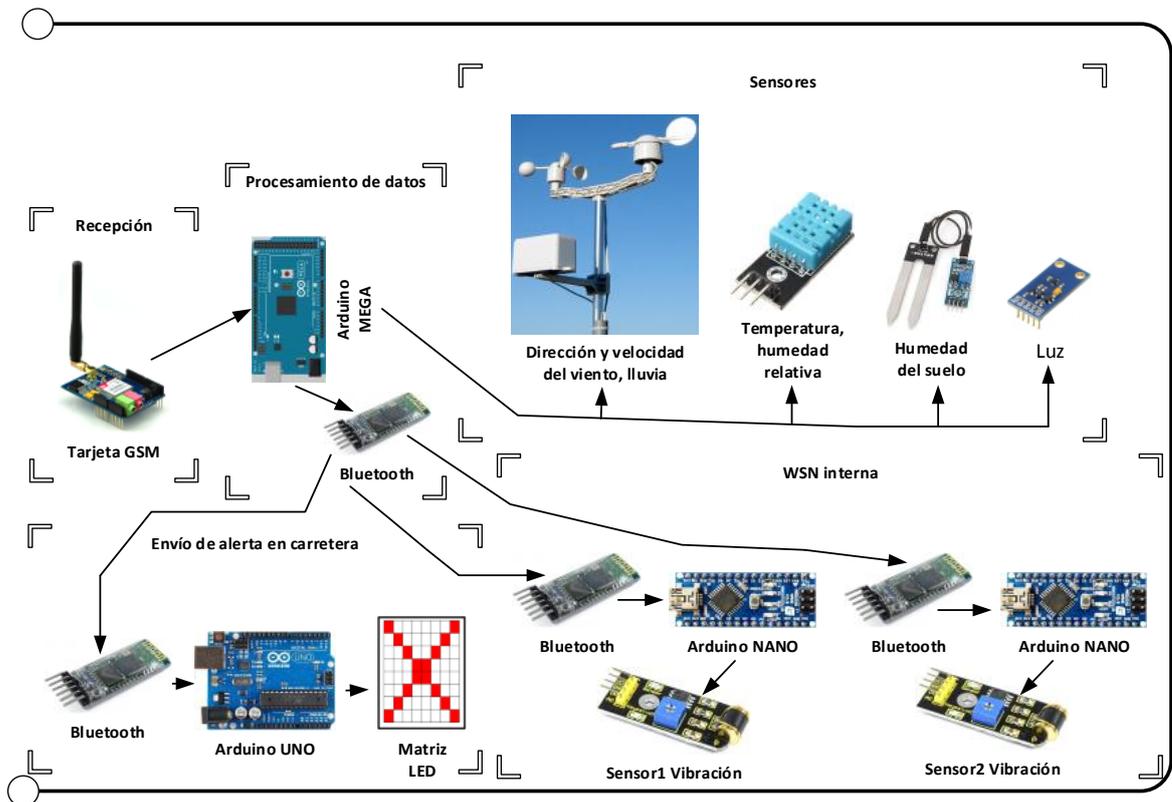
4.7 Determinación de los elementos para la red inalámbrica

Para la implementación de una red inalámbrica se requiere necesariamente de un dispositivo transmisor y de un dispositivo receptor.

- **Transmisor**

Se requiere indispensablemente un módulo GSM SIM900 que permita enviar la información. Adicionalmente se requiere de un microcontrolador que se encargue del procesamiento de los datos y la creación de la trama a tal manera que éstos no presenten inconvenientes en la decodificación o descriptación.

Figura N°. 33: Esquema de bloques del transmisor



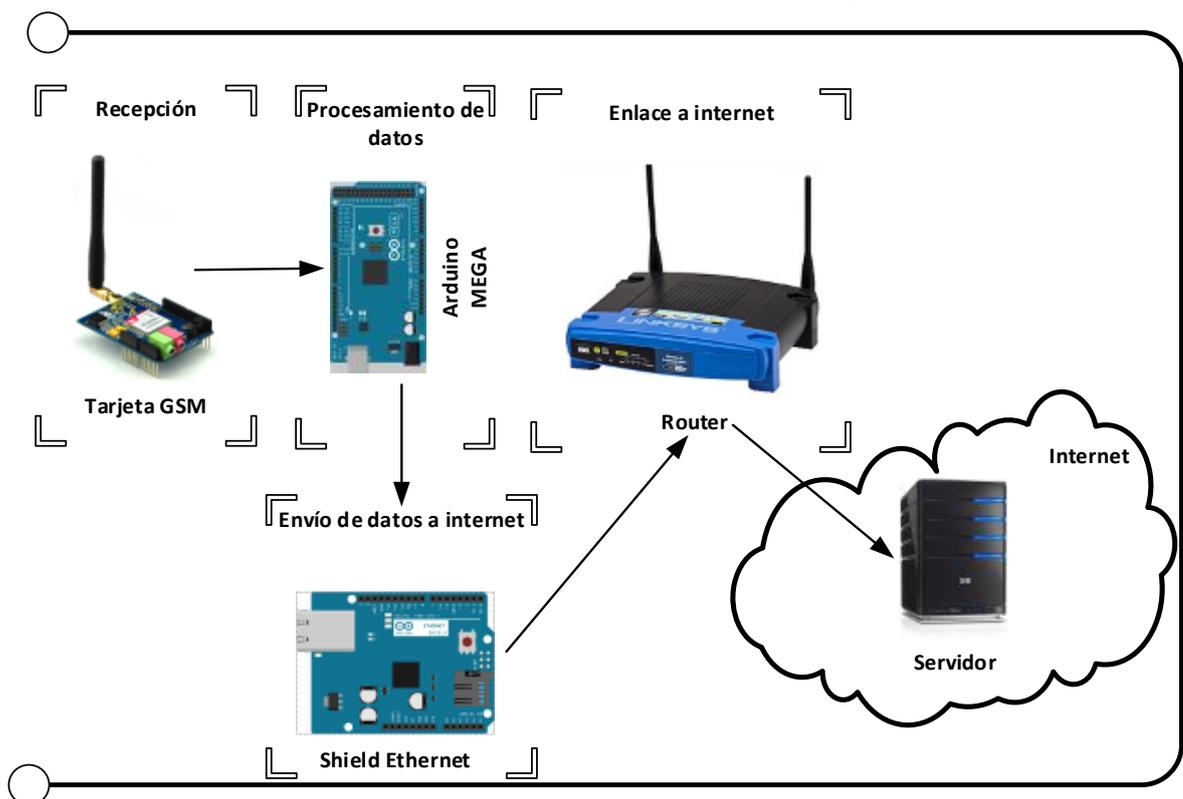
Elaborado por: Investigador

- **Receptor**

Para la recepción y tratamiento de la información mediante la red celular GSM se requiere los siguientes dispositivos:

- ✓ **SIM900.** Permite recibir la información que ha sido enviada por el transmisor vía SMS y la entrega al microcontrolador para su posterior tratamiento.
- ✓ **Arduino Mega 2560.** Permite realizar el tratamiento de la trama recibida y ajusta los datos para poder enviarlos a internet.
- ✓ **Shield Ethernet.** Permite establecer un enlace y por el cual se transmiten los datos de forma cableada hacia el router.
- ✓ **Router.** Permite establecer el enlace hacia el servidor gratuito en internet para enviar los datos y poderlos visualizar estadísticamente. Se puede incluir también una estación host con acceso a Internet en vez de un router.

Figura N°. 34: Esquema de bloques del receptor



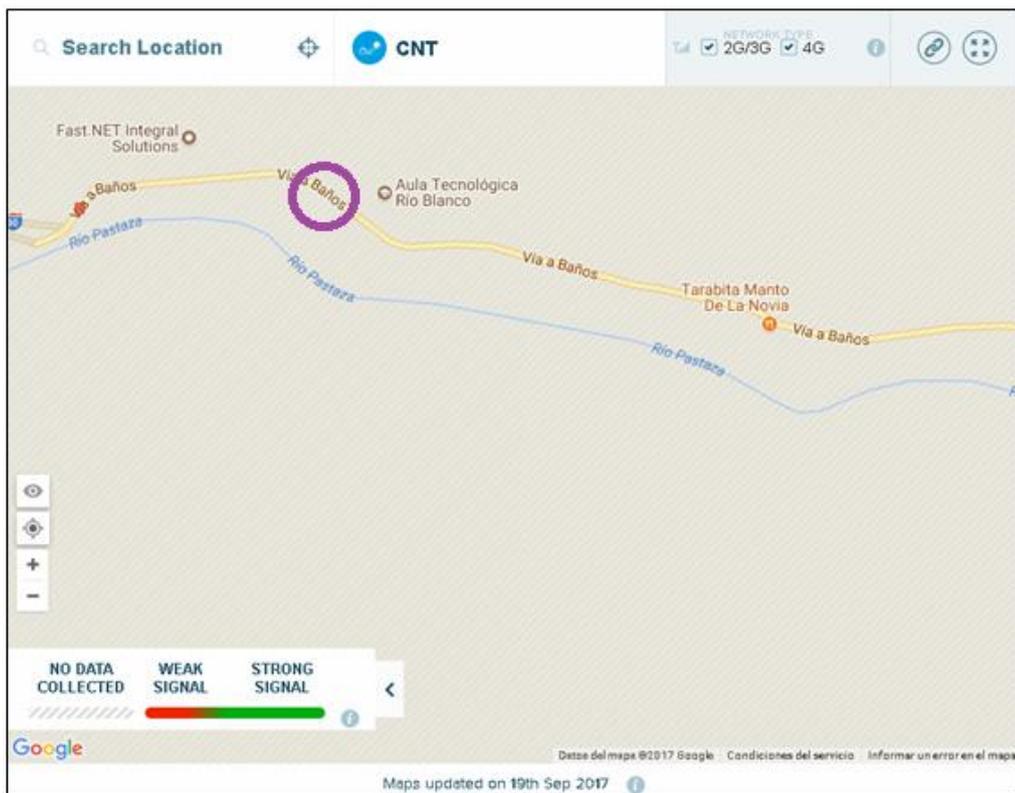
Elaborado por: Investigador

- **Operadora de telefonía celular y costo del mensaje**

En el país existen 4 diferentes operadoras de telefonía celular, las mismas que pueden presentar diferentes planes, costos y sobretodo coberturas. A continuación se realiza un análisis para seleccionar la operadora de telefonía móvil con mayor prestación.

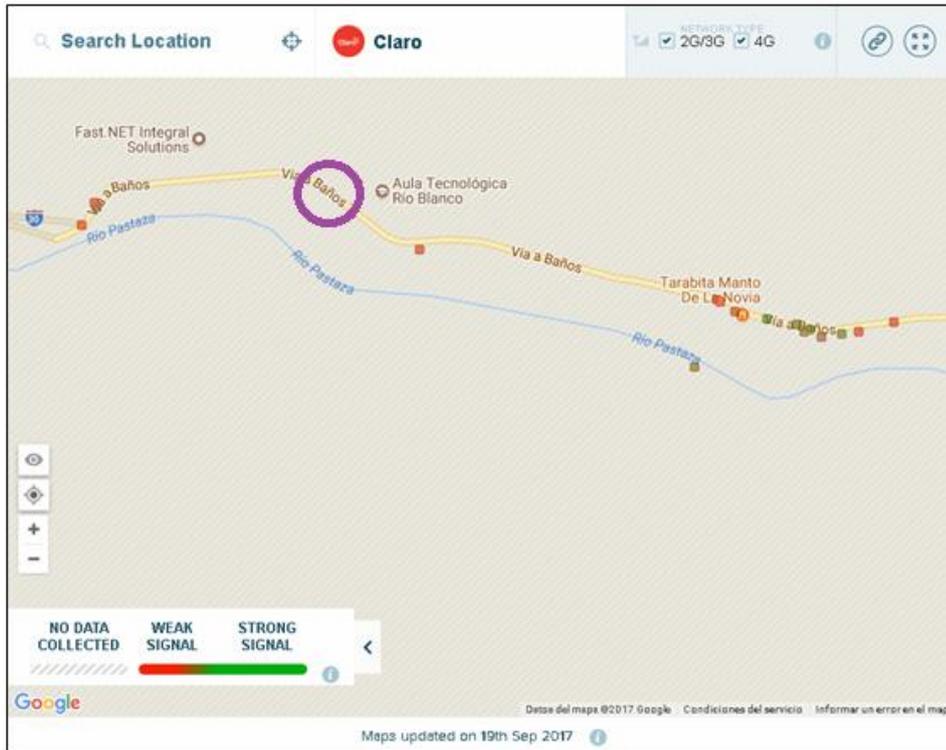
Los factores primordiales que el proyecto de investigación requiere para la transmisión y recepción de datos mediante la red GSM son la estabilidad y la cobertura en el sector que se está analizando. En las Figuras N°. 35, 36 y 37 se pueden apreciar los mapas de cobertura de las compañías CNT, CLARO y MOVISTAR respectivamente; se muestra el grado de intensidad de la señal, mientras esté de color verde existe una alta presencia de señal, y para el caso de color rojo, representa una baja intensidad.

Figura N°. 35: Mapa de cobertura CNT en sector afectado



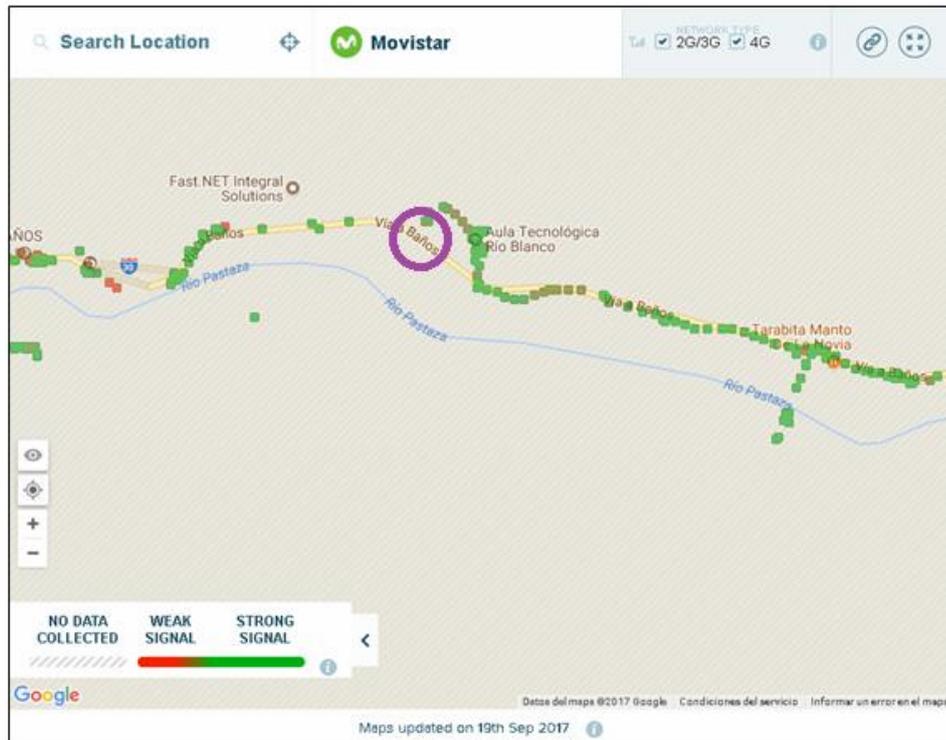
Fuente: www.opensignal.com

Figura N°. 36: Mapa de cobertura CLARO en sector afectado



Fuente: www.opensignal.com

Figura N°. 37: Mapa de cobertura MOVISTAR en sector afectado



Fuente: www.opensignal.com

Por lo tanto se ha constatado que existe mayor cobertura de la operadora MOVISTAR en el lugar de análisis y por ende se ha seleccionado ésta para la comunicación GSM requerida por el proyecto.

Figura N°. 38: Selección del paquete mensajes de MOVISTAR

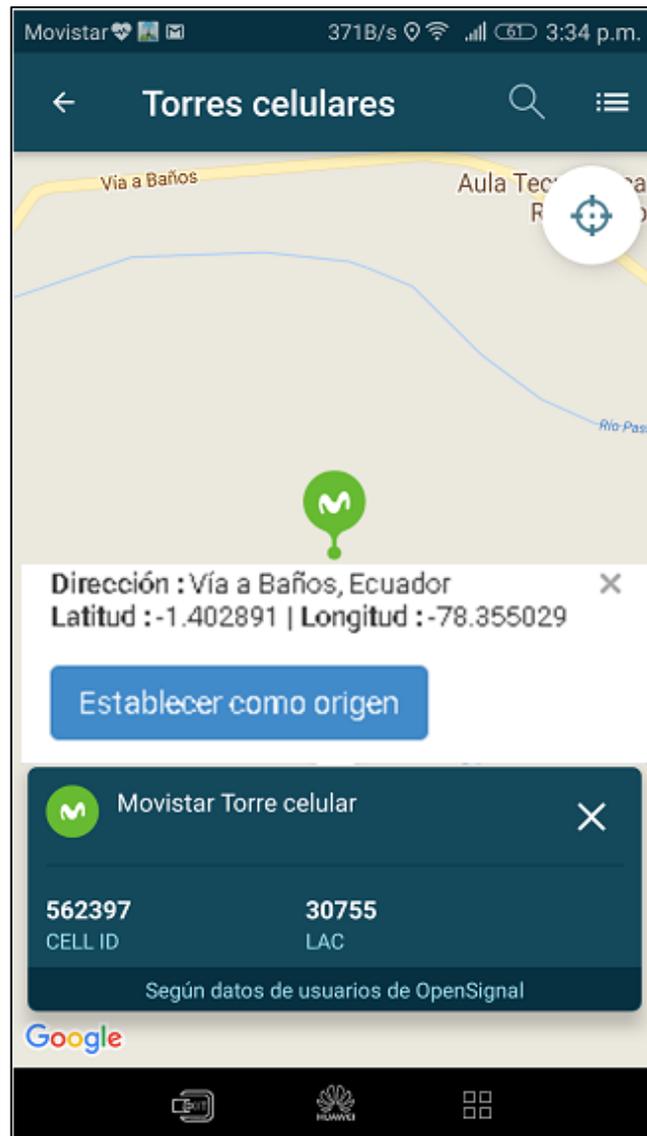
Cantidad de mensajes	Precio sin impts (IVA)	Precio Final	Short Code	Contenido
30	\$0,98	\$1.13	333	30
50	\$1,47	\$1.67	333	50
70	\$1,96	\$2.23	333	70
150	\$3,44	\$3.92	333	150
250	\$5,40	\$6.15	333	250
320	\$6,39	\$7.28	333	320
400	\$7,55	\$8.60	333	400
2500	\$11,79	\$13.44	333	2500

Fuente: www2.movistar.com.ec

Se decidió adquirir un plan de 150 mensajes de texto a un costo de 4 dólares mensual pues por cada día sin suceso de desplazamiento de tierra se envían 3 mensajes diario para el servidor, lo que representa al mes 90 mensajes, y el resto se lo relaciona a eventuales desastres.

Para ubicar la torre celular de la compañía MOVISTAR a la cual tiene acceso el prototipo mediante el módulo GSM SIM900 se ha utilizado la App de OpenSignal para Android, la cual nos ha presentado información importante como ubicación georreferenciada (Latitud: -1.402891; Longitud: -78.355029), identificación de la celda (562397) y código de área local (30755). Esta torre presenta un nivel de recepción de -85 dBm aproximadamente, lo que significa que hay una excelente presencia de señal GSM.

Figura N°. 39: Ubicación de la Torre celular de MOVISTAR



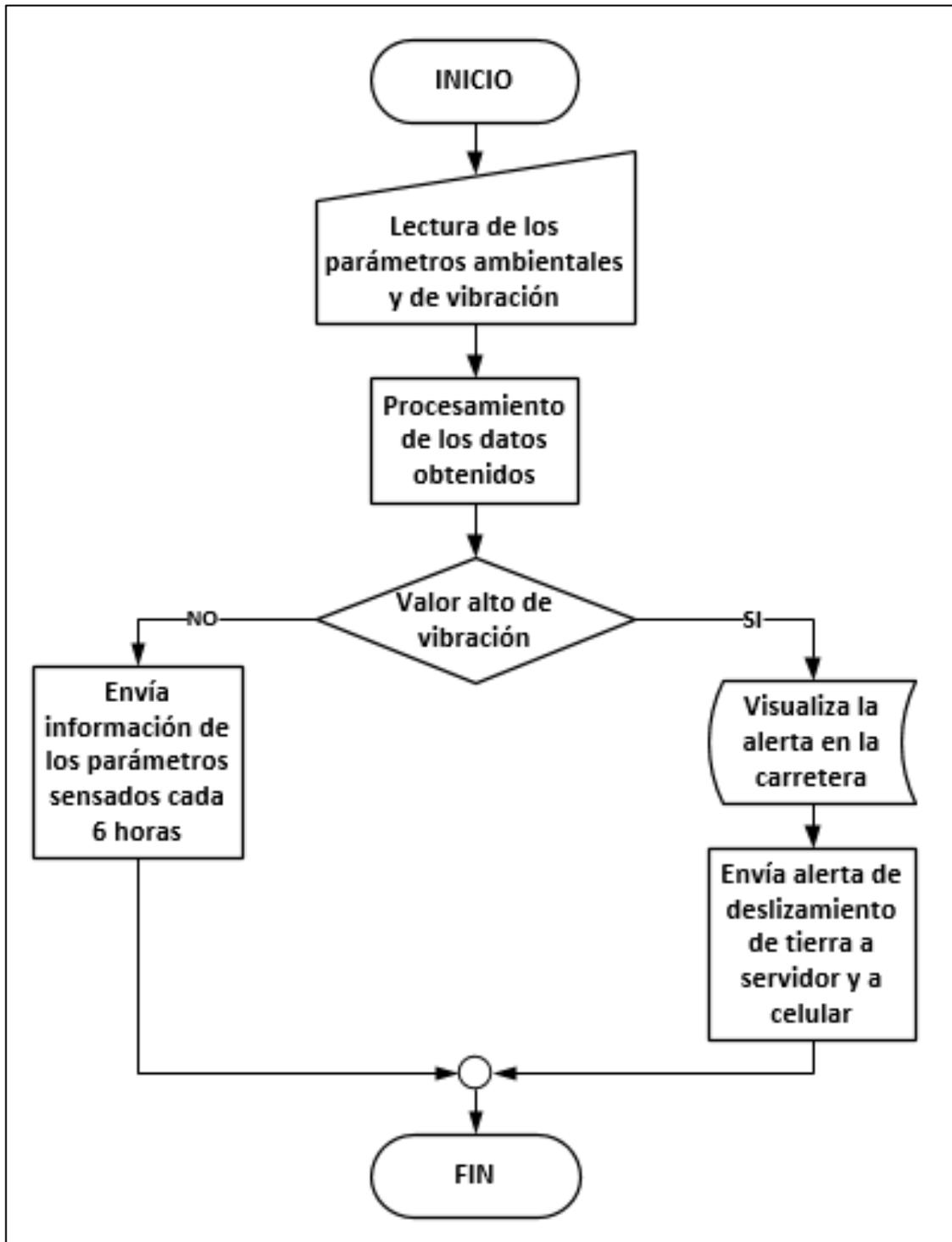
Fuente: App de OpenSignal

4.8 Establecimiento de reglas de detección y alerta en dispositivos

Durante el tiempo de monitoreo simple realizado se ha podido detectar valores de vibración significativos, más al caso que no ha ocurrido un deslizamiento y por ende no se lo ha registrado, se procede a establecer un valor referencial hipotético como regla de detección:

- ✓ Valor de vibración referencial hipotético: 3V; mayor a este valor se considera deslizamiento en la vía activándose las alertas.

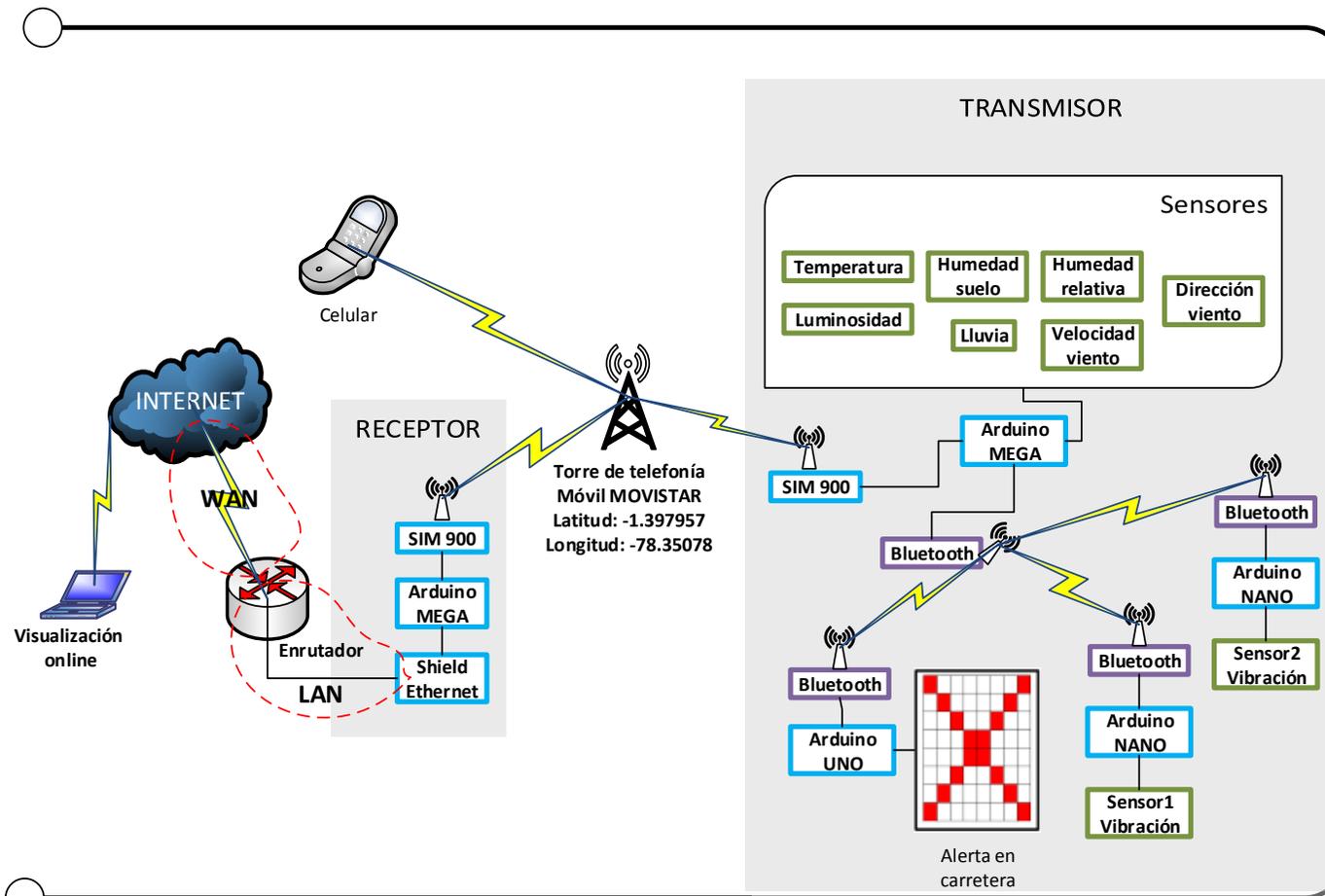
Figura N°. 40: Flujograma para establecer las reglas de detección y alerta



Elaborado por: Investigador

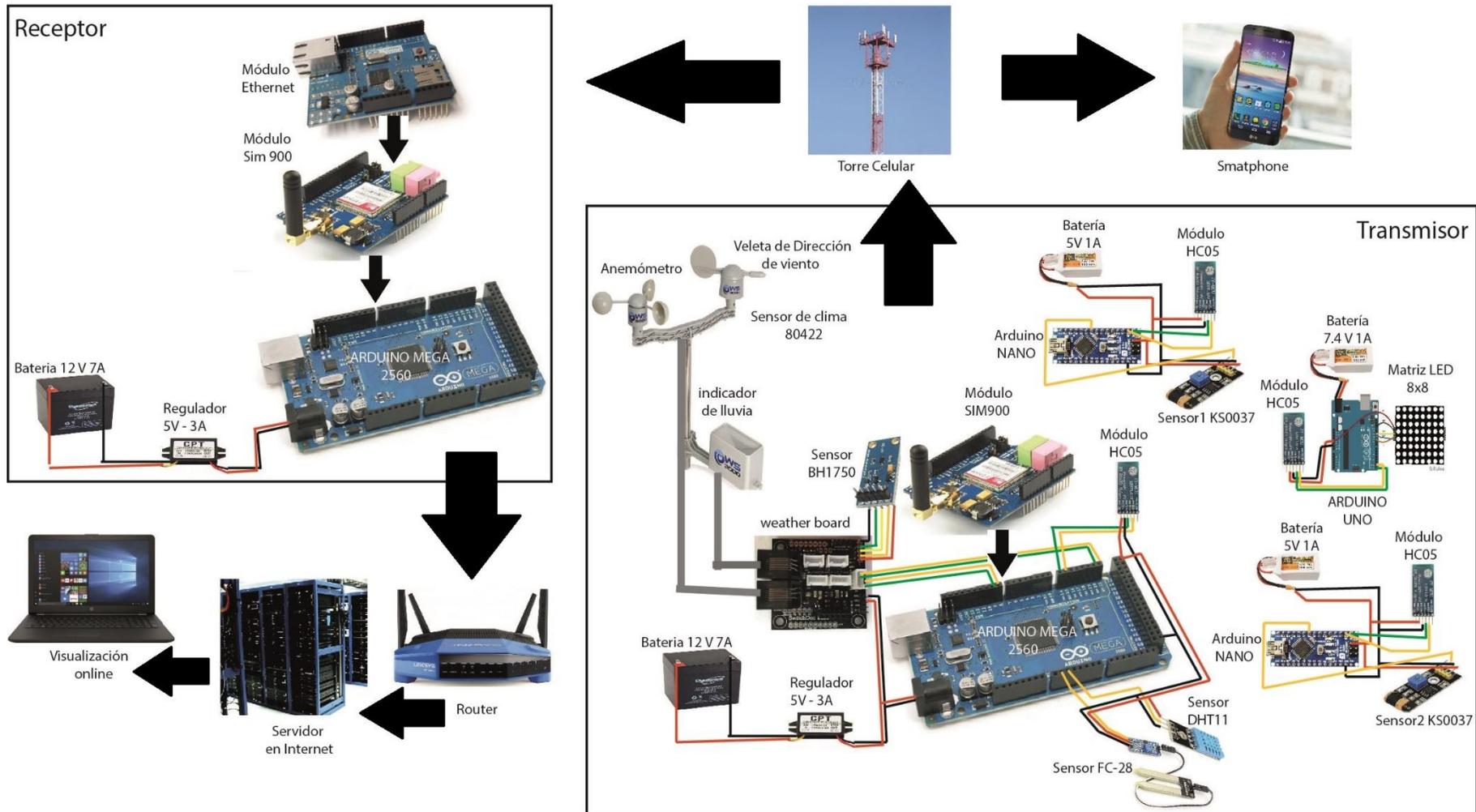
4.9 Elaboración del diseño del prototipo del sistema

Figura N°. 41: Diagrama lógico de comunicación del prototipo



Elaborado por: Investigador

Figura N°. 42: Diagrama físico de comunicación del prototipo



Elaborado por: Investigador

4.10 Construcción del prototipo

- **Dispositivos electrónicos utilizados en el transmisor:**

Los Dispositivos electrónicos que se involucran en la parte transmisora constan los siguientes:

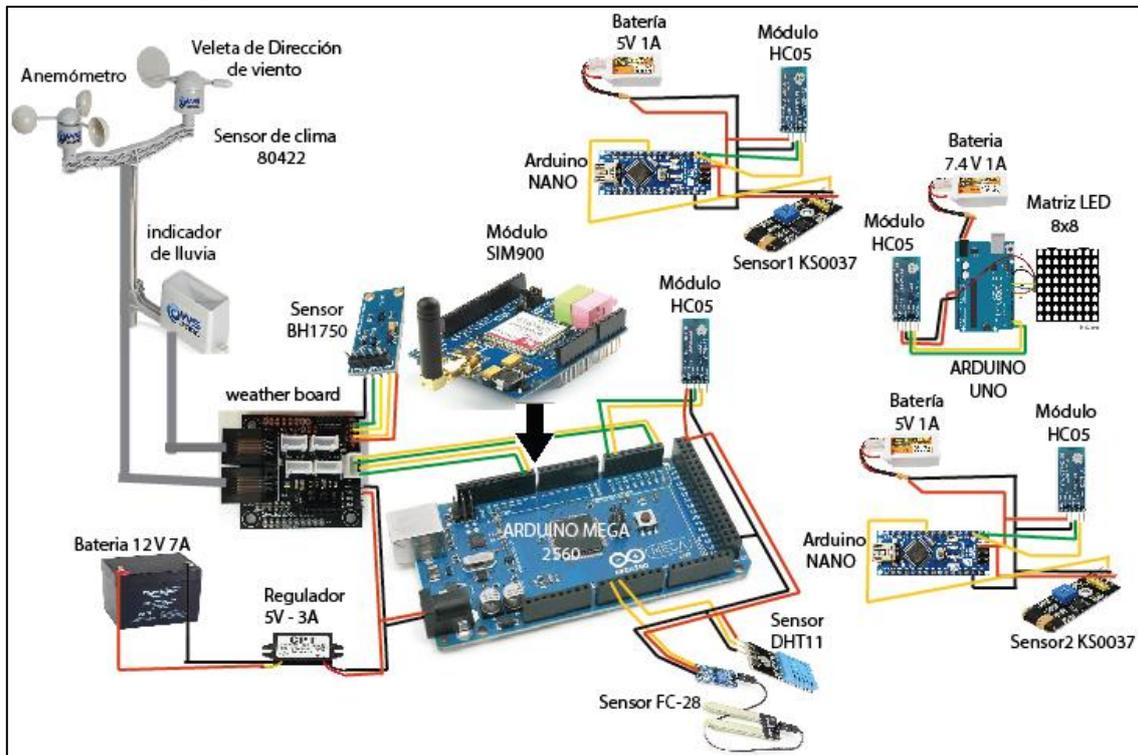
- ✓ Una placa Arduino MEGA 2560, la placa más importante capaz de procesar la información y controlar los procesos de la parte transmisora.
- ✓ Un sensor de Clima Assembly 80422, éste sensor es capaz de medir cantidad de lluvia y velocidad y dirección del viento.
- ✓ Un sensor de temperatura y humedad relativa DHT11, sensor que mide lo que su nombre lo indica.
- ✓ Dos sensores de vibración Keystudio KS0037, se trata de un sensor acelerómetro que permite trabajar a altas frecuencias y medir las oscilaciones en su interior.
- ✓ Un sensor de humedad de suelo FC-28, determina la cantidad de humedad contenida en el suelo.
- ✓ Un módulo WeatherPiArduino board, forma parte del sensor de clima y permite obtener los datos de los sensores que integran éste conjunto.
- ✓ Un sensor de luminosidad BH1750, permite medir la intensidad de luz a la que está expuesta la zona.
- ✓ Tres módulos Bluetooth HC05, permiten la transmisión/recepción de datos inalámbricamente, algunos forman parte de WSN interna.
- ✓ Una matriz LED 8x8 roja, para la alerta visual en la carretera mostrando la marca "X".
- ✓ Una batería 12V 7A, alimenta a la placa Arduino MEGA la cual exige una fuente de energía de gran potencia.
- ✓ Un regulador de voltaje a 5V 3A, como su nombre indica regula el voltaje para que sea adecuada la alimentación que soporta la placa Arduino MEGA.
- ✓ Dos Arduinos NANO, capaces de realizar los procesos requeridos de WSN interna.
- ✓ Una batería 7,4V 1A, fuente de alimentación que ocupa la placa Arduino UNO.

- ✓ Dos baterías 5V 1A, fuentes de alimentación que ocupan los Arduinos NANO.
- ✓ Un Arduino UNO rev3, capaz de realizar las tareas necesarias de la alerta en la carretera.

- **Conexiones de dispositivos del transmisor**

En la figura N°. 43 se puede apreciar el diagrama de conexiones de la parte transmisora, el “cerebro” de la transmisión es la placa Arduino MEGA, pues es la encargada de recibir los datos obtenidos por los sensores, tratarlos y entramarlos para poder ser transmitidos por el módulo SIM900 hacia la red celular.

Figura N°. 43: Conexión de elementos electrónicos en transmisor

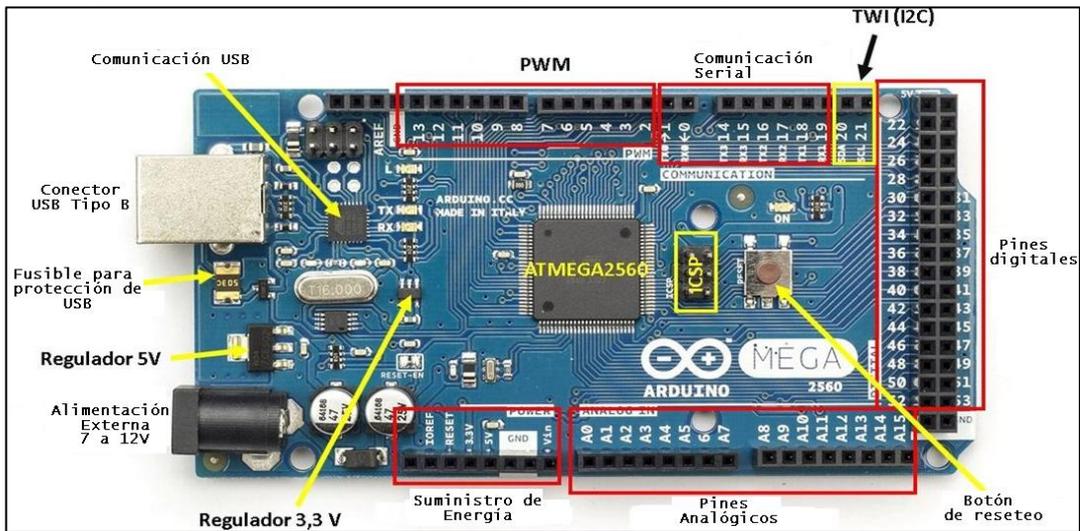


Elaborado por: Investigador

- **Placa Arduino MEGA 2560**

Ésta placa permite conexiones plug and play de muchas placas y módulos adicionales y posee una alta capacidad de procesamiento de información.

Figura N°. 44: Diagrama de componentes de la placa Arduino MEGA



Elaborado por: Investigador

- **Sensor de Clima Assembly 80422**

Dispone de 3 sensores diferentes para monitorear, la velocidad, dirección del viento y cantidad de precipitación de agua por cm^3 , adicionalmente facilita la lectura de los datos por medio de interrupciones externas, lo cual otorga una mayor precisión.

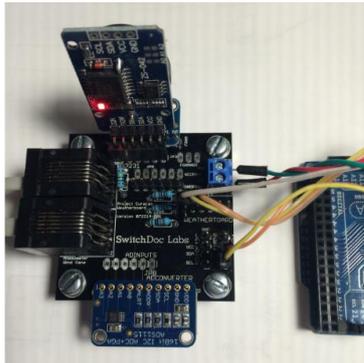
Figura N°. 45: Sensor de Clima Assembly 80422



Elaborado por: Investigador

En la Figura N°. 40 se puede distinguir la placa Weather board con integración de algunos sensores mediante comunicación I2C; posee dos sócalos de conexión RJ11, una para dirección y velocidad del viento y el otro para el indicador de lluvia, además permite conectar hasta 3 sensores adicionales con el mismo tipo de comunicación.

Figura N°. 46: Integración de sensores en la placa Weather board

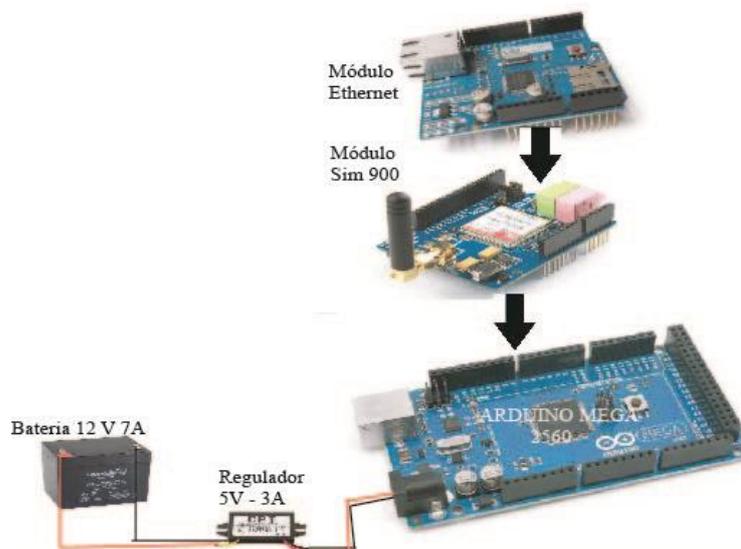


Elaborado por: Investigador

Las conexiones de los sensores de temperatura y humedad relativa, son 5V, GND y sus respectivos pines analógicos hacia la placa Arduino MEGA de lectura analógica. El módulo bluetooth maestro permite la recepción del parámetro de vibración de los sensores que para este proyecto se han ubicado dos; así como el envío de activación de la alerta visual en la carretera. Cabe enunciar que la Red WSN interna en el proyecto hace referencia a la red inalámbrica de los sensores de vibración que se lo realiza mediante Bluetooth con un máximo de hasta 6 nodos, un rango de hasta 7 metros a la redonda y una velocidad de transmisión de hasta 1Mbps.

- **Conexión de dispositivos en el receptor**

Figura N°. 47: Conexión de elementos electrónicos en receptor



Elaborado por: Investigador

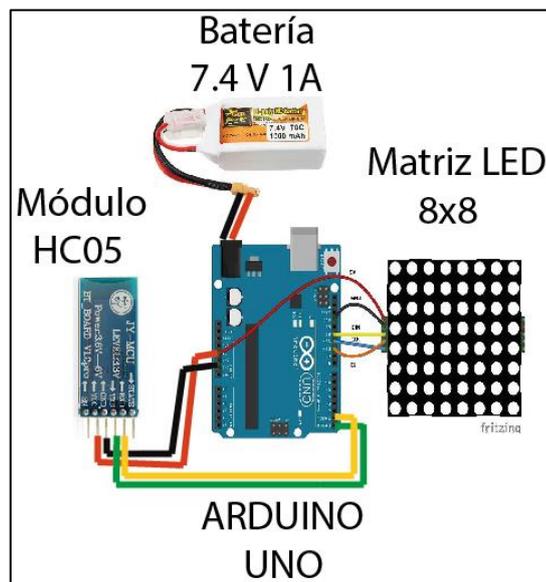
El receptor consta básicamente de:

- ✓ Una placa Arduino Mega 2560, realiza las tareas de operación, control y procesamiento de información que requiere la parte receptora.
- ✓ Un módulo SIM900, permite recibir la información enviada por el transmisor mediante comunicación GSM.
- ✓ Un módulo Shield Ethernet, permite establecer una comunicación Ethernet hacia un punto de red a Internet, por ejemplo hacia un router.
- ✓ Una batería 12V 7A, es la alimentación de la parte receptora.
- ✓ Un regulador de Voltaje a 5V 3A, regula el voltaje para que sea adecuado a esta parte del sistema.

Para el caso del receptor el mensaje es recibido como vector de tipo carácter, el cual es tratado mediante programación para obtener cada uno de los datos registrados por los sensores. El módulo GSM para éste posee un chip de la operadora MOVISTAR.

- **Envío de alertas**

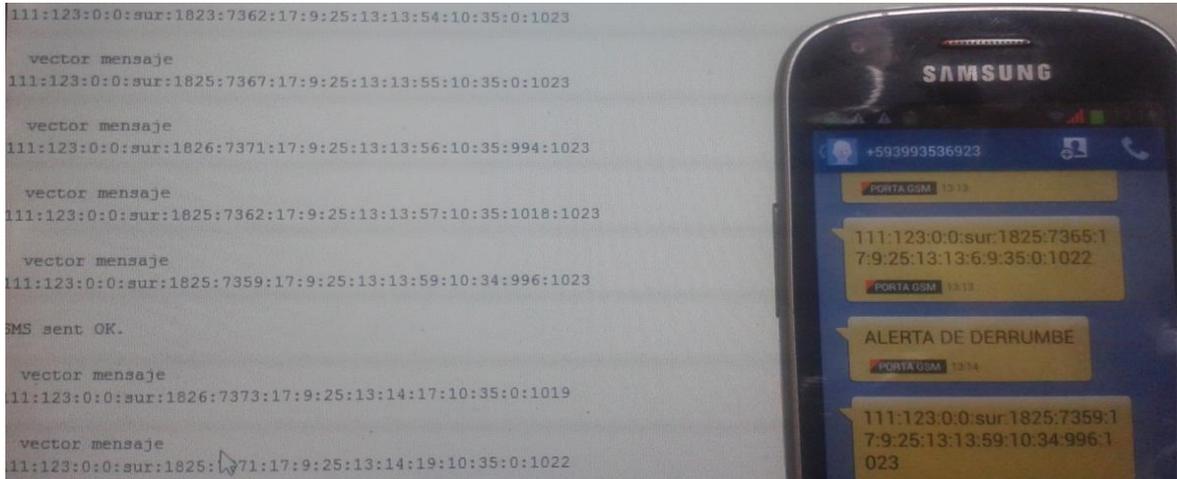
Figura N°. 48: Visualización de alerta en la carretera



Elaborado por: Investigador

La alerta por mensaje de texto SMS para este proyecto se lo realiza directamente a un número específico de teléfono y la alerta visual en la carretera se la envía a una matriz LED que se encuentra ubicada en un lugar estratégico.

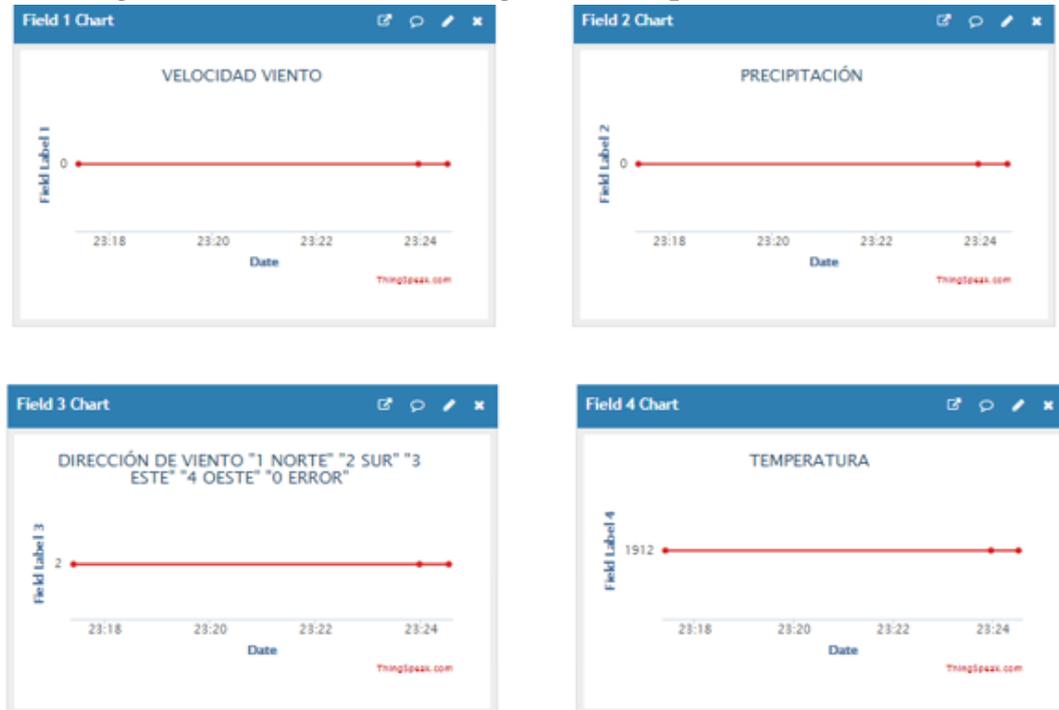
Figura N°. 49: Recepción de alerta vía SMS en celular



Elaborado por: Investigador

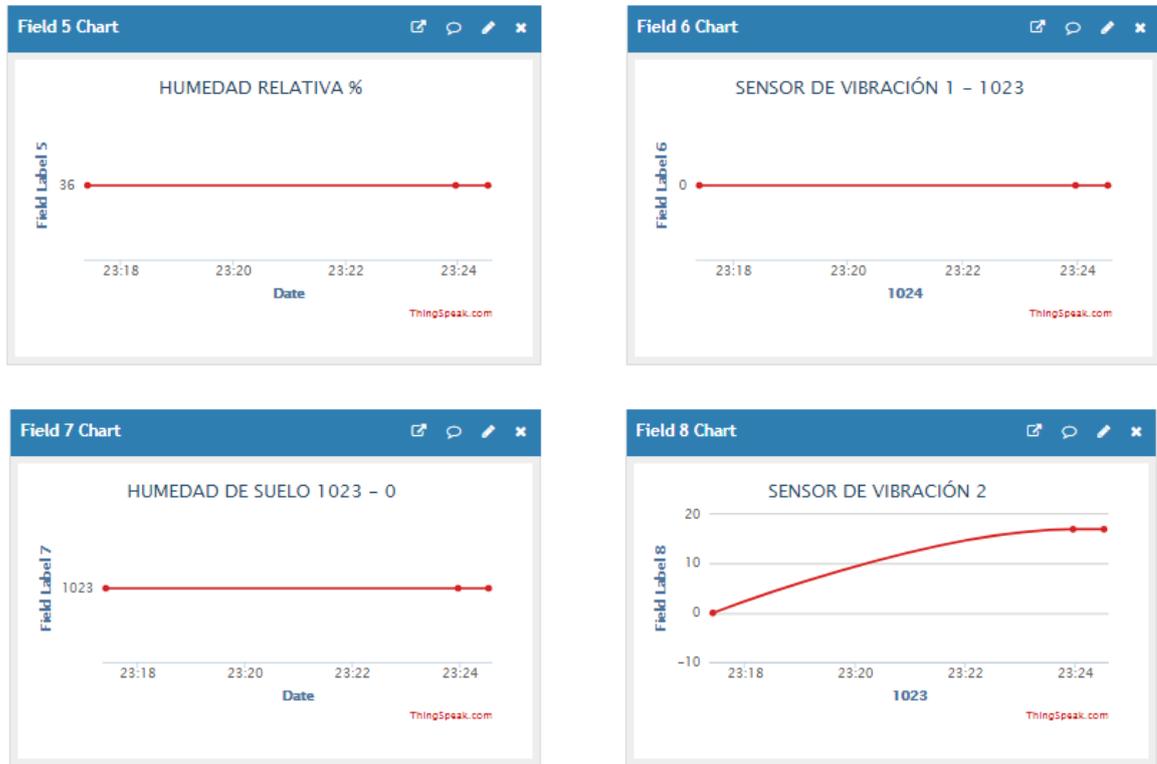
- Registro y Visualización de datos en servidor web

Figura N°. 50: Parte A del Registro de los parámetros en internet



Elaborado por: Investigador

Figura N°. 51: Parte B del Registro de los parámetros en internet



Elaborado por: Investigador

Para acceder a la información registrada por los sensores vía Internet, se debe tener una cuenta de acceso, que en este caso sería en la web thingspeak.com, de ahí se configura según los requerimientos y como se nota en la figura N°. 51 Parte A y B se puede realizar gráficas estadísticas.

4.11 Pruebas de funcionamiento del prototipo

Se realizó las pruebas de funcionamiento luego de integrar todos los dispositivos configurados y programados y se ha determinado ciertos errores, razón por la cual se ha realizado las respectivas correcciones.

Figura N°. 52: Pruebas de funcionamiento del prototipo



Elaborado por: Investigador

Figura N°. 53: Datos visualizados vía serial de los sensores

```
dir viento: 157.50 velocidad: 0.00 lluvia: 0.00 Temperatura: 24.87 presion: 847.55 sensor luz :87258725 lux fecha :17:08:31:17:12:56: Humedad Relativa: 44 % vibracion: 0 hu suelo: 173
dir viento: 157.50 velocidad: 0.33 lluvia: 0.00 Temperatura: 24.87 presion: 847.55 sensor luz :87258725 lux fecha :17:08:31:17:12:56: Humedad Relativa: 44 % vibracion: 0 hu suelo: 172
dir viento: 157.50 velocidad: 0.00 lluvia: 0.00 Temperatura: 24.87 presion: 847.64 sensor luz :87218721 lux fecha :17:8:3:17:12:57: Humedad Relativa: 44 % vibracion: 0 hu suelo: 173
dir viento: 157.50 velocidad: 0.00 lluvia: 0.00 Temperatura: 24.87 presion: 847.62 sensor luz :87208720 lux fecha :17:8:3:17:12:57: Humedad Relativa: 44 % vibracion: 0 hu suelo: 173
dir viento: 157.50 velocidad: 0.00 lluvia: 0.00 Temperatura: 24.86 presion: 847.63 sensor luz :87248724 lux fecha :17:8:3:17:12:57: Humedad Relativa: 44 % vibracion: 0 hu suelo: 174
dir viento: 157.50 velocidad: 0.43 lluvia: 0.00 Temperatura: 24.87 presion: 847.65 sensor luz :87198719 lux fecha :17:8:3:17:12:58: Humedad Relativa: 44 % vibracion: 0 hu suelo: 173
dir viento: 157.50 velocidad: 1.05 lluvia: 0.00 Temperatura: 24.87 presion: 847.66 sensor luz :87178717 lux fecha :17:8:3:17:12:58: Humedad Relativa: 44 % vibracion: 0 hu suelo: 171
dir viento: 157.50 velocidad: 0.00 lluvia: 0.00 Temperatura: 24.87 presion: 847.63 sensor luz :87218721 lux fecha :17:8:3:17:12:59: Humedad Relativa: 44 % vibracion: 0 hu suelo: 173
dir viento: 0.00 velocidad: 0.00 lluvia: 0.00 Temperatura: 24.87 presion: 847.60 sensor luz :86888688 lux fecha :17:8:3:17:12:59: Humedad Relativa: 44 % vibracion: 0 hu suelo: 171
dir viento: 0.00 velocidad: 0.00 lluvia: 0.00 Temperatura: 24.87 presion: 847.60 sensor luz :86538653 lux fecha :17:8:3:17:13:0: Humedad Relativa: 44 % vibracion: 0 hu suelo: 173
dir viento: 0.00 velocidad: 0.00 lluvia: 0.00 Temperatura: 24.87 presion: 847.62 sensor luz :86548654 lux fecha :17:8:3:17:13:0: Humedad Relativa: 44 % vibracion: 0 hu suelo: 173
dir viento: 0.00 velocidad: 0.38 lluvia: 0.00 Temperatura: 24.88 presion: 847.67 sensor luz :86528652 lux fecha :17:8:3:17:13:1: Humedad Relativa: 44 % vibracion: 0 hu suelo: 173
dir viento: 157.50 velocidad: 1.47 lluvia: 0.00 Temperatura: 24.87 presion: 847.66 sensor luz :86858685 lux fecha :17:8:3:17:13:1: Humedad Relativa: 44 % vibracion: 0 hu suelo: 176
dir viento: 135.00 velocidad: 3.15 lluvia: 0.00 Temperatura: 24.87 presion: 847.62 sensor luz :87058705 lux fecha :17:8:3:17:13:2: Humedad Relativa: 44 % vibracion: 0 hu suelo: 176
dir viento: 135.00 velocidad: 1.65 lluvia: 0.00 Temperatura: 24.86 presion: 847.64 sensor luz :86878687 lux fecha :17:8:3:17:13:2: Humedad Relativa: 44 % vibracion: 0 hu suelo: 176
dir viento: 135.00 velocidad: 3.22 lluvia: 0.00 Temperatura: 24.87 presion: 847.63 sensor luz :86878687 lux fecha :17:8:3:17:13:3: Humedad Relativa: 44 % vibracion: 0 hu suelo: 173
dir viento: 157.50 velocidad: 3.04 lluvia: 0.00 Temperatura: 24.85 presion: 847.61 sensor luz :87058705 lux fecha :17:8:3:17:13:3: Humedad Relativa: 44 % vibracion: 0 hu suelo: 169
dir viento: 0.00 velocidad: 1.68 lluvia: 0.00 Temperatura: 24.86 presion: 847.65 sensor luz :86658665 lux fecha :17:8:3:17:13:4: Humedad Relativa: 44 % vibracion: 0 hu suelo: 171
dir viento: 0.00 velocidad: 3.45 lluvia: 0.00 Temperatura: 24.85 presion: 847.63 sensor luz :86478647 lux fecha :17:8:3:17:13:4: Humedad Relativa: 44 % vibracion: 0 hu suelo: 172
dir viento: 157.50 velocidad: 3.33 lluvia: 0.00 Temperatura: 24.86 presion: 847.61 sensor luz :86948694 lux fecha :17:8:3:17:13:5: Humedad Relativa: 44 % vibracion: 0 hu suelo: 176
```

Elaborado por: Investigador

4.12 Corrección de errores en pruebas de funcionamiento

Se ha realizado las correcciones respectivas luego de haber puesto en funcionamiento al prototipo y se mencionan algunas:

- Se ha corregido el envío de la alerta dado que se transmitía a la misma hora todos los días, más ésta se debía enviar en caso de presentarse un derrumbe en el sector.
- Al momento de cargar la información de los sensores al servidor gratuito en internet se presentó inconvenientes en la recepción de los datos, puesto que para cargar la

información a la web ThingSpeak, los datos estaban en un vector de tipo caracter y debían ser de tipo entero o doble.

- Algunos sensores se los recalibró para que se registren datos que representen un mejor campo de observación realista sobre la situación del entorno.

4.13 Resultados del funcionamiento del prototipo

El tiempo de respuesta aproximado para el envío-recepción del mensaje de texto es de 5 segundos, para ambos receptores (tanto al receptor del prototipo para cargar los datos al servidor web como al receptor de la alerta en el teléfono celular); ya que este valor depende de la conexión y el tiempo de transmisión de la operadora de telefonía celular.

El tiempo de respuesta de los sensores es aproximadamente ½ segundo, el mismo tiempo se produce en el sensor de vibración.

El registro regular de la información a diario se lo realiza a las 7:00 AM, 1:00 PM Y 7:00 PM, en el que la información es enviada vía SMS al receptor del prototipo para su posterior envío al servidor web, según lo sugerido por la OMM. En caso de deslizamiento la información es enviada al instante al servidor.

En la tabla N°. 20 se especifica los datos promediados obtenidos por día (7:00 PM).

Tabla N°. 20: Registro diario promedio de los datos medidos por los sensores

Fecha	Temperatura (°C)	Luz (lux)	Velocidad Viento (km/h)	Dirección Viento	Humedad Suelo (10 bits)	Humedad Relativa (%)	Lluvia (mm ³)	Vibración (10 bits)
01/09/2017	16	55230	18	NO	352	82	729	440
02/09/2017	22	60514	12	NE	168	68	0	420
04/09/2017	23	61349	16	SO	173	70	0	425
05/09/2017	19	58847	14	SE	172	60	0	430
06/09/2017	20	59716	16	NE	178	58	0	420
07/09/2017	21	60103	17	NO	170	62	0	440
08/09/2017	19	58748	15	SO	169	60	0	440
09/09/2017	22	60118	18	SE	175	60	0	430

Elaborado por: Investigador

En caso de deslizamiento de tierra, los tiempos de alerta del sistema son:

- ✓ Primer alerta, alerta visual en la vía y la más importante: 2 segundos
- ✓ Segunda alerta, alerta vía SMS a celular de la persona encargada del monitoreo: 6 segundos
- ✓ Tercer alerta, alerta vía SMS al receptor del prototipo y cargar al servidor web: 9 segundos

El vector mensaje que contiene los datos obtenidos por los sensores consta de 100 caracteres (bytes) aproximadamente, lo cual no sobrepasa la capacidad por mensaje de texto permitido por las operadoras de 160 caracteres; y el vector de alerta de deslizamiento consta de 18 caracteres (bytes), de las cuales para la segunda alerta son enviadas ambos vectores, mientras que para la última alerta solamente es enviado el vector mensaje.

El tiempo aproximado de duración de la batería tanto para transmisor y receptor como para nodos sensores de vibración es de 2 semanas.

Se ha presentado un retardo en la comunicación Bluetooth pues la capacidad de procesamiento en la placa Arduino MEGA casi ha llegado a su máxima; además las interferencias que se han presentado en las pruebas han dado como resultado medio minuto de demora; aún pueden haber variaciones de tiempo; para mejorar esta problemática se ha procedido a hacer modificaciones en hardware y código a fin de mantener una alerta temprana.

4.14 Simulación de un caso de deslizamiento de tierra

A continuación se establecen condiciones climáticas con el fin de simular un caso de deslizamiento de tierra en un día lluvioso y se notará en el servidor la variación que presentan las gráficas. Cabe enunciar que el motivo al cual se elige definir un clima lluvioso es por el alto porcentaje registrado de casos de derrumbes y deslaves en vías y carreteras del país.

Figura N°. 54: Simulación de un día lluvioso registrado en servidor



Elaborado por: Investigador

Como se puede notar en la Figura N°. 54, las variaciones en los sensores dan un bosquejo del clima al momento; esto se refiere a que es posible identificar los parámetros climáticos que son actores principales en un eventual deslizamiento como para este caso un día lluvioso.

Entonces existe una mayor probabilidad de deslizamiento de tierra en días con precipitaciones que con otros días.

4.15 Informe económico del prototipo

A continuación se detallan los costos de los componentes del transmisor.

Tabla N°. 21: Costos de dispositivos utilizados en el transmisor

Cantidad	Descripción	Costo unitario	Costo Total
1	Sensor de Clima (incluido Weather board)	150,00	150,00
1	Sensor de temperatura y RH	8,00	8,00
1	Sensor de humedad del suelo	8,00	8,00
1	Sensor de luz	6,00	6,00
1	Arduino MEGA	20,00	20,00
1	Módulo GSM/GPRS	50,00	50,00
1	Chip operadora MOVISTAR + paquete SMS	7,00	7,00
10	Cable UTP cat 5e (1 metro)	0,50	5,00
1	Batería 12V 7A	20,00	20,00
1	Batería 7,4V1A	15,00	15,00
2	Batería 5V 1A	10,00	20,00
1	Regulador de voltaje 5V 3A	3,00	3,00
4	Módulo Bluetooth	10,00	40,00
2	Arduino NANO	10,00	20,00
2	Sensor de vibración	10,00	20,00
1	Matriz LED	5,00	5,00
1	Arduino UNO	12,00	12,00
1	Gabinete Metálico IP64	35,00	35,00
TOTAL (USD)			444,00

Elaborado por: Investigador

A continuación se detalla los costos de los componentes receptor.

Tabla N°. 22: Descripción de costos del receptor

Cantidad	Descripción	Costo unitario	Costo Total
1	Arduino MEGA	20,00	20,00
1	Módulo GSM/GPRS	50,00	50,00
1	Chip operadora MOVISTAR	3,00	3,00
1	Módulo Shield ethernet	12,00	12,00
TOTAL (USD)			85,00

Elaborado por: Investigador

Por tanto el costo total del prototipo en el proyecto es de **USD 529,00**.

CONCLUSIONES

Al analizar cada uno de los factores ambientales que intervienen en un deslizamiento de tierra, se ha llegado a concluir que los actores principales son: pendiente, naturaleza del material, presencia de agua y vibraciones, los mismos que representan en parte variables necesarias para establecer modelos matemáticos predictivos.

Al utilizar tecnologías inalámbricas, hardware libre y aplicar WSN para el monitoreo de deslizamientos de tierra se ha podido concluir que se puede obtener un sistema de igual rendimiento que un sistema cableado, pero a menos costo.

Según los resultados que muestra el prototipo, los tiempos de respuesta para alertar ante deslizamientos son casi instantáneos, con lo que se cumple una parte primordial del sistema que es avisar tempranamente ante el desastre y por ende precautelar la mayor cantidad de vidas humanas que transitan por la vía.

Mediante pruebas de funcionamiento realizadas al prototipo, se ha llegado a concluir que el tiempo máximo de operación ininterrumpida mediante las baterías implementadas se ha estimado a 2 semanas.

La gran facilidad de código libre de las librerías que se proporcionan a la plataforma Arduino y disponibilidad en la web ya sea de fabricantes o de terceros, han permitido una fácil configuración, integración sencilla y escalable de los módulos que intervienen en el prototipo del sistema.

Se ha podido concluir que de los factores climáticos medibles más importantes obtenidos por el sistema los cuales son humedad, precipitación, temperatura y velocidad de viento, permiten en su mayoría predecir un eventual deslizamiento de tierra, lo que conlleva que sea posible establecer un modelo matemático predictivo como puede ser el modelo de regresión lineal.

RECOMENDACIONES

Una de las recomendaciones está dirigida al personal encargado del sistema de alcantarillado de mantener el drenaje de los sectores aledaños a las carreteras sin obstrucciones, ya que en algunos lugares se crean pequeñas acumulaciones de agua lo que incide a formar una mayor humedad en el suelo.

Al departamento técnico del INAMHI se recomienda mantener un constante control del servicio web pues cierta información indispensable para el proyecto no se la ha podido recabar por caída del servicio o información inexistente, incluso para cualquier usuario.

Se recomienda hacer referencia al presente proyecto de investigación para la implementación de un sistema similar a gran escala como obra pública para las diferentes vías rodeadas de zonas montañosas del país.

Para un largo tiempo de operación ininterrumpida del prototipo, por ejemplo 6 meses, se recomienda rediseñar la parte de la fuente de energía añadiendo la utilización de un panel solar conjuntamente con una batería, lo cual hará depender al sistema de la vida útil de la última mencionada.

Al momento de realizar la adquisición de los elementos electrónicos se recomienda evaluar los posibles mercados, físicos como virtuales, notando precios y tiempos de entrega; pues como en el caso del sensor de vibración utilizado en este proyecto, se tuvo que importar a un bajo costo pero con un tiempo elevado de entrega, un mes, además de ser el sensor con mayor prestación por sus características técnicas.

Para mayor información acerca de proyectos con el servidor IoT ThingSpeak, se aconseja visitar páginas web de github.com y mathworks.com que detallan de manera muy técnica y de fácil aprendizaje la teoría, configuraciones y ejemplos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] V. T. Castejón, Políticas de Transporte y Gestión de la Demanda: Logros e insuficiencias, Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2012.
- [2] L. Fajardo, «Los países con las mejores y las peores carreteras en A. Latina,» *BBC Mundo*, 2015.
- [3] Agencia Nacional de Tránsito, «SINIESTROS DE TRÁNSITO EN 2016 COMPARADOS CON EL 2015,» Quito, 2016.
- [4] E. Intrieri, G. Gigli, F. Mugnai, R. Fanti y N. Casagli, «Design and implementation of a landslide early warning system,» Centro de Italia, 2012.
- [5] D. Vargas, E. Rodríguez y J. Otero, «Alternativas para la detección y monitoreo de amenazas sísmicas basadas en Arduino,» Colombia, 2013.
- [6] C. Reinoso, «Diseño y construcción de un prototipo de sistema de sensores inalámbricos para alerta temprana de deslaves,» Ecuador, 2013.
- [7] J. Chaves, N. Hernández y M. Hernández, «Sistema de monitoreo y alerta ante deslizamientos y deslaves en la comunidad de Jucó de Orosi,» Costa Rica, 2011.
- [8] A. Zambrano, «Arquitectura e Implementación de un Sistema Distribuido de Detección de Sismos para Alerta Temprana,» España, 2013.
- [9] J. Dercourt y J. Paquet, Geología, Barcelona: Reverté, 1978.
- [10] J. Suarez, «Deslizamientos: Análisis Geotécnico,» vol. I, Santander, Publicaciones UIS, 1998.
- [11] D. Varnes, Slope Movement: Types and processes, Washington, 1978.
- [12] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, Aspectos ergonómicos de las vibraciones, Madrid, 2014.
- [13] M. Griffin, «Vibraciones,» de *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*, Madrid, 1998, p. 50.2.
- [14] Secretaría técnica de Gestión de Riesgos, Guía para la elaboración de la variable de riesgo en la gestión integral de nuevos proyectos de infraestructura, Quito: Publiasesores, 2011.

- [15] E. Sanchis, *Sistemas Electrónicos Digitales Fundamentos y Diseño de aplicaciones*, Valencia: UPV, 2002.
- [16] T. Wayne, *Sistemas de comunicación electrónica*, Arizona: Prentice Hall, 2003.
- [17] R. Tocci y N. Widmer, *Sistemas digitales Principios y aplicaciones*, Octava ed., New Jersey: Prentice Hall, 2001.
- [18] A. Tanenbaum, *Redes de computadoras*, Cuarta ed., Juárez: Prentice Hall, 2003.
- [19] J. Yaguar, «Sistema móvil de alerta temprana para el control ambiental del componente de riego, drenaje y piscicultura del gobierno autónomo descentralizado provincial de Pastaza,» Ambato, 2017.
- [20] S. Moroto, «Desarrollo de aplicaciones basadas en WSN,» Valencia, 2010.
- [21] L. Corona, G. Abarca y J. Carreño, *Sensores y actuadores Aplicaciones con Arduino*, México D.F.: Patria, 2014.
- [22] A. Serna, F. Ros y J. Rico, *Guía practica de sensores*, Madrid: Copyright, 2010.
- [23] J. Martin, *Instalaciones Domóticas*, México D.F.: Editex, 2009.
- [24] J. Angulo y I. Angulo, *Microcontroladores PIC Diseño práctico de aplicaciones*, Tercera ed., Madrid: McGraw-hill, 2003.
- [25] Users, *Microcontroladores Funcionamiento, programación y usos prácticos*, Buenos Aires: Red Users, 2011, p. 368.
- [26] J. Basterretche, «Dispositivos Móviles,» UNAM, Buenos Aires, 2007.
- [27] E. Ortega, «La telefonis móvil de cuarta generación 4G y Long Term Evolution,» Ingenius-UPS, Quito, 2015.
- [28] A. Fernández, D. González y A. Rubio, «Telefonía Móvil Transmisión y redes de datos,» UHU, Huelva, 2002.
- [29] M. Fernandez, «Wireless Sensor Network,» [En línea]. Available: <http://www.mfbarcell.es/conferencias/wsn.pdf>. [Último acceso: 28 Julio 2017].
- [30] J. Casademont, *Redes de comunicaciones: De la telefonía móvil a internet*, Catalunya: UPC, 2010.
- [31] H. Deitel y P. Deitel, *Como programar en C, C++ y Java*, Cuarta ed., Mexico D.F.: Prentice Hall, 2004.

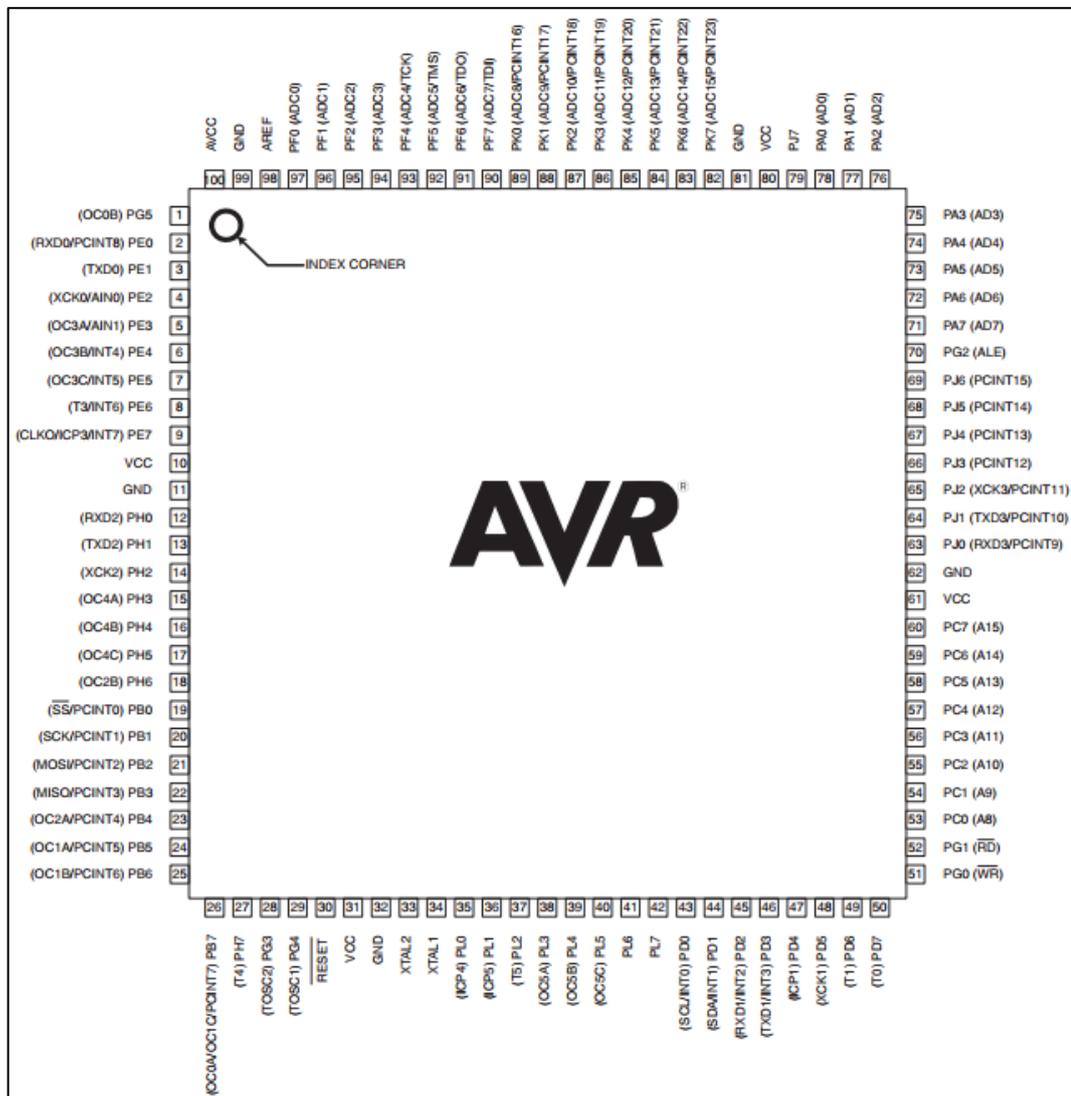
- [32] R. Herrador, Guía de usuario de arduino, Cordova: Creative Commons, 2009.
- [33] W. Pinto, «Tránsito detenido varias horas en vía Baños-Puyo,» *El Universo*, 2 Marzo 2016.
- [34] J. Laborda, «Github,» 1 Mayo 2017. [En línea]. Available:
<https://github.com/jaimelaborda/Planta-Twittera/wiki/5.-ThingSpeak:-Internet-of-Things>. [Último acceso: 13 Septiembre 2017].

ANEXOS

Anexo A: Hoja de especificaciones técnicas de la placa Arduino MEGA

Technical Specification	
Summary	
Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

Fuente: <http://www.mantech.co.za/datasheets/products/A000047.pdf>



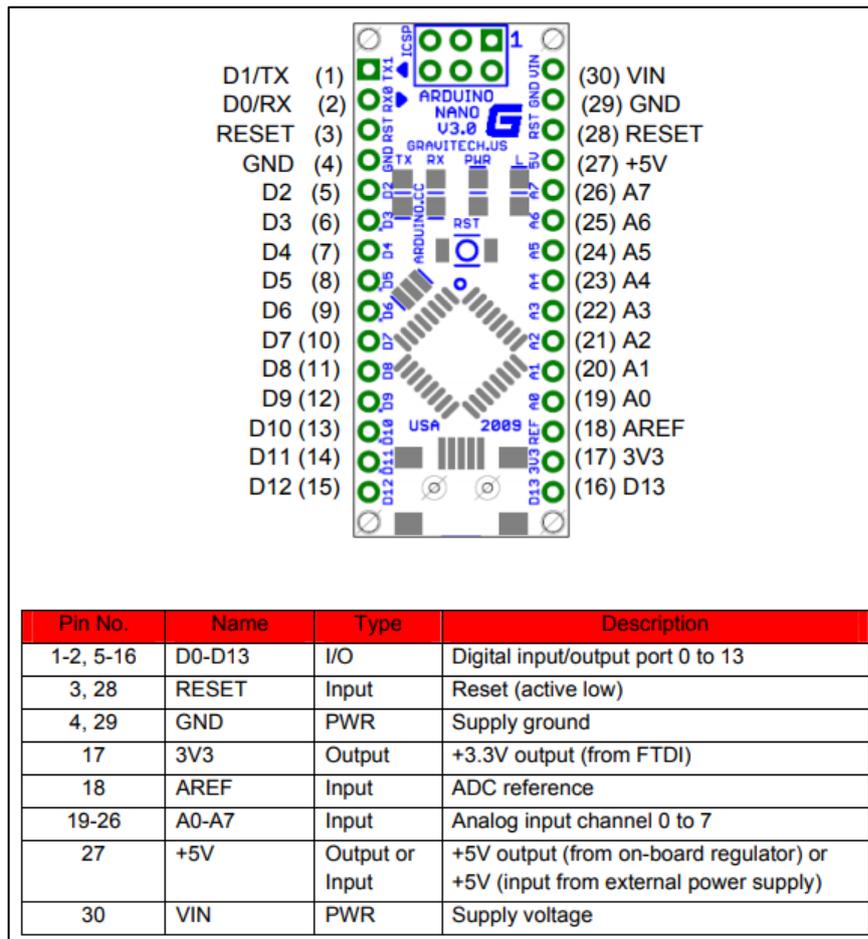
Fuente: <http://www.atmel.com/Images/Atmel-2549-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega640-1280-1281->

2560-2561_datasheet.pdf

Anexo C: Hoja de especificaciones técnicas de la placa Arduino NANO

 Technical Specification 	
Summary	
Microcontroller	Atmel ATmega168 or ATmega328
Operating Voltage (logic level)	5 V
Input Voltage (recommended)	7-12 V
Input Voltage (limits)	6-20 V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	8
DC Current per I/O Pin	40 mA
Flash Memory	16 KB (ATmega168) or 32 KB (ATmega328) of which 2 KB used by bootloader
SRAM	1 KB (ATmega168) or 2 KB (ATmega328)
EEPROM	512 bytes (ATmega168) or 1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz
Dimensions	0.73" x 1.70"

Fuente: http://www.itisfermi.it/enforce/pdf/arduino_nano/tech.pdf



Fuente: <http://www.es.co.th/Schematic/PDF/ARMB-0022.PDF>

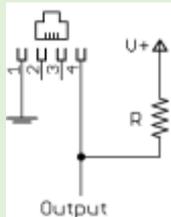
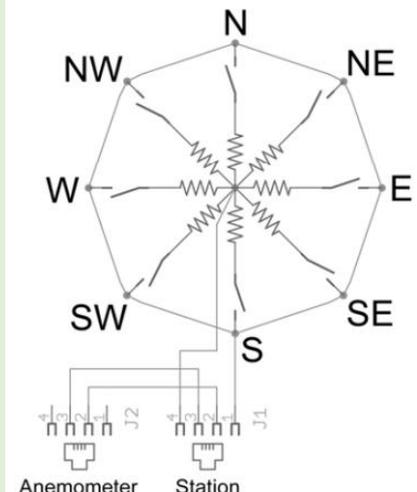
Anexo D: Hoja de especificaciones técnicas del sensor de clima Assembly 80422



Weather Sensor Assembly p/n 80422

Imported by Argent Data Systems



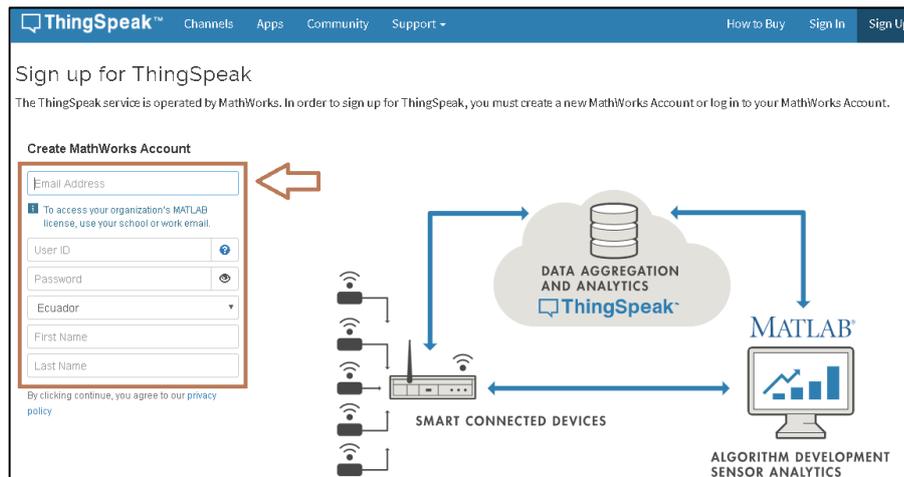
Elemento	Descripción
Pluviómetro	Cada 0.011 pulgadas (0.2794 mm) de lluvia provoca un cierre momentáneo de contactos que puede ser registrado con un contador digital o una interrupción de entrada del microcontrolador. El interruptor del medidor está conectado a los dos conductores centrales del cable con terminación RJ11
Anemómetro	El anemómetro tipo copa mide la velocidad del viento al cerrarse un contacto cuando un imán se mueve más allá del interruptor. Una velocidad del viento de 1.492 mph (2.4 km/h) hace que el interruptor se cierre una vez por segundo. El interruptor del anemómetro está conectado a los dos conductores internos del cable RJ11 compartido por el anemómetro y la veleta (pines 2 y 3)
Veleta de viento	<p>La veleta es el más complicado de los tres sensores. Tiene ocho interruptores, cada uno conectado a una resistencia diferente. El imán de la veleta puede cerrar dos interruptores a la vez, lo que permite indicar hasta 16 posiciones diferentes. Se puede usar una resistencia externa para formar un divisor de voltaje, produciendo una salida de voltaje que se puede medir con un convertidor analógico digital</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div>

Fuente: www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Weather/Weather%20Sensor%20Assembly..pdf

Anexo E: Primeros pasos en ThingSpeak

Para registrarse se debe hacerlo en la página web <https://thingspeak.com/> en el apartado “Sign Up”. Es necesario disponer de una cuenta de email válida. Lo siguiente es llenar los campos con los datos requeridos como email, usuario, contraseña, entre otros. [34]

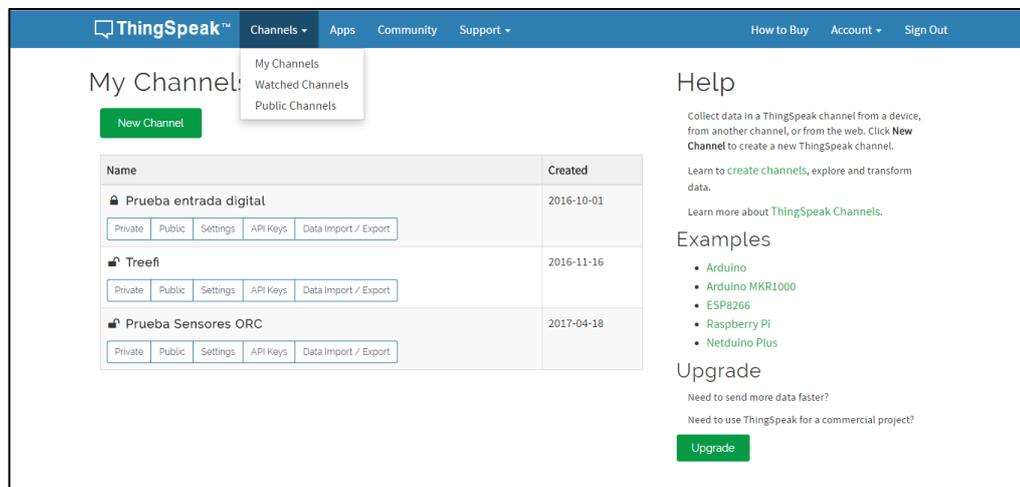
Figura N°. 55: Registro de cuenta en Servidor ThingSpeak



Fuente: www.thingspeak.com

Una vez registrado, se procede a ingresar en el portal web y seleccionar al apartado “Channels”, un solo proyecto por canal con hasta 8 variables que se pueden registrar por proyecto.

Figura N°. 56: Registro de un proyecto en ThingSpeak



Fuente: www.github.com [34]

Rellenar los campos requeridos como Nombre del canal, Descripción, Nombre de cada variable, entre otros. Tomar muy en cuenta el orden en el que se definan los campos que almacenan las variables, pues deberán coincidir según el orden de las variables del proyecto.

Para este caso se procede a rellenar los campos de variables de la siguiente manera:

Figura N°. 57: Registro de las variables del proyecto en ThingSpeak

The screenshot shows the 'New Channel' page on ThingSpeak. The form includes the following fields and values:

- Name:** Planta Twittera
- Description:** Ejemplo para el taller de Techfest de Planta Twittera. MakersUPV
- Field 1:** Temperatura (checked)
- Field 2:** Humedad Relativa (checked)
- Field 3:** Humedad Suelo (checked)
- Field 4:** (unchecked)
- Field 5:** (unchecked)
- Field 6:** (unchecked)
- Field 7:** (unchecked)
- Field 8:** (unchecked)
- Metadata:** (empty)

The 'Channel Settings' section on the right includes the following instructions:

- Channel Name:** Enter a unique name for the ThingSpeak channel.
- Description:** Enter a description of the ThingSpeak channel.
- Field#:** Check the box to enable the field, and enter a field name. Each ThingSpeak channel can have up to 8 fields.
- Metadata:** Enter information about channel data, including JSON, XML, or CSV data.
- Tags:** Enter keywords that identify the channel. Separate tags with commas.
- Latitude:** Specify the position of the sensor or thing that collects data in decimal degrees. For example, the latitude of the city of London is 51.5072.
- Longitude:** Specify the position of the sensor or thing that collects data in decimal degrees. For example, the longitude of the city of London is -0.1275.
- Elevation:** Specify the position of the sensor or thing that collects data in meters. For example, the elevation of the city of London is 35.052.
- Make Public:** if you want to make the channel publicly available, check this box.
- URL:** if you have a website that contains information about your ThingSpeak channel, specify the URL.

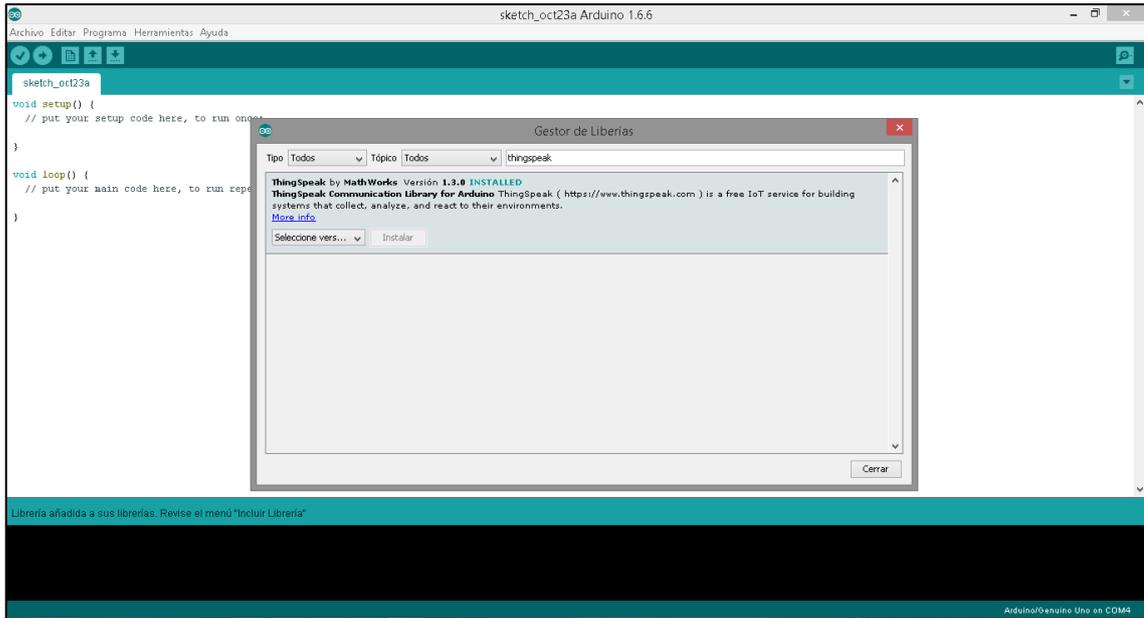
Fuente: www.github.com [34]

- “Field1”: Temperatura
- “Field2”: Humedad relativa
- “Field3”: Humedad suelo

Si se desea una posterior edición de éstas configuraciones del canal se lo puede hacer en el apartado “Channel Settings”. En el apartado “Sharing” seleccionar la segunda opción que permite ver el canal públicamente.

Como siguiente paso es el de obtener y adjuntar a la biblioteca de Arduino IDE la librería de comunicación con ThinkSpeak que se puede descargar gratuitamente.

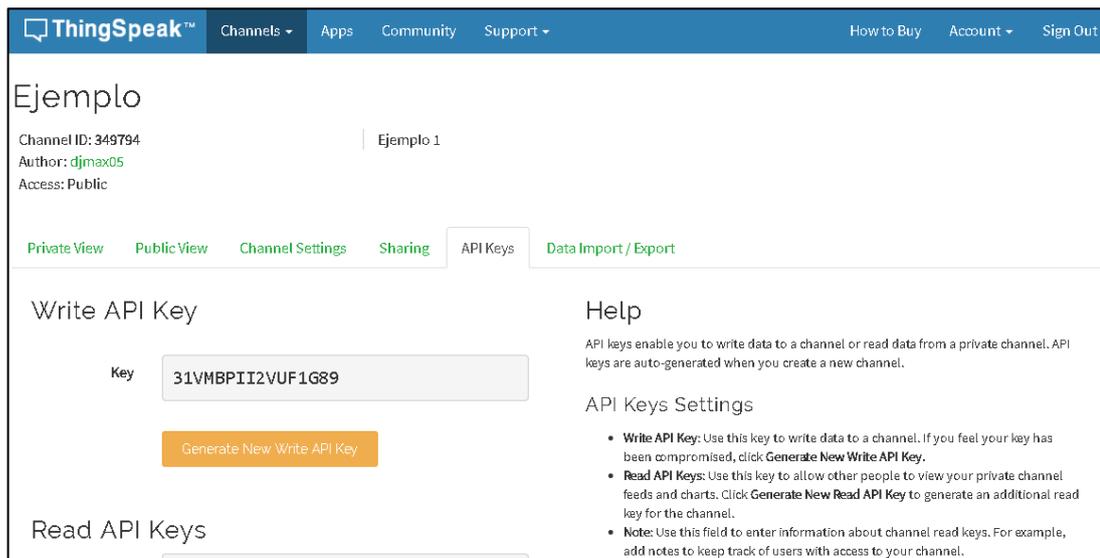
Figura N°. 58: Instalación de librería de comunicación con ThingSpeak



Elaborado por: Investigador

A continuación se debe obtener la “Write API Key” que es el permiso e identificación del canal creado el cual ha asignado ThingSpeak, esta serie entre números y letras se debe introducirla en la línea de código de la librería agregada anteriormente, en “String writeAPIKey”.

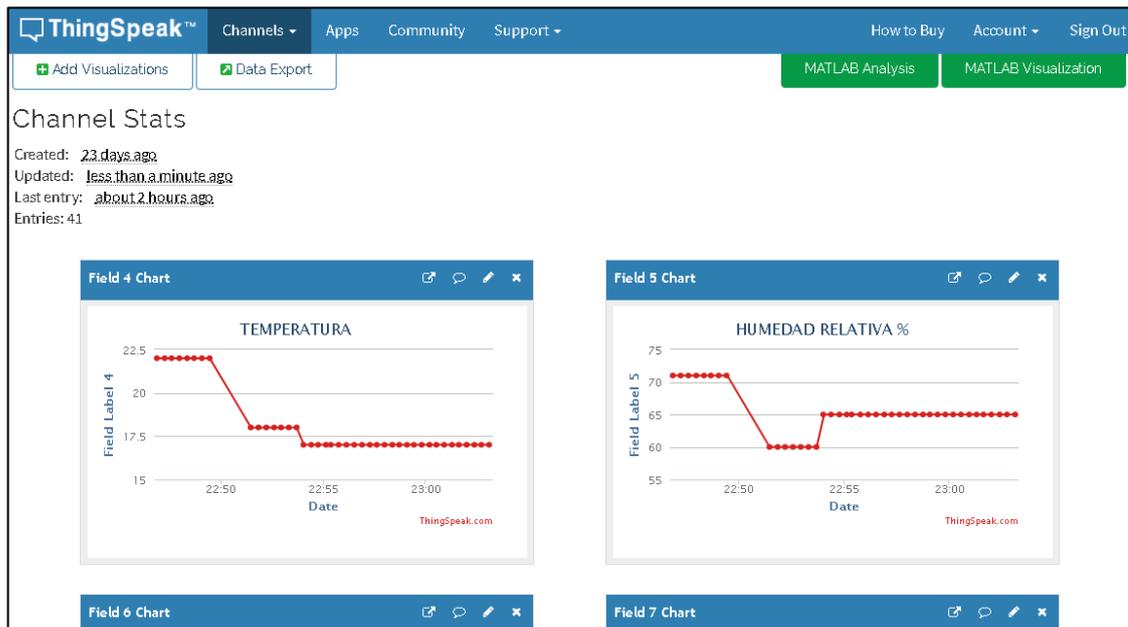
Figura N°. 59: Visualización de la Write API Key de ThingSpeak



Fuente: www.thingspeak.com

Los pasos siguientes consistirán en editar la librería de ThingSpeak según los requerimientos del proyecto que se esté realizando, adjuntar las librerías necesarias y cargar a la placa Arduino que se esté utilizando. Si todo está correctamente programado, se notará como se cargan los datos en el servidor web cada cierto tiempo establecido en la programación.

Figura N°. 60: Visualización de la Write API Key de ThingSpeak



Fuente: www.thingspeak.com

Anexo F: Líneas de código de la programación del prototipo

```
*****Transmisor*****

#include "Wire.h"
#include "Time.h"
#include "Adafruit_ADS1015.h"
#include "SDL_Weather_80422.h"
#include "SIM900.h"
#include <SoftwareSerial.h>
#include "sms.h"
MSGSMS sms;
#define pinLED 13 // LED connected to digital pin 13
#define pinAnem 3 // Anenometer connected to pin 18 - Int 5 - Mega / Uno pin 2
#define pinRain 2 // Anenometer connected to pin 2 - Int 0 - Mega / Uno Pin 3
#define intAnem 1 // int 0 (check for Uno)
#define intRain 0 // int 1
// for mega, have to use Port B - only Port B works.
/*
  Arduino Pins    PORT
  -----
  Digital 0-7     D
  Digital 8-13    B
  Analog 0-5      C
*/
// initialize SDL_Weather_80422 library
SDL_Weather_80422 weatherStation(pinAnem, pinRain, intAnem, intRain, A1,
SDL_MODE_INTERNAL_AD);
uint8_t i;
////////////////////// SENSOR DE HUMEDAD RELATIVA//////////////////////
#include <DHT11.h>
int pin=22;
DHT11 dht11(pin);
///// vector de char //////////////////
char veccar[100];
//////////////////////SENSOR DE LUZ //////////////////
int BH1750_address = 0x23; // i2c Adresse
byte buff[2];
//////////////////////FIN SENSOR DE LUZ//////////////////////
```

```

////////////////////////////////// RELOJ ////////////////////////////////////
#define DS3231_I2C_ADDRESS 0x68
byte decToBcd(byte val)
{
    return( (val/10*16) + (val%10) );
}
// Convert binary coded decimal to normal decimal numbers
byte bcdToDec(byte val)
{
    return( (val/16*10) + (val%16) );
}
//////////////////////////////////FIN RELOJ ////////////////////////////////////
// Se importan las librerías
#include <SFE_BMP180.h>
#include <Wire.h>
SFE_BMP180 pressure;
//Leeremos temperatura
double Temperatura = 0;
char status;
//////////////////////////////////fin presion//////////////////////////////////
float currentWindSpeed;
float currentWindGust;
float totalRain;
float dir;
String dirt;
////////////////////////////////// VARIABLES PARA ARMAR LA TRAMA ////////////////////////////////////
//.....temperatura.....
String ttem=":";
int tem=0;
//***** FECHA *****
String dia=":";
String dias=":";
String tmin=":";
String minu=":";
String tseg=":";
String seg=":";
String thora=":";
String hora=":";
String tmes=":";

```

```

String mes="";
String tano=":";
String ano="";
////////// humedad //////////
String humedad=":";
String hum=""; // vincular
//*****sensor de luz*****
String tluz=":";
String texluz=""; //vincular
//.....lluvia y viento.....
String tlluv="111:123:";
String texllu="";
String tdir=":";
String texdir="";
String tvel=":";
String texvel="";
int vel=0;
long lluv=0;
//..... TRAMA .....
String trama=""; //vincular
String trama1="";
String tramadias=""; // vincular
String tramatotal="";
//***** SIM 900 VARIABLES *****
int numdata;
boolean started=false;
char smsbuffer[160];
char n[20];
char sms_position;
char phone_number[20];
char sms_text[100];
int ii;
int t=1;
// variables vibracion
int vibra;
// variables humedad suelo
int husu;
////////////////////////////////////
void setup()

```

```

{
Serial.begin(9600);
  setDS3231time(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7);// modificar la fecha
  weatherStation.setWindMode(SDL_MODE_SAMPLE, 5.0);
  totalRain = 0.0;
  SensorStart(); /// SENSOR DE TEMPERATURA
  BH1750_Init(BH1750_address);// SENSOR DE LUZ
  delay(200);
  //////////// SIM 900//////////
  if (gsm.begin(9600))
  {
    Serial.println("\nstatus=READY");
    started=true;
  }
  else
    Serial.println("\nstatus=IDLE");
}
void loop()
{
//sensor de vibración a10
// sensor de humedad de suelo a3
vibra= analogRead(A10);
husu= analogRead(A3);
  currentWindSpeed = weatherStation.current_wind_speed()/1.6;
  currentWindGust = weatherStation.get_wind_gust()/1.6;
  totalRain = totalRain + weatherStation.get_current_rain_total()/25.4;
  dir= analogRead(A1);
  lluv=totalRain*100;
  texllu=tlluv+lluv;
  Serial.print(" ");
  vel=currentWindGust*100;
  texvel=tvel + vel;
  if (dir > 190.00 && dir < 205.00)
  {
    dirt= "norte";// 135 grados cuando esta hacia el norte
  }
  if (dir > 535.00 && dir < 565.00)
  {
    dirt= "sur"; // 45 grados sur
  }
}

```

```

}
if (dir > 635.00 && dir < 665.00)
{
  dirt= "este"; // 45 grados sur
}
if (dir > 60.00 && dir < 65.00)
{
  dirt= "oeste"; // 45 grados sur
}
if (dir==0)
{
  dirt= "cero"; // 45 grados sur
}
texdir=tdir+dirt;
trama= texllu + texvel+ texdir;
//////////sensor temperatura//////////
//Se hace lectura del sensor
ReadSensor();
//Se imprimen las variables
tem= Temperatura*100;
trama1=ttem+tem;
//////////SENSOR DE LUZ//////////
float valf=0;
int lux=0;
if(BH1750_Read(BH1750_address)==2){
  valf=((buff[0]<<8)|buff[1])/1.2;
  if(valf<0)Serial.print("> 65535");
  else{
    lux=valf;
    texluz=tluz+lux;
  }
}
delay(100);
displayTime(); // display the real-time clock data on the Serial Monitor,
delay(10); // every second
tramadias= ano + mes + dias + hora + minu + seg; // vincular
//////////SENSOR DE HUMEDAD RELATIVA //////////
float a,b;
int c;

```

```

String p= "a";
int h = dht11.read(a,b);// Lee la humedad
c=a;
hum= humedad + c;
String xx=":";
tramtotal= trama + trama1 + tramadias + texluz + hum + xx + vibra + xx + husu;
int vtra;
vtra=tramtotal.length()+1;
tramtotal.toCharArray(veccar, vtra);
delay(1000);
Serial.println("vector mensaje");
Serial.println(veccar);
// envio de mensaje con alta vibracion //
if (vibra >= 614) //vibracion de 3V o mas
  if(started)
  {
    if (sms.SendSMS("+593939189426", " ALERTA DE DERRUMBE " ))//mensaje de envio por celular
      if (sms.SendSMS("+593939189426", veccar ))//mensaje de envio por celular
      {
        Serial.println("\nSMS sent OK.");
      }
      else
      {
        Serial.println("\nError sending SMS.");
      }
    }
  }
  //////////////////////////////////////fin //////////////////////////////////////7
delay (10);
Serial.println();
if (t==1) /// cambiar la hora para envio hora minutos y segundos
{
  if(started)
  {
    if (sms.SendSMS("+593939189426", veccar ))//mensaje de envio por celular
    {
      Serial.println("\nSMS sent OK.");
    }
    else
    {

```

```

        Serial.println("\nError sending SMS.");
    }
}
t=t+2;
}
t=100;
}
////////////////////////////////// PROCEDIMIENTOS ////////////////////////////////////
void SensorStart() {
    //Secuencia de inicio del sensor
    if (pressure.begin())
        Serial.println("");
    else
    {
        while (1);
    }
}
void ReadSensor() {
    //En este método se hace la lecturatemperatura
    //Se inicia la lectura de temperatura
    status = pressure.startTemperature();
    if (status != 0)
    {
        delay(status);
        //Se realiza la lectura de temperatura
        status = pressure.getTemperature(Temperatura);
    }
    else Serial.println("error en la lectura de temperatura\n");
}
//////////////////////////////////SENSOR DE LUZ//////////////////////////////////
void BH1750_Init(int address){
    Wire.beginTransmission(address);
    Wire.write(0x10); // 1 [lux] aufloesung
    Wire.endTransmission();
}
byte BH1750_Read(int address){
    byte i=0;
    Wire.beginTransmission(address);
    Wire.requestFrom(address, 2);
}

```

```

while(Wire.available()){
    buff[i] = Wire.read();
    i++;
}
Wire.endTransmission();
return i;
}
////////////////////// RELOJ ////////////////////////
void setDS3231time(byte second, byte minute, byte hour, byte dayOfWeek, byte dayOfMonth, byte
month, byte year)
{
    // sets time and date data to DS3231
    Wire.beginTransmission(DS3231_I2C_ADDRESS);
    Wire.write(0); // set next input to start at the seconds register
    Wire.write(decToBcd(second)); // set seconds
    Wire.write(decToBcd(minute)); // set minutes
    Wire.write(decToBcd(hour)); // set hours
    Wire.write(decToBcd(dayOfWeek)); // set day of week (1=Sunday, 7=Saturday)
    Wire.write(decToBcd(dayOfMonth)); // set date (1 to 31)
    Wire.write(decToBcd(month)); // set month
    Wire.write(decToBcd(year)); // set year (0 to 99)
    Wire.endTransmission();
}
void readDS3231time(byte *second,
byte *minute,
byte *hour,
byte *dayOfWeek,
byte *dayOfMonth,
byte *month,
byte *year)
{
    Wire.beginTransmission(DS3231_I2C_ADDRESS);
    Wire.write(0); // set DS3231 register pointer to 00h
    Wire.endTransmission();
    Wire.requestFrom(DS3231_I2C_ADDRESS, 7);
    // request seven bytes of data from DS3231 starting from register 00h
    *second = bcdToDec(Wire.read() & 0x7f);
    *minute = bcdToDec(Wire.read());
    *hour = bcdToDec(Wire.read() & 0x3f);
}

```

```

*dayOfWeek = bcdToDec(Wire.read());
*dayOfMonth = bcdToDec(Wire.read());
*month = bcdToDec(Wire.read());
*year = bcdToDec(Wire.read());
}
void displayTime()
{
byte second, minute, hour, dayOfWeek, dayOfMonth, month, year;
// retrieve data from DS3231
readDS3231time(&second, &minute, &hour, &dayOfWeek, &dayOfMonth, &month,
&year);
// send it to the serial monitor
hora=thora+hour;
minu=tmin + minute;
seg=tseg + second;
ano=tano + year;
mes=tmes + month;
dias=dia+dayOfMonth;
}

```

*****Receptor*****

```

#include "SIM900.h"
#include <SoftwareSerial.h>
#include "ThingSpeak.h"
#define USE_ETHERNET_SHIELD
#include "sms.h"
MSGSM sms;
//////////////////////////////////////77
String readString;
char veccar[100];
int t=1;
int numdata;
boolean started=false;
char smsbuffer[160];
char n[20];
//debug begin
char sms_position;
char phone_number[20]; // array for the phone number string
char sms_text[100];

```

```

int i;
//debug end
////////////////////////////////////
#if !defined(USE_WIFI101_SHIELD) && !defined(USE_ETHERNET_SHIELD) &&
!defined(ARDUINO_SAMD_MKR1000) && !defined(ARDUINO_AVR_YUN) &&
!defined(ARDUINO_ARCH_ESP8266)
#error "Uncomment the #define for either USE_WIFI101_SHIELD or USE_ETHERNET_SHIELD"
#endif
#if defined(ARDUINO_AVR_YUN)
#include "YunClient.h"
YunClient client;
#else
#if defined(USE_WIFI101_SHIELD) || defined(ARDUINO_SAMD_MKR1000) ||
defined(ARDUINO_ARCH_ESP8266)
// Use WiFi
#ifdef ARDUINO_ARCH_ESP8266
#include <ESP8266WiFi.h>
#else
#include <SPI.h>
#include <WiFi101.h>
#endif
char ssid[] = "<YOURNETWORK>"; // your network SSID (name)
char pass[] = "<YOURPASSWORD>"; // your network password
int status = WL_IDLE_STATUS;
WiFiClient client;
#elif defined(USE_ETHERNET_SHIELD)
// Use wired ethernet shield
#include <SPI.h>
#include <Ethernet.h>
byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED};
EthernetClient client;
#endif
#endif
#ifdef ARDUINO_ARCH_AVR
// On Arduino: 0 - 1023 maps to 0 - 5 volts
#define VOLTAGE_MAX 5.0
#define VOLTAGE_MAXCOUNTS 1023.0
#elif ARDUINO_SAMD_MKR1000
// On MKR1000: 0 - 1023 maps to 0 - 3.3 volts

```

```

#define VOLTAGE_MAX 3.3
#define VOLTAGE_MAXCOUNTS 1023.0
#elif ARDUINO_SAM_DUE
// On Due: 0 - 1023 maps to 0 - 3.3 volts
#define VOLTAGE_MAX 3.3
#define VOLTAGE_MAXCOUNTS 1023.0
#elif ARDUINO_ARCH_ESP8266
// On ESP8266: 0 - 1023 maps to 0 - 1 volts
#define VOLTAGE_MAX 1.0
#define VOLTAGE_MAXCOUNTS 1023.0
#endif
/*****
**** Visit https://www.thingspeak.com to sign up for a free account and create
**** a channel. The video tutorial http://community.thingspeak.com/tutorials/thingspeak-channels/
**** has more information. You need to change this to your channel, and your write API key
**** IF YOU SHARE YOUR CODE WITH OTHERS, MAKE SURE YOU REMOVE YOUR WRITE
API KEY!!*****/
unsigned long myChannelNumber = 334998;
const char * myWriteAPIKey = "4D99XV2Z1I77BS5E";
//////////////////////////////////////inicia el programa//////////////////////////////////////
void setup() {
//Serial connection.
Serial.begin(9600);
Serial.println("GSM Shield testing.");
//Start configuration of shield with baudrate.
//For http uses is raccomanded to use 4800 or slower.
if (gsm.begin(4800))
{
Serial.println("\nstatus=READY");
started=true;
}
else
Serial.println("\nstatus=IDLE");

if(started)
{
//Enable this two lines if you want to send an SMS.
//if (sms.SendSMS("3471234567", "Arduino SMS"))
//Serial.println("\nSMS sent OK");
}
}

```

```

//*****+
//if NO SPACE ,you need delte SMS from position 1 to position 20
//please enable this four lines
for(i=1;i<=20;i++)
{
    sms.DeleteSMS(i);
}
}
//*****

#ifdef ARDUINO_AVR_YUN
    Bridge.begin();
#else
    #if defined(ARDUINO_ARCH_ESP8266) || defined(USE_WIFI101_SHIELD) ||
defined(ARDUINO_SAMD_MKR1000)
        WiFi.begin(ssid, pass);
    #else
        Ethernet.begin(mac);
    #endif
#endif
ThingSpeak.begin(client);
}
void loop() {
    if(started)
    {
        //Read if there are messages on SIM card and print them.
        sms_position=sms.IsSMSPresent(SMS_UNREAD);
        if (sms_position)
        {
            // read new SMS
            Serial.print("SMS postion:");
            Serial.println(sms_position,DEC);
            sms.GetSMS(sms_position, phone_number, sms_text, 100);
            // now we have phone number string in phone_num
            Serial.println(phone_number);
            // and SMS text in sms_text
            Serial.println(sms_text);// variable vector con datos
        }
        else
        {

```

```

        Serial.println("NO NEW SMS, WAITTING");
    }
    delay(1000);
}

//////////////////////////////// proceso de vector a datos //////////////////////////////////
// Read the input on each pin, convert the reading, and set each field to be sent to ThingSpeak.
// On Uno,Mega,Yun: 0 - 1023 maps to 0 - 5 volts
// On ESP8266: 0 - 1023 maps to 0 - 1 volts
// On MKR1000,Due: 0 - 4095 maps to 0 - 3.3 volts
float pinVoltage = analogRead(A0) * (VOLTAGE_MAX / VOLTAGE_MAXCOUNTS);
ThingSpeak.setField(1,pinVoltage);
#ifndef ARDUINO_ARCH_ESP8266
    // The ESP8266 only has one analog input, so skip this
    pinVoltage = analogRead(A1) * (VOLTAGE_MAX / VOLTAGE_MAXCOUNTS);
    ThingSpeak.setField(2,pinVoltage);
    pinVoltage = analogRead(A2) * (VOLTAGE_MAX / VOLTAGE_MAXCOUNTS);
    ThingSpeak.setField(3,pinVoltage);
    pinVoltage = analogRead(A3) * (VOLTAGE_MAX / VOLTAGE_MAXCOUNTS);
    ThingSpeak.setField(4,pinVoltage);
    pinVoltage = analogRead(A4) * (VOLTAGE_MAX / VOLTAGE_MAXCOUNTS);
    ThingSpeak.setField(5,pinVoltage);
    pinVoltage = analogRead(A5) * (VOLTAGE_MAX / VOLTAGE_MAXCOUNTS);
    ThingSpeak.setField(6,pinVoltage);
    pinVoltage = analogRead(A6) * (VOLTAGE_MAX / VOLTAGE_MAXCOUNTS);
    ThingSpeak.setField(7,pinVoltage);
    pinVoltage = analogRead(A7) * (VOLTAGE_MAX / VOLTAGE_MAXCOUNTS);
    ThingSpeak.setField(8,pinVoltage);
#endif
// Write the fields that you've set all at once.
ThingSpeak.writeFields(myChannelNumber, myWriteAPIKey);
delay(20000); // ThingSpeak will only accept updates every 15 seconds.
}

```

Anexo G: Construcción, instalación y funcionamiento del prototipo en la zona

Figura N°. 61: Ubicación del sector afectado vía Baños-Puyo



Fuente: Investigador

Figura N°. 62: Construcción del prototipo



Fuente: Investigador

Figura N°. 63: Instalación del prototipo en la zona afectada



Fuente: Investigador

Figura N°. 64: Pruebas de funcionamiento del prototipo en la zona afectada



Fuente: Investigador

GLOSARIO TÉCNICO Y ACRÓNIMOS

A

- ALU** Arithmetic Logic Unit, Unidad Aritmético-Lógica
- AMPS** Advanced Mobile Phone System, Sistema Avanzado de Teléfono Móvil
- ATMEL** Compañía estadounidense fundada en 1984 encargada de la fabricación y diseño de microcontroladores, fue adquirida por Microchip Technology, Inc.
- AVR** Según la fabricante ATMEL, estas siglas no tienen significado pero hay rumores que apuntan a Advanced Virtual RISC

B

- Bluetooth** Estándar IEEE 802.15.1 de comunicación inalámbrica impulsado por la firma Ericsson en 1998

C

- CDMA** Code Division Multiple Access, Acceso Múltiple por División de Código
- CMOS** Complimentary Metal Oxide Semiconductor, Semiconductor Complementario de Óxido Metálico

E

- EDGE** Enhanced Data rates for GSM Evolution, Tasas de Datos Mejoradas para la Evolución del GSM
- EEPROM** Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory, Memoria de Solo Lectura Programable Borrable Eléctricamente

F

- FDMA** Frequency Division Multiple Access, Acceso Múltiple por División de Frecuencia
- FWWAN** Fixed Wireless Wide Area Network, Red Inalámbrica Fija de Área Amplia

G

- GPRS** General Packet Radio Service, Servicio General de Paquetes vía Radio
- GSM** Global System for Mobile communications, Sistema Global para las comunicaciones Móviles

H

- HSDPA** High-Speed Downlink Packet Access, Acceso a Alta Velocidad de Descarga de Paquetes
- HSPA** High-Speed Packet Access, Acceso a Alta Velocidad de Paquetes
- HSUPA** High-Speed Uplink Packet Access, Acceso a Alta Velocidad de Carga de Paquetes

I

- I2C** Inter Integrated Circuit, Comunicación entre Circuitos integrados
- INAMHI** Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador

L

- LAN** Local Area Network, Red de Área Local
- LCD** Liquid Crystal Display, Pantalla de Cristal Líquido
- LTE** Long Term Evolution, Evolución a Largo Plazo

M

- MAN** Metropolitan Area Network, Red de Área Metropolitana
- Microchip** Compañía estadounidense fundada en 1987 encargada de la fabricación de microcontroladores, memorias y semiconductores análogos.
- MIMO** Multiple-Input Multiple-Output, Múltiple Entrada Múltiple Salida
- MMS** Multimedia Messaging Service, Servicio de Mensajería Multimedia
- MWWAN** Mobile Wireless Wide Area Network, Red Inalámbrica Móvil de Área Amplia

O

- OMM** Organización Mundial Meteorológica

P

- PIC** No es un acrónimo en sí, aunque hay rumores que apuntan a Peripheral Interface Controller, el nombre real es PICmicro que hace referencia a los microcontroladores de Microchip
- PSTN** Public Switched Telephone Network, Red Telefónica Pública Conmutada
- PWM** Pulse-Width Modulation, Modulación por Ancho de Pulso

R

- RISC** Reduced Instruction Set Computer, Computador con Conjunto de Instrucciones Reducidas

RS232	Recommended Standard for 232 , Estándar Recomendado para 232, nombre actual para éste estándar es TIA/EIA-232-E
S	
SDR	Software Defined Radio , Software que Define Onda de Radio
SMS	Short Message Service , Servicio de Mensajes Cortos
U	
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System , Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles
W	
WAN	Wide Area Network , Red de Área Amplia
Wi-Fi	Estándar 802.11 de comunicación inalámbrica lanzado en 1999 por la Wi-Fi Alliance, no es un acrónimo en sí
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access , Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas, estándar 802.16 publicado en 2002
WLAN	Wireless Local Area Network , Red Inalámbrica de Área Local
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network , Red Inalámbrica de Área Metropolitana
WSN	Wireless Sensor Network , Red Inalámbrica de sensores (RIS)
WWAN	Wireless Wide Area Network , Red Inalámbrica de Área Amplia